

LOS DRAGONES DEL EDÉN

Especulaciones sobre la evolución de la inteligencia humana

CARL SAGAN

Este libro no podrá ser reproducido, ni total ni parcialmente, sin el previo permiso escrito del editor. Todos los derechos reservados.

Título original: *The dragons of Eden*

Traducción: Rafael Andreu

Revisión: Doménec Bergadá

©Carl Sagan, 1997

© De esta edición Editorial Planeta DeAgostini. S.A. 2003

© Edición especial para Editorial Televisa. S.A. de C.V. 2003

ISBN: 84-674-0460-4

A mi esposa Linda con amor

Agradecimientos

Escribir un libro sobre un tema tan alejado de la propia especialidad es, en el mejor de los casos, aventurado. Aun así, como he intentado explicar, la tentación fue irresistible. Sean cuales sean las virtudes de este libro, se deben en gran parte a los hombres de ciencia que han realizado la investigación básica de la que vamos a ocuparnos, y también, a los biólogos y especialistas en ciencias sociales que tuvieron el gesto de leer y dar réplica a mis razonamientos. Estoy muy reconocido al difunto L. S. B. Leakey y a Hans Lukas Teuber por sus comentarios críticos y estimulantes contrastes de opiniones, y también a Joshua Lederberg, James Maas, John Eisenberg, Bernard Campbell, Lester y David Grinspoon, Stephen Jay Gould, William Dement, Geoffrey Bourne, Philip Morrison, Charles Hockett, Ernest Hartmann, Richard Gregory, Paul Rozin, Jon Lomberg, Timothy Ferris y, muy en especial, a Paul MacLean. Aprecio en lo que vale la minuciosa atención que algunos de ellos dispensaron a este texto, así como la obtenida de Anne Freedgood, directora editorial de la obra, y de Nancy Inglis, encargada de la revisión de originales, una y otra del equipo editorial de Random House, en la lectura de las primeras redacciones del libro. Creo inútil manifestar que ninguno de ellos tiene parte alguna en los errores que se hayan podido deslizar en mi estudio. Deseo también dar las gracias a Linda Sagan y a Sally Forbes por la labor de documentación realizada en la búsqueda de ilustraciones. Asimismo, quiero agradecer a diversos colegas que me hayan dejado consultar sus trabajos antes de darlos a la luz pública, y a Don Davis la confección de la sobrecubierta de la edición original de esta obra, que no pretende ser representación literal de una época geológica en concreto, sino simple alegoría de algunas de las ideas que expongo en el presente libro. Parte de mi trabajo ha sido posible gracias al año sabático que me ha concedido la Universidad de Cornell. También agradezco muy de veras la hospitalidad recibida de L. E. H. Trainor, M. Silverman, C. Lumsden y Andrew Baines, rector del New College, todos ellos ligados a la Universidad de Toronto. La revista Natural History ha publicado amplios extractos del primer capítulo. Por lo demás, algunos de los conceptos expuestos fueron presentados en un coloquio organizado conjuntamente por el Instituto de Higiene Mental de Massachusetts y el Departamento de Psiquiatría de la Facultad de Medicina de Harvard, y también en una de las conferencias del ciclo que patrocina la Fundación L. S. B. Leakey en el Instituto de Tecnología de California. En la redacción de este libro desempeña un papel importante la labor mecanográfica de Mary Roth y, muy en especial, la meticulosa y reiterada transcripción mecanográfica de los múltiples borradores efectuada por Shirley Arden.

Me temo que la principal conclusión que se desprende de la lectura de este libro, a saber, que el hombre desciende de una forma orgánica de rango inferior, irritará grandemente a muchas personas. Sin embargo, no cabe duda de que somos la progenie evolucionada de criaturas primitivas. Jamás olvidaré la sensación de pasmo que me invadió al contemplar por vez primera a un grupo de fueguinos en una bravia y desolada zona costera, porque en seguida me vino a la mente la semejanza de nuestros antecesores con aquellos salvajes. Iban completamente desnudos, la piel pintarrajeada, el largo cabello enmarañado y echaban espumarajos por la boca a causa de la turbación que experimentaban. Su semblante, sobresaltado y receloso, tenía expresión de ferocidad. No conocían arte ni oficio alguno y, cual alimañas, vivían de lo que cazaban. No poseían organización social y se mostraban implacables para con todos los que no pertenecieran a su reducida tribu. Quien haya visto a un salvaje en su entorno natural no sentirá excesivo rubor si se ve obligado a reconocer que por sus venas fluye la sangre de criaturas de un orden más bajo. En lo que a mí concierne, prefiero descender del heroico monito que se plantó ante su más temido enemigo para salvar la vida de su cuidador o del viejo babuino que descendió de la montaña y arrebató triunfalmente a un camarada más joven de los dientes de una sorprendida jauría, que de un salvaje que halla placer en torturar a sus enemigos, que ofrece sacrificios sangrientos, comete infanticidios sin el menor escrúpulo, trata a sus mujeres como esclavas, no conoce el decoro y es víctima de las más necias supersticiones.

Al hombre se le puede disculpar que experimente cierto orgullo por haber escalado, aunque no con su esfuerzo, la cúspide de la jerarquía orgánica. Por otra parte, el hecho de que haya ascendido a dicho puesto, de que no se encontrase en él desde un buen principio, le permite concebir esperanzas de alcanzar en un futuro lejano objetivos aún más encumbrados. Pero lo que ahora importa no son las esperanzas ni los temores, sino solamente la verdad, en la medida en que nuestra razón nos permita desvelarla. He procurado presentar las pruebas recogidas lo mejor que he sabido, y en mi opinión, resulta forzoso reconocer que el hombre, a pesar de las nobles cualidades que le adornan, de la compasión que muestra hacia los más menesterosos, de su bondad no sólo para con los otros hombres, sino también para con las criaturas más insignificantes, de su intelecto divino y de que ha llegado a elucidar los movimientos y constitución del sistema solar, a pesar de todo ello, digo, el hombre aún lleva impresa en su estructura corpórea la huella indeleble de su humilde origen.

CHARLES DARWIN, *El origen del hombre*

Hermano soy de los dragones y amigo de las lechuzas
(Job, 30,29)

Introducción

En buena lógica, ¿no debería la mente del orador conocer la sustancia del tema sobre el que se dispone a hablar?

PLATÓN, *Fedro*

No sé de un solo tratado, antiguo o moderno, que pueda proporcionarme una explicación convincente del medio físico que me rodea. La mitología es lo que más se acerca a lo que anda buscando.

HENRY DAVID THOREAU, *The Journal*

Jacob Bronowski forma parte del reducido grupo de hombres y mujeres que en el transcurso de la historia se han sentido atraídos y han logrado acceder a toda la gama del saber humano: las letras, las ciencias, la filosofía y la psicología. Bronowski rebasa el ámbito de la especialización en una sola disciplina para sobrevolar el vasto panorama de la erudición humana. Su libro, *The ascent of man*, adaptado también para la televisión, constituye un soberbio instrumento educativo a la par que un notable tributo al pasado. En cierto modo viene a relatarnos la evolución paralela del ser biológico y del ser intelectual.

El último capítulo de la obra y episodio final de la serie televisiva, titulado «La dilatada infancia», hace referencia al vasto periodo de tiempo —mucho más prolongado en los individuos de nuestra especie que en los de cualquier otra si tomamos como referencia la duración total de sus respectivas vidas— en que el niño permanece bajo la dependencia del sujeto adulto y su gran plasticidad, es decir, la capacidad que posee para adaptarse al entorno físico y cultural. Casi todos los organismos terrestres actúan en buena medida conforme al legado genético de que son portadores y que ha sido «previamente transmitido» al sistema nervioso del individuo, siendo la información extragenética recogida en el curso de su vida un factor secundario.

Sin embargo, en el caso del hombre y de los demás mamíferos sucede exactamente lo contrario. Sin desconocer el notable influjo del legado genético en nuestro comportamiento, nuestros cerebros ofrecen muchísimas más oportunidades de establecer nuevos modelos de conducta y nuevas pautas culturales en cortos periodos de tiempo que en cualquier otro ser vivo. Por decirlo de algún modo, hemos concertado un pacto con la naturaleza según el cual el difícil proceso de maduración del niño viene compensado por su capacidad de aprendizaje, lo que incrementa en gran manera las posibilidades de supervivencia de la especie humana. A más abundamiento, el ser humano, en la restringida y más reciente fase de su largo devenir biológico-intelectivo, se ha procurado no sólo información extragenética, sino también conocimientos extrasomáticos, o sea, información acumulada fuera de nuestro cuerpo, fenómeno del que la escritura constituye el ejemplo más significativo. Las transformaciones evolutivas o genéticas se consuman al cabo de extensos periodos de tiempo. Para determinar el intervalo que media entre la aparición de una especie superior a partir de su antecedente podría tomarse como base un periodo de cien mil años; por lo demás, con frecuencia las diferencias de comportamiento entre especies animales muy próximas —leones y tigres, por ejemplo— no parecen ser muy considerables. Una muestra de evolución reciente de un elemento corporal en el hombre la tenemos en los dedos del pie. El dedo gordo desempeña una función importante en la conservación del equilibrio al andar, pero el papel de los restantes dedos no es, ni muchísimo menos, tan manifiesto. Es indudable que estos dedos son un elemento evolucionado de los apéndices digitales que algunos animales, como los simios y los monos trepadores, utilizan para aferrarse o maniobrar ágilmente. Este ejemplo de evolución constituye una re-especialización, es decir, la adaptación de un órgano primitivamente evolucionado para una función específica a otra muy distinta, que no se materializó por completo hasta transcurridos unos diez millones de años. (Los pies del gorila de las montañas han seguido una evolución pareja, aunque enteramente autónoma.)

Hoy, sin embargo, no es preciso aguardar diez millones de años en espera de que se produzca la próxima mutación. Vivimos una época de cambios acelerados sin precedentes, y puesto que estos cambios son en buena parte obra humana, es imposible soslayarlos. No queda más alternativa que ajustarse, adaptarse al cambio, controlarlo o perecer.

Probablemente, sólo un mecanismo de aprendizaje extragenético puede afrontar el rapidísimo proceso de transformación que soporta la especie humana. En este sentido, la rápida evolución del intelecto humano que hoy se observa es, por un lado, la causa, y por otro, la única solución concebible a los muchos y graves problemas que nos acechan. Creo de veras que una mejor comprensión de la naturaleza y evolución de la inteligencia humana puede ayudarnos a enfocar con lucidez los peligros ignotos que sin duda esconde el futuro.

Otra de las razones que me han movido a interesarme por el tema de la evolución del factor cognoscitivo es que

hoy, por vez primera en la historia, disponemos de un poderoso instrumento que permite establecer comunicación a través de las inmensas distancias interestelares. Me refiero al radiotelescopio de gran alcance. Aunque un tanto a ciegas y con paso vacilante, hemos empezado a utilizarlo a ritmo creciente para dilucidar si existen otras civilizaciones ubicadas en extraños mundos, a distancias inimaginables, que están enviando radiomensajes a la tierra. Tanto la existencia de dichas civilizaciones como la naturaleza de los hipotéticos mensajes que tal vez transmitan sólo se conciben en la universalidad de la evolución del cerebro humano tal como se ha producido en nuestro planeta. De ahí que parezca lógico suponer que el estudio de la evolución del ser racional en la Tierra permitirá obtener pistas o perspectivas que arrojen un poco de luz a la investigación sobre la existencia de seres inteligentes en el espacio extraterrestre.

Me complació en extremo inaugurar el ciclo de conferencias sobre filosofía natural dedicado a la memoria de Jacob Bronowski que organizara la Universidad de Toronto en noviembre de 1975.

Durante la redacción del presente libro amplié de manera sustancial el ámbito de lo tratado en dicha conferencia, procurándome a cambio la estimulante oportunidad de ampliar conocimientos sobre temas que no son de mi especialidad. Sentí el irresistible impulso de sintetizar parte de los conocimientos adquiridos dentro de un marco coherente y de avanzar algunas hipótesis sobre la naturaleza y la evolución del intelecto humano que tal vez aporten alguna idea original y que, por lo menos, bucean en un terreno que no ha sido estudiado con amplitud.

Tarea ímproba, ya que si bien poseo estudios académicos de biología y llevo años investigando sobre el origen y primeros estadios evolutivos de los organismos vivos, carezco de conocimientos sólidos, por poner un ejemplo, en los terrenos de la anatomía y fisiología cerebrales. En consecuencia, al exponer las ideas que siguen lo hago con cierto sentimiento de inseguridad, consciente de que muchas de ellas entran en el terreno de la especulación y sólo pueden aceptarse o desecharse una vez sometidas a verificación. En todo caso, esta labor de análisis me ha ofrecido la oportunidad de atisbar un tema fascinante. Quizá las observaciones que formulo induzcan a otros a profundizar en su estudio.

El postulado capital de la biología, aquel que a tenor de nuestros conocimientos nos permite distinguir entre ciencias biológicas y ciencias físicas, es la idea de evolución a través de la selección natural, el trascendental hallazgo que realizaron Charles Darwin y Alfred Russel Wallace a mediados del siglo XIX.

Desde que tuviera lugar el famoso debate Victoriano entre el obispo Wilberforce y T. H. Huxley se han disparado inútilmente continuas andanadas contra las ideas sostenidas por Darwin y Wallace, a menudo inducidas por aquellos en posesión de hachas doctrinales que amolar. La evolución es un hecho ampliamente demostrado por los restos fósiles y los hallazgos de la moderna biología molecular. La bien conjuntada teoría de la selección natural tiene por objeto explicar el fenómeno de la evolución. Se hallará una muy ponderada respuesta a las críticas formuladas en fechas recientes a la teoría en cuestión, incluso a la peregrina opinión de que la selección natural es una tautología («Los que sobreviven, sobreviven»), en el artículo de Gould, publicado en 1976, reseñado en las referencias bibliográficas expuestas al final de la obra. Darwin era, indiscutiblemente, un hombre de su época, y por ello mismo proclive — como traslucen sus comentarios sobre los habitantes de la Tierra del Fuego citados al principio del libro — a establecer comparaciones autocomplacientes entre los pueblos europeos y otras comunidades étnicas. A decir verdad, las sociedades del período pretecnológico se parecían más a los hospitalarios, gregarios y civilizados bosquimanos cazadores y recolectores del desierto del Kalahari que a los fueguinos a los que Darwin, no sin cierta justificación, tenía en tan bajo aprecio. Sin embargo, las percepciones darwinianas en torno a la evolución, la selección natural como causa primera de aquella y la incidencia de estos conceptos en la configuración de la naturaleza del ser humano, constituyen auténticos jalones en la historia de la investigación científica, tanto más cuanto que en la Inglaterra victoriana — y también hoy, aunque en menor medida — estas ideas chocaron con una recalcitrante oposición.

Las perfeccionadas y espléndidas formas de vida que hoy conocemos han ido configurándose a través de la selección natural, o dicho en otros términos, la reproducción y supervivencia prioritarios de los individuos de cada especie accidentalmente más adaptados a su medio. La evolución de un órgano tan complejo como el cerebro debe enlazar inextricablemente con las etapas primerizas de la historia de la vida, con su vacilante progreso e insalvables valladares, con la tortuosa adaptación de los organismos vivos a condiciones cambiantes que una y otra vez ponen en trance de extinción formas de vida que en su origen estuvieron perfectamente adaptadas al medio. La evolución es fortuita y escapa a todo pronóstico. Tan sólo la muerte de un inmenso número de organismos mal adaptados nos permite a nosotros dar testimonio de vida.

La biología se asemeja más a la historia que a la física. Queremos decir con ello que las calamidades, errores y circunstancias favorables del pasado prefiguran en gran manera el presente. Al abordar una cuestión biológica tan intrincada como es la naturaleza y evolución de la inteligencia humana estimo, como mínimo, prudente conceder un valor sustancial a los razonamientos derivados de la evolución que ha experimentado el cerebro humano.

En lo que atañe al cerebro, parto de la premisa fundamental de que su actividad, lo que a veces solemos denominar «pensamiento», es mera y exclusiva consecuencia de su anatomía y fisiología. Quizá el «pensamiento» sea el resultado de la acción, separada o conjunta, de los componentes del cerebro, mientras que ciertos procesos pueden ser consecuencia de la actuación del cerebro en bloque. Por lo visto, algunos estudiosos del tema han llegado a la conclusión de que ninguna futura generación de neuroanatomistas podrá aislar y localizar todas las funciones superiores del cerebro puesto que ellos han fracasado en el empeño. Pero la ausencia de pruebas no es prueba válida de la ausencia. La historia reciente de la biología demuestra sin lugar a dudas que en buena medida somos el resultado de las interacciones de un complejísimo conglomerado molecular. Hoy, la naturaleza del material genético, antaño sanctasanctórum de la biología, se explica básicamente en función de los procesos químicos que desarrollan los ácidos nucleicos que lo constituyen, el ADN y el ARN, y de sus elementos activos, las proteínas. En el ámbito de la ciencia y sobre todo en el de la biología, se observa con frecuencia que los individuos más familiarizados con los entresijos de una cuestión tienden a sustentar criterios más empecinados (y a la postre erróneos) sobre la hipotética inasequibilidad del tema que quienes lo contemplan desde cierta distancia. Por otra parte, me doy perfecta cuenta de que si este

alejamiento es excesivo se corre el riesgo de confundir lo que no es sino ignorancia con supuesta percepción del problema. Sea como fuere, amparándome tanto en la clara tendencia que se observa en los más recientes progresos de la biología como en el hecho de que no se dispone de la menor prueba que la sustente, omitiré en estas páginas toda mención a la hipótesis acerca de lo que acostumbraba a conocerse como el dualismo cuerpo-mente, o sea, la noción de que en el interior de la sustancia corpórea material se contiene otra de muy distinta composición llamada mente.

Parte del estímulo y hasta del goce que uno halla en el estudio de la cuestión radica en el nexo que guarda con todas las áreas del esfuerzo humano, en especial la posible interacción de los conocimientos obtenidos del estudio de la fisiología del cerebro con las percepciones derivadas de la introspección humana. Por suerte, existe un cuantioso legado de estas últimas. En un pasado remoto, las más ricas, intrincadas y profundas de tales percepciones se denominaban mitos. «Los mitos son hechos jamás acaecidos pero siempre presentes», dijo Salustio en el siglo IV. En los diálogos platónicos, y también en *La República*, observamos que cada vez que se aborda un punto de vital importancia, Sócrates echa mano de un mito (recuérdese la parábola de la cueva, por aducir el ejemplo más conocido). Y conste que no me refiero aquí al vocablo «mito» entendido en el sentido que normalmente se le otorga, como un hecho que aun siendo contrario a la realidad natural goza de amplia aceptación en el seno de una colectividad, sino que lo utilizo en su acepción primigenia de metáfora sutil referida a una cuestión que no puede explicarse de otro modo. En consonancia con lo dicho, el lector hallará, entremezcladas con las disquisiciones objeto de estas páginas, alusiones esporádicas a mitos antiguos y modernos. Incluso el título de esta obra se debe a la sorprendente idoneidad de diversos mitos tradicionales y contemporáneos.

Aunque albergo la esperanza de que algunas de las conclusiones que expongo atraigan el interés de las personas dedicadas al estudio del intelecto humano, debo aclarar que, en principio, este libro va destinado al profano interesado en la materia. En el capítulo II se vierten conceptos algo más densos que en el resto de mi estudio. Aun así, confío en que el lector podrá salvar el obstáculo con un pequeño esfuerzo suplementario. De lo dicho se infiere que el libro no es de difícil lectura. Como norma general, los vocablos técnicos que aparecen ocasionalmente se definen antes de entrar en materia y, además, han sido incorporados al glosario de términos que figura al final del libro. Las tablas, cuadros, gráficos y esquemas son elementos auxiliares que, junto con el mentado glosario, facilitarán la comprensión del libro a los que no posean estudios en materia científica. Por lo demás sospecho que la correcta interpretación de las ideas expuestas no va a suponer que el lector esté de acuerdo con ellas.

En el año 1754, Jean-Jacques Rousseau escribía en el primer párrafo del *Discurso sobre el origen y la desigualdad de los hombres*:

Aunque para poder discernir con acierto el estado natural del hombre importa estudiarlo en sus orígenes ... no voy a seguir su organización a través de las sucesivas fases que ha conocido ... Sobre este particular no haría sino perderme en imprecisas y casi visionarias conjeturas. Hasta el momento, la anatomía comparada no ha progresado gran cosa, y las observaciones de los naturalistas me parecen demasiado endebles para ser utilizadas como plataforma válida sobre la que erigir una argumentación sólida.

Las prevenciones de Rousseau, formuladas hace más de dos siglos, siguen teniendo vigencia. No obstante, se han producido significativos avances en la investigación tanto de la anatomía del cerebro como de la conducta del hombre y de los animales, aspectos que Rousseau, muy atinadamente, conceptuaba de vital importancia en el marco de la cuestión. Tal vez ya no sea prematuro intentar una síntesis de carácter preliminar.

El calendario cósmico

¿Qué otra cosa vislumbra
en la oscura lejanía, allá en el abismo del tiempo?

SHAKESPEARE, *La tempestad*

El mundo es viejísimo y el ser humano sumamente joven. Los acontecimientos relevantes de nuestras vidas se miden en años o fracciones de tiempo aún más pequeñas, en tanto que la duración de una vida humana se reduce a unos pocos decenios, el linaje familiar a unos cuantos siglos y los hechos que registra la historia a unos milenios. Y, sin embargo, se extiende a nuestras espaldas un fantástico panorama temporal que se pierde en un pasado remotísimo del que apenas sabemos nada. En primer lugar, porque no poseemos testimonios escritos, y en segundo lugar porque resulta muy difícil hacerse una idea de la inmensidad de los periodos involucrados.

Aun así hemos logrado fechar algunos hitos de este remoto pasado. La estratificación geológica y la fijación de cronología en base al empleo de métodos radiactivos aportan datos sobre las distintas etapas arqueológicas, paleontológicas y geológicas. La teoría astrofísica suministra información sobre la edad de los planetas, las estrellas y la galaxia de la Vía Láctea, así como una estimación del tiempo transcurrido desde que acaeció este trascendental suceso conocido como el *big bang*, es decir, la gigantesca explosión cósmica que afectó a toda la materia y la energía del universo. Quizás el *big bang* fuera el principio del universo, o puede que supusiera una discontinuidad que acabó con toda información sobre los más remotos orígenes del cosmos. Pero lo indudable es que constituye el fenómeno más remoto del que se tiene noticia.

Para expresar la cronología cósmica nada más sugerente que comprimir los quince mil millones de años de vida que se asignan al universo (o, por lo menos, a su conformación actual desde que acaeciera el *big bang*) al intervalo de un solo año. Si tal hacemos, cada mil millones de años de la historia terrestre equivaldrían a unos veinticuatro días de este hipotético año cósmico, y un segundo del mismo correspondería a 475 revoluciones efectivas de la Tierra alrededor del Sol. En las páginas 23 a 25 presento la cronología cósmica de tres formas: una relación de fechas significativas anteriores al mes de diciembre; un calendario del mes de diciembre y una visión más pormenorizada de la Nochevieja, o sea del 31 de diciembre. Si se toma como base esta escala temporal, las efemérides narradas en los libros de historia — aun en aquellos que se esfuerzan en ampliar la visión de los hechos— se nos presentan tan apretujados que es necesario recurrir a una exposición detallada de los últimos segundos del año cósmico. Aun así, nos vemos obligados a reseñar como sucesos contemporáneos hechos que se nos ha enseñado a considerar muy distanciados en el tiempo. Es probable que en los anales de la vida se hayan producido acontecimientos igualmente cruciales en otros periodos, como, por ejemplo, entre las 10.02 y las 10.03 de la mañana del 6 de abril o del 16 de septiembre. Pero lo cierto es que tan sólo podemos ofrecer una visión pormenorizada del postrer intervalo del año cósmico.

La cronología se ha confeccionado de acuerdo con las pruebas más consistentes de que disponemos. No obstante, algunas resultan bastante inseguras. Por ello, nadie debe extrañarse si un día llega a determinarse que la vegetación no empezó a cubrir la superficie de la Tierra en el periodo silúrico, sino en el ordoviciense; o que los gusanos segmentados aparecieron en una fase del precámbrico más temprana de lo que se indica. Asimismo, es obvio que al confeccionar la cronología de los últimos diez segundos del año cósmico no me fue posible incluir todos los sucesos de relieve, y en este sentido espero que se me perdone el no haber mencionado de manera explícita los progresos acaecidos en el campo de las artes, la música, la literatura, o, en otro orden, las revoluciones americana, francesa, rusa y china, tan cargadas de significación histórica.

FECHAS ANTERIORES A DICIEMBRE

El <i>big bang</i> (la «gran explosión»)	1 de enero
Origen de la galaxia de la Vía Láctea	1 de mayo
Origen del sistema solar	9 de septiembre
Formación de la Tierra	14 de septiembre
Origen de la vida en la Tierra	~ 25 de septiembre
Formación de las rocas más antiguas conocidas	2 de octubre
Época de los fósiles más antiguos (bacterias y algas verdiazules)	9 de octubre
Diferenciación sexual (en los microorganismos)	~ 1 de noviembre

Plantas fotosintéticas fósiles más antiguas	12 de noviembre
Aparecen las eucariotas (primeras células con núcleo) ~ = <i>fecha aproximada</i>	15 de noviembre

La elaboración de estas tablas y cuadros cronológicos inclina forzosamente a la humildad. Así, resulta desconcertante que la aparición de la Tierra como producto de la condensación de la materia interestelar no acaezca en este año cósmico hasta primeros de septiembre; que los dinosaurios aparezcan en Nochebuena; que las flores no broten hasta el 28 de diciembre o que el ser humano no haga acto de presencia hasta las 22.30 de la víspera de Año Nuevo. La historia escrita ocupa los últimos diez segundos del 31 de diciembre, y el espacio transcurrido desde el ocaso del Medioevo hasta la época contemporánea es de poco más de un segundo. En virtud de la convención adoptada, se supone que el primer año cósmico acaba de tocar a su fin.

Pero, a pesar del intervalo insignificante que nos corresponde en la tabulación cósmica del tiempo, es obvio que lo que vaya a ocurrir en la Tierra y en su entorno al iniciarse el segundo año cósmico, dependerá en buena medida del nivel que alcance la ciencia y de la sensibilidad del género humano en su más prístina manifestación.

¿Con qué martillo? ¿Con qué cadena? ¿En qué horno se ha fundido tu cerebro? ¿Con qué yunque? ¿A qué temible garra sus atroces angustias le impulsaron a sujetarse?

WILLIAM BLAKE, «El Tigre»

De todos los animales, el hombre es el que tiene el cerebro más grande en proporción a su tamaño.

ARISTÓTELES, *De las partes de los animales*

La evolución biológica ha venido acompañada de un incremento de la complejidad. Los organismos más perfeccionados hoy existentes en la Tierra contienen un caudal de información, tanto genética como extragenética, mucho mayor que la de los más complejos organismos de, pongamos por caso, doscientos millones de años atrás, cifra que supone tan sólo la vigésima parte de la historia de la vida en nuestro planeta, o cinco días atrás, si tomamos como base el calendario cósmico. Los organismos actuales más simples tienen un pasado evolutivo tan denso como los de mayor complejidad, aunque bien pudiera ser que la bioquímica interna de las bacterias contemporáneas sea más eficiente que la de las bacterias de hace tres mil millones de años. En cambio, es probable que el monto de información genética de las actuales bacterias no sea mucho mayor que el de sus antecesoras. Así pues, es sumamente importante distinguir entre el caudal de información y la calidad de dicha información.

1 EL CALENDARIO CÓSMICO	
31 de diciembre	
Origen del <i>Procónsul</i> y del <i>Ramapithecus</i> , probables ascendientes del simio y del hombre	~ 13.30
Aparición del primer hombre	~ 22.30
Uso generalizado de los útiles de piedra	23.00
El hombre de Pekín aprende a servirse del fuego	23.46
Empieza el último periodo glaciario	23.56
Pueblos navegantes colonizan Australia	23.58
Florece el arte rupestre en toda Europa	23.59
Invencción de la agricultura	23.59.20
Cultura neolítica. Primeros poblados	23.59.35
Primeras dinastías en Sumer, Ebla y Egipto.	
Grandes avances de la astronomía	23.59.50
Invencción del alfabeto. Imperio acadio. Babilonia y los códigos de Hammurabi. Egipto: Imperio Medio	23.59.52
Metalurgia del bronce. Cultura micénica. Guerra de Troya. Cultura olmeca. Invencción de la brújula	23.59.53
Metalurgia del hierro. Primer Imperio asirio. Reino de Israel. Los fenicios fundan Cartago	23.59.54
La India de Asoka. China: dinastía Chi'n. La Atenas de Pericles. Nacimiento de Buda	23.59.55
Geometría euclidiana. Física de Arquímedes. Astronomía ptolemaica. Imperio romano. Nacimiento de Jesucristo	23.59.56
La aritmética india introduce el número cero y los decimales. Caída de Roma. Conquistas musulmanas	23.59.57
Civilización maya. China: dinastía Sung. Imperio bizantino. Invasión mongólica. Las Cruzadas	23.59.58
La Europa del Renacimiento. Viajes de descubrimiento de los países europeos y de la dinastía china de los Ming. La ciencia y el método empírico	23.59.59
Formidable expansión de la ciencia y de la tecnología. Universalización de la cultura. Adquisición de los medios de autodestrucción de la especie humana. Primeros pasos en la exploración planetaria mediante vehículos espaciales y en la búsqueda de seres inteligentes en el espacio extraterrestre	Tiempo presente: Primer segundo del Año Nuevo

Llamamos taxones a las distintas formas biológicas. Las clasificaciones taxonómicas más genéricas distinguen entre plantas y animales, o entre organismos cuyas células tienen un núcleo muy poco desarrollado (por ejemplo, bacterias y algas verdiazules) y aquellos en los que el núcleo se presenta claramente diferenciado y posee una compleja estructura (caso de los protozoos y del hombre). Sin embargo, todos los organismos del planeta, tanto si tienen o no un núcleo

definido, poseen cromosomas, en los que se almacena el material genético transmitido de generación en generación. Las moléculas transmisoras de los caracteres hereditarios son, en todo los organismos, los ácidos nucleicos. Salvo contadas excepciones, por lo demás secundarias, el ácido nucleico depositario de la información hereditaria es la molécula llamada ADN (ácido desoxirribonucleico). También cabe conceptuar como entidades taxonómicas diferenciadas otras divisiones más finas de varios tipos de plantas y animales en especies, subespecies y razas.

Una especie es un grupo de individuos que pueden cruzarse dando descendencia fértil, situación que no se produce al cruzarse con organismos de otros grupos. El cruce de perros de distintas razas origina cachorros que, una vez adultos, estarán en condiciones de reproducirse. Pero el apareamiento de dos especies distintas, incluso tratándose de especies tan próximas como el caballo y el asno, origina una descendencia estéril (en este caso, la muía). De aquí que asnos y caballos se clasifiquen como dos especies distintas. A veces se producen apareamientos, viables como tales pero infecundos, de especies más diferenciadas —leones y tigres, por ejemplo—, y aunque en rarísimas ocasiones la progenie tiene capacidad reproductiva, ello no indica sino que la definición de especie es un tanto confusa. Todos los hombres somos individuos de la especie *Homo sapiens*, optimista apelativo latino que significa «hombre sabio». Nuestros probables antecesores, el *Homo erectus* y el *Homo habilis* —a la sazón extintos—, se clasifican como pertenecientes al mismo género (*Homo*) pero a diferente especie, aunque nadie, por lo menos en fecha reciente, ha intentado investigar si el cruce de uno y otro con individuos de nuestra especie podría haber originado una progenie fértil.

En la antigüedad dominaba la idea de que se podía obtener descendencia a partir de cruces entre organismos de muy distinta naturaleza. La mitología nos dice que el Minotauro muerto por Teseo era fruto de un toro y de una mujer, y el historiador romano Plinio manifiesta que el avestruz, recién descubierto por aquel entonces, era producto del cruce de una jirafa con un mosquito. (Debo suponer que lo sería del apareamiento de una jirafa hembra y un mosquito macho.) Es indudable que muchos apareamientos no deben haber sido intentados en la práctica por una comprensible falta de incentivos.

En el presente capítulo aludiremos repetidas veces al gráfico de la página 32. La curva de un trazo continuo muestra el momento en que aparecen por vez primera algunos importantes grupos taxonómicos. Ni que decir tiene que existen muchos más taxones que los representados por los escasos puntos que aparecen en la gráfica. Con todo, la curva ilustra de forma clara la gran cantidad de puntos que se necesitarían para representar en la figura las decenas de millones de taxones que han surgido desde que la vida hizo su aparición en el planeta. Los grupos taxonómicos más importantes, aquellos que han evolucionado más recientemente, son por regla general los más complejos.

El análisis del comportamiento de un organismo, esto es, el número de funciones que está llamado a ejecutar en el curso de la vida, permite hacerse una idea de su grado de complejidad. Con todo, este factor también puede determinarse atendiendo al mínimo caudal de información que contiene el material genético del organismo de que se trate. Un cromosoma humano, por ejemplo, contiene una larguísima molécula de ADN arrollada de forma helicoidal, con lo que ocupa un espacio mucho más reducido del que necesitaría en el caso de que se presentara completamente extendida. Dicha molécula de ADN está fragmentada en bloques o unidades autónomas unidos de forma similar a los peldaños de una escala de cuerda. Dichas unidades reciben el nombre de nucleótidos, de los que existen cuatro variedades. El lenguaje de la vida, el caudal de información hereditario, viene determinado por las diferentes disposiciones de los cuatro tipos de nucleótidos distintos. Así pues, podemos decir que el lenguaje de la herencia está escrito en un alfabeto de sólo cuatro letras.

Pero el libro de la vida es muy pródigo y, así, una molécula de ADN cromosómico del hombre está integrada por unos cinco mil millones de pares de nucleótidos. Las instrucciones genéticas de los restantes taxones terrestres están escritas en el mismo lenguaje y con el mismo código. Es evidente, pues, que este lenguaje genético común constituye un indicio de que todos los organismos de la Tierra tienen un solo antecesor, de que en el planeta se produjo una única manifestación de vida hace aproximadamente cuatro mil millones de años.

Por regla general, el volumen informativo de cada mensaje viene representado en unidades llamadas bits, contracción del término inglés *binary digits* (dígitos binarios). El sistema aritmético más sencillo que existe no utiliza diez dígitos (como hacemos nosotros en virtud del accidente evolutivo que nos otorgó diez dedos), sino tan sólo dos, el 0 y el 1. Toda pregunta definida de manera suficiente es susceptible de ser respondida con un solo dígito binario, sea el 0 o el 1, es decir con un «sí» o un «no». En el supuesto de que el código genético estuviera escrito en un alfabeto con dos letras, en vez de en otro con cuatro, el número de bits contenido en una molécula de ADN equivaldría al doble de pares de nucleótidos. Pero dado que existen cuatro clases distintas de nucleótidos, el número de bits de información contenidos en la citada molécula de ADN es el cuádruple del número de pares de nucleótidos. Por lo tanto, si un solo cromosoma tiene cinco mil millones (5×10^9) de nucleótidos, contendrá veinte mil millones (2×10^{10}) de bits de información. (El símbolo 10^9 nos indica simplemente la unidad seguida de un determinado número de ceros; en el caso que nos ocupa, nueve.)

¿Qué cantidad de información suponen veinte mil millones de bits? ¿Cuál sería su equivalente si esta cifra se plasmara en un libro corriente escrito en un idioma moderno? Por regla general, los alfabetos de las distintas lenguas poseen de veinte a cuarenta letras, a los que debe añadirse de doce a veinticinco numerales y signos de puntuación. Por lo tanto, la mayoría de idiomas no requerirían más de sesenta y cuatro caracteres. Puesto que 2^6 es igual a 64 ($2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2$), bastarían seis bits para configurar una letra o signo. Imaginemos que llegamos a esta determinación mediante una especie de juego de las «Veinte preguntas», en el que cada respuesta equivale al empleo de un solo bit para una Pregunta a la que se contesta escuetamente con un «sí» o con un

«no». Supongamos que el carácter que deseamos especificar es la letra J. Para ello, procederíamos del siguiente modo:

PRIMERA PREGUNTA: ¿Se trata de una letra (0) o de otro sig no (1)?

RESPUESTA: De una letra (0). SEGUNDA PREGUNTA: ¿Forma parte de la primera mitad (0) o

de la segunda mitad (1) del alfabeto? RESPUESTA: De la primera mitad (0). TERCERA PREGUNTA: ¿Se encuentra entre las siete primeras

letras (0) de las trece que forman la primera mitad del

alfabeto, o entre las seis restantes (1)? RESPUESTA: Entre las seis últimas (1). CUARTA PREGUNTA: Tomando

las seis últimas letras (H, I, J,

K, L, M, N), ¿forma parte de la primera mitad (0) o de la

segunda mitad (1)? RESPUESTA: De la primera mitad (0). QUINTA PREGUNTA: Tomando dichas letras (H, I, J),

¿es la H

(0) o bien la I o la J (1)? RESPUESTA: La I o la J (1).

SEXTA PREGUNTA: ¿Se trata de la I (0) o de la J (1)? RESPUESTA: De la J (1).

En consecuencia, especificar la letra J equivale al código binario 001011, con la salvedad de que no ha sido necesario formular veinte preguntas, sino seis, y es este detalle el que nos permite afirmar que para determinar una letra dada bastan solamente seis bits. Por tanto, veinte mil millones de bits corresponden poco más o menos a tres mil millones de letras ($2 \times 10^{16} = 3 \times 10^9$). Si una palabra consta por término medio de seis letras, el volumen de información que admite un cromosoma humano se eleva a unos quinientos millones de palabras ($3 \times 10^6 = 5 \times 10^8$). Si la página corriente de un libro contiene alrededor de trescientas palabras, la cantidad antedicha nos daría unos dos millones de páginas ($5 \times 10^8 \times 10^2 \approx 2 \times 10^6$). Teniendo en cuenta que, por término medio, un libro contiene quinientas páginas de esta índole, el caudal informativo de un solo cromosoma es el equivalente a unos cuatro mil volúmenes ($2 \times 10^5 \times 10^2 = 4 \times 10^3$). De lo dicho se desprende claramente que la secuencia de segmentos de la cadena de ADN que antes mencionábamos supone un formidable acopio de datos. Por lo demás, es natural que para especificar un objeto de tan exquisita construcción y complejo funcionamiento como el ser humano se requiera un caudal informativo tan inmenso. Los organismos simples son menos complejos y tienen menos funciones que realizar, de ahí que necesiten un menor acopio de información genética. Los computadores de los módulos del *Viking I* y *II* que se posaron sobre Marte en 1976 habían sido previamente programados con un volumen de instrucciones de algunos millones de bits. Por tanto, ambos vehículos espaciales contenían un poco más de «información genética» que una bacteria, pero muchísima menos que un alga.

El gráfico de la página siguiente nos muestra también la cantidad mínima de información genética de las moléculas de ADN en diversos grupos taxonómicos. La suma asignada a los mamíferos es inferior a la del ser humano, por la sencilla razón de que la mayor parte de ellos poseen menos información genética que el hombre. En el seno de algunas categorías taxonómicas —caso, por ejemplo, de los anfibios— el volumen de información genética varía considerablemente de una especie a otra, y se sospecha que buena parte de su ADN es redundante o carece de función específica. Este es el motivo de que en la gráfica conste solamente la cantidad *mínima* de ADN que contiene un taxón determinado.

En la gráfica se observa que hace tres mil millones de años el acopio de información de los organismos terrestres experimentó un marcado incremento, y que a partir de entonces el volumen de información genética ha ido aumentando lentamente. También se aprecia que si para poder sobrevivir el hombre necesita bastante más de varias decenas de miles de millones (varias veces 10^6) de bits de información, los sistemas extragenéticos deberán ser los encargados de facilitarle la cantidad complementaria; la velocidad con que se desarrollan los sistemas genéticos es tan lenta que el ADN no puede suministrar este suplemento de información biológica.

El gráfico muestra la evolución del acopio de información contenida en los genes y en el cerebro durante la historia de la vida en la Tierra. La curva de trazo grueso, jalonada por puntitos negros, representa el número de bits de información contenido en los genes de diversos grupos taxonómicos, de los que se muestra, también, la época de su aparición en la crónica geológica del planeta. Debido a las variaciones en la cantidad de ADN de una célula para ciertos grupos taxonómicos, sólo reseñamos en el gráfico el contenido *mínimo* de información correspondiente a un taxón determinado. Los datos se han tomado de la obra de Britten y Davidson (1969). La curva de trazo discontinuo, flanqueada o cortada por puntos en blanco, constituye una estimación aproximada de la evolución de la cantidad de información contenida en el cerebro y el sistema nervioso de los organismos en cuestión. La información que almacena el cerebro de los anfibios y otros animales de orden inferior caería fuera del margen izquierdo de la figura. También se muestra el número de bits de información contenido en el material genético de los virus, a pesar de que no se ha demostrado fehacientemente que los virus se originaran hace varios miles de millones de años. Cabe en lo posible que los virus hayan evolucionado en una etapa más reciente, por pérdida de funciones, a partir de bacterias u otros organismos más complejos. En el supuesto de que deseáramos ubicar la información extrasomática que se procura el hombre (bibliotecas, etc.), el punto correspondiente caería mucho más allá de la parte inferior del margen derecho de la figura.

El material básico de la evolución son las mutaciones, es decir, los cambios hereditarios producidos en las cadenas

de nucleótidos. Que se encargan de elaborar las instrucciones hereditarias en la molécula de ADN. Causas de mutación son la radiactividad ambiental, los rayos cósmicos del espacio, y, a menudo, el azar, que altera espontáneamente la disposición de los nucleótidos en contra de las previsiones formuladas sobre una base estadística. Los enlaces químicos se rompen accidental y espontáneamente. Hasta cierto punto el propio organismo regula las mutaciones, ya que posee la facultad de reparar determinados daños estructurales causados a su contingente de ADN. Hay, por ejemplo, una serie de moléculas que supervisan el ADN para detectar una posible deterioración de las mismas. Cuando se descubre una alteración particularmente nociva, ésta queda bruscamente cortada por una especie de «tijeras» moleculares, lo que permite recomponer el ADN. Con todo, esta facultad regeneradora no es, no conviene que sea, perfecta, puesto que la evolución necesita de las mutaciones. La mutación sobrevenida en una molécula de ADN del cromosoma de una célula de la piel del dedo índice no tiene influjo en la herencia, ya que los dedos de la mano no intervienen, por lo menos de una manera directa, en la propagación de la especie. Lo que sí influye son las mutaciones en los gametos, los óvulos y las células germinales, que son los agentes de la reproducción sexual.

De manera fortuita, ciertas mutaciones beneficiosas suministran el material de base que impulsa la evolución biológica, como, por ejemplo, la mutación que aporta melanina a determinada especie de mariposas nocturnas, con el consiguiente cambio de coloración del blanco al negro. Por regla general, esta clase de mariposas nocturnas se posa en el tipo de abedul que se da en Inglaterra, donde la coloración blanca del insecto le procura un camuflaje protector. En este caso la mutación de la melanina no supone una ventaja, pues las mariposas con pigmentación negra destacan visiblemente y son engullidas por los pájaros. Se trata, pues, de una mutación perjudicial. Pero cuando a raíz de la revolución industrial la corteza del abedul empezó a cubrirse de hollín, la situación cambió radicalmente, y sólo las mariposas que habían experimentado la mutación antedicha sobrevivieron. En este caso nos hallamos ante una mutación beneficiosa y, andando el tiempo, la mayor parte de las mariposas nocturnas adquieren la pigmentación negra, rasgo hereditario que se transmite a las futuras generaciones. De vez en cuando también se producen «retromutaciones» que destruyen la adaptación inducida por la melanina y que serían beneficiosas para el insecto si se pudiera poner término a la contaminación industrial que padece Gran Bretaña.

Obsérvese que en esta interacción entre mutación y selección natural, la mariposa nocturna no realiza un *esfuerzo* consciente para adaptarse a los cambios del medio físico. Se trata de un proceso fortuito, sólo verificado por apreciaciones estadísticas.

Los organismos de mayor tamaño, como el hombre, sufren por término medio una ni marion por cada diez gametos, o sea, que existe un 10 por 100 de probabilidades de que una célula germinal o reproductora lleve registrado un cambio transmisible por herencia en las instrucciones genéticas que han de configurar la estructura de la siguiente generación. Son mutaciones acaecidas al azar y casi siempre nocivas, pues es raro que un mecanismo de precisión mejore como resultado de un cambio fortuito en las instrucciones para construirlo.

Por otra parte, muchas de las mutaciones aludidas tienen carácter recesivo, es decir, no se manifiestan de forma inmediata. Con todo, el índice de mutación es a la sazón tan elevado que, al decir de diversos biólogos, si aumentase la cantidad de ADN genético se producirían índices de mutación demasiado altos. Si aumentara nuestra dotación de genes, sobrevendrían numerosos desajustes con excesiva frecuencia.

1. Hasta cierto punto el ritmo de mutación viene a su vez regulado por la selección natural, como se desprende del ejemplo aducido sobre las «tijeras moleculares». Pero es muy probable que exista un índice de mutabilidad mínimo e irreducible. 1.º) para que tengan lugar: suficientes expendidos genéticos y la selección natural entre en acción, y 2.º) como elemento equilibrador -y, en los mutaciones producidas, supongamos, por los rayos cósmicos y los más eficaces mecanismos «restauradores» de la célula.

Si ello es así, tiene que existir un «techo» en cuanto al volumen de información genética que puede tener cabida en el ADN de los organismos más complejos. Por el mero hecho de su existencia, dichos organismos deben poseer considerables recursos de información extragenética. En todos los animales superiores, a excepción del hombre, esta información se contiene casi exclusivamente en el cerebro.

¿Cómo se distribuye la información contenida en el cerebro? Examinemos los dos puntos de vista más antagónicos acerca de la función del cerebro. Según unos, el cerebro, o por lo menos su capa más superficial, la corteza cerebral, es equipotente, o sea que cualquier parte de la misma puede realizar las funciones de las demás, por lo que no cabe hablar de localización de funciones. La segunda teoría afirma que el cerebro es un entramado de conexiones y que, por tanto, las funciones cognitivas específicas están localizadas en zonas muy concretas del cerebro. El estudio de los computadores parece indicar que la verdad radica en un punto medio entre ambos extremos. Por una parte, toda estimación no mística de la función cerebral debe relacionar la fisiología con la anatomía y cada función específica debe subsumirse en unos módulos neurales concretos u otras estructuras cerebrales. Por otra, y con objeto de asegurar la esmerada ejecución de cada función y prevenir eventuales fallos, cabe suponer que la selección natural ha desarrollado una redundancia considerable en la función cerebral. Y lo mismo cabe esperar del curso evolutivo más probablemente seguido por el cerebro.

La redundancia de memoria almacenada quedó claramente probada gracias a los experimentos de Karl Lashley, un psiconeurólogo de Harvard que extirpó considerables porciones de la corteza cerebral de ratas sin que los roedores olvidaran el trazado, previa mente asimilado, de un laberinto. De los referidos experimentos se infiere que una misma memoria ha de estar forzosamente localizada en múltiples partes del cerebro. Hoy sabemos que determinados recuerdos

se canalizan a través de un conducto denominado cuerpo calloso, que comunica los hemisferios cerebrales derecho e izquierdo.

Según Lashley, tampoco se apreciaron cambios en el comportamiento general de las ratas tras serles extirpada una porción considerable, digamos un 10 por 100, de cerebro. Aun así, habría que consultar al animalito y preguntarle su opinión al respecto. Aclarar inequívocamente la cuestión requeriría un estudio minucioso del comportamiento social de las ratas, de sus hábitos para procurarse alimentos y de su reacción ante el acoso de un felino. Hay cantidad de hipotéticas alteraciones que podrían ser consecuencia de tales extirpaciones y que, aun cuando no se hicieran evidentes al investigar de forma inmediata, serían de gran trascendencia para la rata, como, por ejemplo, el interés que suscita un individuo atractivo en otro del sexo opuesto después de la extirpación, o el grado de apatía que acredita el roedor frente a un gato al acecho.

. Incidentaimeme, como prueba de la influencia de las películas de dibujos animados en la vida norteamericana, vuélvase a leer el párrafo en que se habla de la rata y sustituyase este término por el de «ratón». Luego compruebe si aumenta de sopetón la simpatía hacia este incomprometido roedor expuesto incesantemente al bisturí de los investigadores.

Se arguye a veces que el seccionamiento o las lesiones de partes importantes de la corteza cerebral en el hombre — como tras practicar una lobotomía prefrontal bilateral o a resultas de un accidente— apenas repercuten en su comportamiento. Sin embargo, no debe perderse de vista que determinadas formas de conducta humana no se aprecian claramente desde el exterior, y a veces incluso pasan inadvertidas al propio sujeto. Ciertas percepciones y actividades, como la creatividad, se dan muy raramente. La asociación de ideas que llevan aparejados los actos del genio creativo, por insignificantes que sean, requieren al parecer el despliegue de múltiples recursos del cerebro. Es indiscutible que estos actos creativos son rasgo distintivo de nuestra civilización y del hombre como especie animal. Con todo, en muchos individuos se producen raramente y es muy posible que ni el sujeto que padece la lesión cerebral ni el médico que le examina perciban su ausencia.

Si bien es inevitable una considerable redundancia o duplicación de las funciones cerebrales, podemos asegurar casi con certeza que la hipótesis de la equipotencia integral es falsa, y la mayor parte de los neurofisiólogos contemporáneos la han rechazado. En cambio, no resulta fácil descartar la hipótesis de un cierto grado de equipotencia (como sería, por ejemplo, sostener que la memoria es una función de la corteza cerebral en bloque) aunque, como tendremos ocasión de ver, también ésta puede rebatirse.

Esta muy generalizada la idea de que la mitad del cerebro o más no entra en funciones. Desde un punto de vista evolutivo sería esta una circunstancia realmente anómala y cabría preguntarse por qué hubo proceso de evolución si a esta porción del cerebro no le corresponde función alguna. La verdad, empero, es que tal aseveración no se asienta en pruebas sólidas y que, una vez más, se formula tomando como base que numerosas lesiones cerebrales, generalmente de la corteza, no tienen repercusión manifiesta en el comportamiento. Esta teoría no toma en cuenta (1) la posibilidad de redundancia funcional, ni (2) el hecho de que determinados actos humanos se gestan a niveles de conciencia muy recónditos. Así, las lesiones del hemisferio derecho de la corteza cerebral pueden menoscabar pensamiento y acción, pero en dominios que no son los de la expresión oral y que, por definición, son de difícil descripción, tanto por parte del médico como del paciente.

Por otra parte, existen abundantes pruebas que demuestran el carácter local de las funciones cerebrales. Por ejemplo, se ha determinado que debajo de la corteza existen áreas cerebrales específicas relacionadas con el apetito, el sentido del equilibrio, la regulación térmica, la circulación de la sangre, los movimientos sincronizados y la respiración. Uno de los estudios clásicos sobre las funciones superiores del cerebro lo constituyen los experimentos del netirocrujano canadiense Wilder Penfield, quien ha investigado los efectos de la estimulación eléctrica de diversas partes de la corteza cerebral, por lo general tratando de aminorar los síntomas de dolencias tales como la epilepsia psicomotora. Los pacientes, tras una ligera estimulación eléctrica de determinadas zonas del cerebro, acreditaron rememorar percepciones olfativas, auditivas o visuales ya experimentadas en el pasado.

Uno de los casos tipo podría ser el del paciente al que después de serle practicada una craneotomía afirma haber escuchado con todo detalle la interpretación de una composición orquestal cuando se estimula eléctricamente su corteza cerebral a través del electrodo de Penfield. Cuando Penfield indicaba al paciente, que por norma siempre permanecía despierto durante los experimentos, que le estaba estimulando la corteza cuando en realidad no era así, el enfermo, indefectiblemente, señalaba que no afluían a su mente recuerdos de ninguna especie. Pero cuando Penfield provocaba sin previo aviso una estimulación eléctrica de la corteza, surgía o continuaba determinada evocación. Por ejemplo, había pacientes que decían experimentar una emoción concreta, una sensación de familiaridad o la remembranza plena de una experiencia acaecida muchos años atrás, todo ello de forma simultánea, pero no conflictiva, con la conciencia de estar en un quirófano conversando con el cirujano. Aunque algunos enfermos aludían a estas rememoraciones como «pequeños sueños», lo cierto es que no aparecía en ellos el simbolismo característico de toda ensoñación. Estas explicaciones han sido facilitadas casi exclusivamente por epilépticos, pero cabe dentro de lo posible, aunque en manera alguna se haya demostrado, que en circunstancias similares también los no epilépticos tengan reminiscencias perceptibles de la misma especie.

En un caso de estimulación eléctrica del lóbulo occipital, que está relacionado con la vista el paciente dijo estar viendo revolotear una mariposa con tan palpable verismo que, recostado como estaba en la mesa de operaciones, extendió su mano para atraparla. En el curso de un experimento parejo, realizado con un mono, el animal miraba con fijeza, como si tuviera un objeto ante sus ojos, hasta que realizó un brusco ademán con la mano derecha, como si quisiera aprehender alguna cosa, para luego contemplar con manifiesto desconcierto su mano vacía.

La estimulación eléctrica indolora de por lo menos algunas zonas cerebrales provoca una avalancha de

recuerdos concretos. Sin embargo, la supresión del tejido cerebral que está en contacto con el electrodo no borra la memoria. Es difícil resistirse a la conclusión de que, por lo menos en el hombre, la memoria de los distintos sucesos se acumula en alguna región de la corteza cerebral, en espera de que el cerebro la reclame mediante impulsos eléctricos, que, por supuesto, genera normalmente el propio órgano cerebral.

Si la memoria es una función de la corteza cerebral en bloque —más bien una especie de reverberación dinámica o estereotipo de ondas electromagnéticas estacionarias de sus partes constituyentes que acumulación estática en compartimientos estancos del cerebro— quedaría explicada la supervivencia de recuerdos aun después de haber sufrido el cerebro lesiones graves. Sin embargo, los indicios apuntan en dirección contraria. En una serie de experimentos llevados a cabo por el neurofisiólogo norteamericano Ralph Gerard, de la Universidad de Michigan, se enseñó a unos hámsters a recorrer un sencillo laberinto. A continuación los animalitos fueron sometidos a temperaturas de casi cero grados en un congelador, sometidos a una especie de hibernación artificial. Las bajas temperaturas hicieron que cesara toda actividad eléctrica detectable en el cerebro de los hámsters. Si la teoría de una memoria dinámica hubiese sido cierta, el experimento hubiera debido borrar del cerebro de los hámsters la retentiva del trazado del laberinto. Sin embargo, tras su descongelación, los hámsters recuperaron la memoria. A lo que parece, la memoria se halla localizada en regiones específicas del cerebro, y el hecho de que no sufra menoscabo después de lesiones cerebrales importantes demuestra que existe un suplemento residual de memoria estática almacenada en diversas áreas de la masa cerebral.

Penfield, ampliando los hallazgos de los investigadores precedentes, también descubrió la existencia de una notable localización funcional en la corteza motora. Determinadas partes de las capas superficiales de nuestro cerebro envían o reciben señales a/de ciertas partes del cuerpo. En las páginas 40 y 41 se ofrecen dos croquis de la corteza motórica y sensorial según Penfield. En ellos se refleja con claridad la importancia proporcional de las distintas partes de nuestro cuerpo. La gran extensión de área cerebral que corresponde a los dedos —sobre todo el pulgar—, así como a la boca y a los órganos del habla, corresponde exactamente a lo que en el plano fisiológico, y por vía del comportamiento, nos diferencia de la inmensa mayoría de las restantes especies animales. Sin el habla no habríamos desarrollado nuestro saber ni nuestra cultura, y sin las manos no hubieran sido posibles los portentosos avances técnicos del hombre ni sus creaciones monumentales. En cierto modo, el esquema de la corteza motora es una fiel representación de nuestra condición humana.

Pero en la actualidad las pruebas que poseemos acerca de la localización de las funciones son aún mucho más sólidas. En una brillante serie de experimentos, David Hubel, de la Facultad de Medicina de Harvard, descubrió la existencia de formaciones reticulares de células cerebrales que responden selectivamente a la percepción ocular de una serie de líneas orientadas según diversas direcciones. Así, existen células que detectan líneas horizontales, otras las verticales, unas terceras las diagonales, y cualquiera de ellas sólo resulta estimulada cuando percibe líneas con la orientación apropiada. Por tanto, ya se han registrado ciertos indicios indudables de pensamiento abstracto en las células cerebrales.

La existencia de regiones específicas del cerebro relacionadas con funciones cognoscitivas, sensoriales y motoras concretas, hace innecesaria la existencia de una perfecta correlación entre masa cerebral e inteligencia. Determinadas partes del cerebro son, a todas luces, más importantes que otras. Entre los cerebros de mayor tamaño se cuentan, por ejemplo, los de personajes como Oliver Cromwell, Ivan Turguenev y Lord Byron, todos ellos hombres de gran talento, pero no, en cambio, el de Albert Einstein, que tenía un cerebro de tamaño corriente. El cerebro de Anatole France, hombre de inteligencia superior a la media, era la mitad de grande que el de Byron.

Homúnculos sensorial y motor, según Penfield. Se trata de dos esbozos gráficos de la especialización de funciones en la corteza cerebral. Las figuras humanas distorsionadas muestran la atención que la corteza concede a los distintos órganos del cuerpo humano. Cuanto mayor es la parte del cuerpo expuesta, más importancia reviste. El croquis del «homúnculo sensorial» muestra dicha área somática, que recibe información neural de las partes del cerebro que se representan. El croquis del «homúnculo motor» corresponde a la transmisión de impulsos del cerebro al cuerpo.

El recién nacido posee un cerebro muy grande en proporción al tamaño del cuerpo (un 12 por 100, poco más o menos). Durante los tres primeros años de su vida, o sea el periodo en que el niño aprende con mayor rapidez, el cerebro, y en especial la corteza, continúan creciendo muy rápidamente. Al cumplir los seis, el niño posee ya el 90 por 100 de la masa encefálica que tendrá como adulto. El peso medio de la masa encefálica del hombre actual es de unos 1.375 gramos. Dado que la densidad del cerebro, como la de todos los tejidos corporales, es aproximadamente la del agua (un gramo por centímetro cúbico), el volumen de un cerebro de estas características sería de 1.375 cm³ algo menos de un litro y medio. (Un centímetro cúbico tiene, poco más o menos, el volumen del ombligo de un hombre adulto.)

El volumen del cerebro de la mujer es alrededor de 150 cm³ menor. Si se toman en cuenta las carencias ambientales y educacionales, no existen indicios sólidos de diferencias intelectuales cabales entre los individuos de uno y otro sexo. Consideramos, pues, que una diferencia de peso de 150 gramos en el cerebro de los individuos de la especie humana carece de relieve. También entre los adultos de las distintas razas humanas se dan parecidas diferencias. Por término medio, el cerebro de los orientales es un poco más grande que el de los blancos, y puesto que tampoco en este

caso se ha demostrado que, en igualdad de condiciones, existan diferencias en cuanto al nivel de inteligencia, la conclusión es la misma. La gran diferencia de peso entre los cerebros de Lord Byron (2.200 gramos) y de Anatole France (1.100 gramos) indica que, dentro de estos límites, una diferencia de incluso varios centenares de gramos no tiene, funcionalmente hablando, trascendencia alguna.

Por otra parte, el adulto microcéfalo, es decir, el individuo que nace con un cerebro pequeño» experimenta un grave menoscabo en sus facultades cognoscitivas. Por término medio, su masa cerebral es de 450 a 900 gramos, la masa encefálica de un recién nacido es corrientemente de 350 gramos, y la de un niño de un año, de 500 gramos aproximadamente. Es evidente que descendiendo en la escala de las masas cerebrales, llega un momento en que dicha masa es tan reducida que su actividad, comparada con la de un ser humano adulto que posea un cerebro de tamaño normal, se verá seriamente menoscabada.

Por lo demás, en los seres humanos existe una correlación esta dística entre el peso o tamaño del cerebro y la inteligencia. Como se desprende del ejemplo antes expuesto, concerniente al tamaño de los cerebros de Byron y de Anatole France, la relación entre ambos aspectos no es biunívoca. En ningún caso podemos afirmar taxativamente cuál es el grado de inteligencia de un individuo, hombre o mujer, tomando en cuenta solamente el tamaño de su cerebro. Sin embargo, como ha demostrado Leigh van Valen, biólogo evolucionista de la Universidad de Chicago, los datos de que disponemos nos inclinan a pensar que, por término medio, existe una correlación bastante estrecha entre el tamaño del cerebro y la inteligencia del individuo. ¿Significa esto que en algún caso el tamaño del cerebro es factor *determinante* de la inteligencia? ¿No es posible, por ejemplo, que la desnutrición del individuo, sobre todo del feto en el útero o durante la primera infancia, origine a la vez una merma del tamaño del cerebro y una disminución del nivel intelectual, sin que uno de estos factores sea causante del otro? Van Valen pone de manifiesto que la correlación entre el tamaño del cerebro y el grado de inteligencia en el ser humano es más exacta que la supuesta correlación entre la inteligencia y la estatura o el peso corporal del individuo adulto, que se sabe vienen mediatizados por una alimentación insuficiente. Por lo demás, no existe la menor duda de que la desnutrición puede originar un deterioro de la inteligencia. En fin, dejando al margen estas repercusiones, parece posible afirmar hasta cierto punto que a mayor tamaño del cerebro, en términos absolutos, mayores son las probabilidades de que el individuo alcance un grado superior de inteligencia.

Los físicos, al explorar zonas vírgenes del ámbito intelectual, han considerado útil realizar estimaciones sobre los órdenes de magnitud. Se trata de cálculos aproximados que esbozan el problema y sirven de guía a ulteriores estudios, sin que pretendan alcanzar una exactitud extrema. En lo que atañe al tema de la relación entre masa del cerebro e inteligencia, está claro que en el presente estadio de la ciencia no es posible efectuar una reseña de la función de cada centímetro cúbico de cerebro. Cabe preguntarse, empero, si habrá algún medio, por tosco que sea, de relacionar masa cerebral e inteligencia.

Es precisamente en este contexto donde las diferencias de masa cerebral entre individuos de ambos sexos ofrecen interés, porque, en general, la mujer es más baja y tiene una masa corpórea más reducida que el hombre. Cabe preguntarse, pues, si teniendo menos masa corpórea que controlar, la mujer necesita también un cerebro más pequeño. Ello implicaría suponer que la proporción entre masa del cerebro y masa total del organismo es un baremo más adecuado para medir la inteligencia que la estimación del valor absoluto de la masa cerebral.

En este diagrama se coteja la masa cerebral con la masa corpórea de primates, mamíferos, aves, peces, reptiles y dinosaurios. El diagrama se ha compuesto tomando como base la obra de Jerison (1973) y se han añadido algunos puntos correspondientes a los dinosaurios y miembros de la familia humana a la sazón extintos.

En el diagrama de la página 44 se muestra la masa cerebral y la masa corpórea de diversas especies animales. Se aprecia una notable diferencia de los peces y reptiles frente a las aves y mamíferos. Éstos presentan una considerable masa cerebral en proporción a la masa o peso corporal. El cerebro de los mamíferos puede llegar a pesar de diez a cien veces más que el de los reptiles actuales de tamaño equivalente. En cuanto a las diferencias entre mamíferos y dinosaurios, todavía son más abultadas. Se trata de diferencias realmente asombrosas y sistemáticas. Habida cuenta de que el hombre es un mamífero, es probable que alberguemos algún que otro prejuicio acerca de la proporción que guarda la inteligencia de los mamíferos con la de los reptiles. Con todo, creo que existen abundantes pruebas de que los mamíferos son, en todos los casos, mucho más inteligentes que los reptiles. (En el gráfico de la página 46 se nos muestra una insólita excepción; se trata de un dinosaurio del suborden de los terópodos, semejante al avestruz, perteneciente al último periodo del cretáceo, cuya proporción entre cerebro y masa corpórea le sitúa en una zona normalmente reservada a las grandes aves y a los mamíferos menos inteligentes. Sería interesante conocer muchos más datos acerca de esta, criaturas estudiadas por Dale Russell, director de la división de Paleontología de los Museos Nacionales de Canadá.) De este diagrama, también se infiere que los primates, grupo taxonómico en el que se incluye el hombre, se diferencian, aunque no de forma tan sistemática, de los restantes mamíferos. El cerebro de los primates es por término medio, de dos a veinte veces más grande que el de los mamíferos no primates de idéntica masa corporal.

Si examinamos con más detenimiento el citado diagrama y seleccionamos un grupo de animales, observaremos los resultados en la página 46. De todos los organismos reseñados en el gráfico el animal que posee el cerebro más grande en proporción al peso del cuerpo es una criatura llamada *Homo sapiens*, al que le siguen los delfines.

Si nos atendemos al criterio de la proporción entre masa cerebral y masa corporal los tiburones son los más inteligentes especímenes de la fauna piscícola, circunstancia congruente con el papel que la naturaleza asigna a esos cretáceos, ya que los depredadores del mar deben ser más inteligentes que los comedores de plancton. Tanto por lo que representa al progresivo aumento de la masa cerebral en proporción al peso del cuerpo como concerniente a la formación de centros coordinadores en los tres principales componentes de los cerebros, la evolución de los tiburones se ha desarrollado, curiosamente, de forma paralela a

la evolución de los vertebrados superiores en tierra firme.

Una vez más, creemos que no vamos a pecar de chauvinistas si afirmamos, en base a los indicios que nos suministran sus respectivos comportamientos, que el hombre y el delfín cuando menos dos de los organismos más inteligentes de la Tierra. Ya Aristóteles reparó en la importancia de la proporción, entre cerebro y masa corporal. En la actualidad, el principal defensor de esta teoría es Harry Jenson, neuropsiquiatra de la Universidad de California en Los Angeles. Jenson indica que existen algunas excepciones a nuestra correlación. Tal sucedería con la musaraña enana de Europa, que alberga una masa cerebral de 100 miligramos en un cuerpo de 4,7 gramos, de lo que resulta una proporción que la sitúa en la escala del hombre. Consideramos, empero, que no cabe aplicar la correlación masa-inteligencia a los animales de escasa envergadura corpórea, porque la más simple de las funciones «de manutención» del cerebro requiere un porcentaje mínimo de masa cerebral.

He aquí una ampliación detallada de algunos de los puntos del diagrama de la página 44. El sauromitoide corresponde a la especie de reptil parecido al avestruz que se menciona en el texto.

La masa cerebral de un cachalote maduro, pariente cercano del delfín, es de casi 9.000 gramos, o sea seis veces y media mayor que la usual en el hombre. Es una masa insólita en términos absolutos, pero no (cotéjese con el gráfico superior) si atendemos a la proporción entre tamaño del cerebro y envergadura del organismo. Con todo, la masa cerebral de las especies más gigantescas de dinosaurio representa el 1 por 100 de la que ostenta el cachalote. ¿Para qué necesita este cetáceo disponer de un cerebro tan enorme? ¿Existen estudios, percepciones, artes, ciencias o leyendas en torno a la figura del cachalote?

La pauta de la proporción entre masa cerebral y masa corpórea, en la que no intervienen apreciaciones de conducta, ha demostrado ser un baremo sumamente útil para medir la inteligencia proporcional de muy distintas especies animales. Es lo que un físico llamaría «un primer enfoque satisfactorio». (Conviene tomar nota, de cara a posteriores referencias, que los australopitecos, que o bien fueron antecesores directos del hombre o, por lo menos, de una rama muy afín, tenían también un cerebro considerable en proporción al peso del organismo, como demuestran los moldes obtenidos de cráneos fosilizados). Me pregunto si el singular atractivo de los niños de corta edad y de otros pequeños mamíferos —con cabezas proporcionalmente muy grandes comparadas con la de los individuos adultos de la misma especie— se debe a que tenemos una conciencia oculta de la importancia que reviste la proporción cerebro-masa corpórea.

De lo dicho hasta el momento se deduce que la evolución de los mamíferos a partir de los reptiles, ocurrida hace más de doscientos millones de años, vino acompañada de un notable incremento del tamaño relativo del cerebro y de la inteligencia, y que la evolución del hombre a partir de los primates más simples, ocurrida unos cuantos millones de años atrás, impulsó un proceso de cerebración todavía más asombroso.

El cerebro humano (dejando a un lado el cerebelo, que no parece tenga intervención en las funciones cognoscitivas) contiene alrededor de diez mil millones de elementos conmutadores llamados neuronas. (El cerebelo, situado debajo de la corteza cerebral, en la parte posterior de la cabeza, contiene aproximadamente otros diez mil millones de neuronas.) Los flujos eléctricos generados por y a través de las neuronas o células nerviosas llevaron al anatomista Luigi Galvani al descubrimiento de la electricidad. Galvani había comprobado que se podían enviar impulsos eléctricos a las ancas de la rana y que aquéllas se contraían espasmódicamente. Desde entonces se extendió la idea de que la electricidad era la causa de la motricidad animal en su acepción más profunda. A lo sumo, esta es una verdad a medias. Los impulsos eléctricos, transmitidos por conducto de las fibras nerviosas, producen efectivamente, por intermedio de agentes neuroquímicos, movimientos tales como la articulación de los miembros; pero los impulsos se generan en el cerebro. Sin embargo, la moderna ciencia de la electricidad, así como las industrias eléctricas y electrónicas, ven el origen de su actividad en los experimentos de estimulación eléctrica y subsiguiente contracción nerviosa de las ancas de las ranas llevados a cabo en el siglo XVIII.

Pocos decenios después de la muerte de Galvani, un grupo de escritores ingleses bloqueado en los Alpes por los rigores invernales decidió, como pasatiempo, ver cuál de sus componentes era capaz de escribir el relato más alucinante. Fue así como Mary Wollstonecraft Shelley, que formaba parte del grupo, escribió la archiconocida historia del monstruo del doctor Frankenstein, que cobra vida al serle aplicadas intensas descargas eléctricas. Desde entonces, el instrumental y los artificios eléctricos han sido ingrediente indispensable en la ambientación de las novelas y películas de terror. La idea de que estos elementos sean tan importantes para la creación de la vida humana arranca básicamente de Galvani, pero resulta un tanto equívoca, pese a lo cual el concepto ha tomado carta de naturaleza en numerosas lenguas occidentales. Así, puedo afirmar que me he sentido *galvanizado* por el afán de escribir este libro.

En general, los neurobiólogos estiman que las neuronas son los elementos activos de la función cerebral, si bien existen indicios de que determinados tipos de memoria y otras funciones cognoscitivas pueden estar ubicadas en ciertas moléculas del cerebro, tales como el ARN o las proteínas de reducido peso molecular. A cada neurona cerebral le corresponden aproximadamente diez células gliales o neurogliales (de la denominación griega de la cola o visco), que constituyen el andamiaje de la construcción neuronal. Por término medio una neurona del cerebro humano posee entre 1.000 y 10.000 sinapsis o puntos de contacto con las neuronas más próximas. (Parece que muchas neuronas de la médula espinal poseen alrededor de 10.000 sinapsis, y es posible que las llamadas células de Purkinje, en el cerebelo,

tengan todavía más. En cuanto al número de conexiones por neurona en la corteza cerebral, es probable que sean menos de diez mil.) En el supuesto de que cada sinapsis responda a una cuestión elemental con un simple «sí» o «no», al igual que los elementos de conmutación de las computadoras electrónicas, resultaría que el máximo de respuestas en uno u otro sentido, o bits de información, que podría contener el cerebro sería, poco más o menos, de $10^{10} \times 10^3 = 10^{13}$, esto es, 10 billones de bits (o 100 billones = 10^{14} bits, si partimos de 10^4 sinapsis por neurona). Algunas de dichas sinapsis contienen probablemente la misma información que otras sinapsis; otras guardarán relación con funciones motoras u otras funciones no cognoscitivas; finalmente, las habrá vacías de contenido, actuando como amortiguadores en espera del flujo informativo de la próxima jornada.

Si el cerebro humano tuviera una sola sinapsis —lo que correspondería a un individuo de monumental estupidez— no podríamos alcanzar más que dos estados mentales. Si las sinapsis fueran dos, tendríamos $2^2 = 4$ estados; si fueran tres, $2^3 = 8$ estados, y siguiendo esta progresión, a n sinapsis corresponderían 2^n estados. Pero el caso es que el cerebro humano contiene alrededor de 10^{13} sinapsis, por lo que el número de estados mentales que puede alcanzar el hombre es de $2^{10^{13}}$, o sea, 2 multiplicado por sí mismo diez billones de veces. Se trata de una cifra irrepresentable, mucho mayor, por ejemplo, que el número de partículas elementales (protones y electrones) que existen en todo el universo, número muy inferior a 2^{1000} . Debido a esta ingente cantidad de configuraciones cerebrales funcionalmente distintas no puede haber dos hombres iguales, ni siquiera dos gemelos monovitelinos que se hayan criado juntos. Esta cifra colosal puede explicar también, hasta cierto punto, el porqué de la imposibilidad de predecir la conducta humana y el hecho de que en un momento dado lleguemos a sorprendernos de nuestros propios actos. Y, ciertamente, a la vista de tales magnitudes, es realmente asombroso que existan pautas regulares de conducta en el hombre. La única respuesta válida es la de que en modo alguno se han agotado la totalidad de estados cerebrales y que, por consiguiente, existe un ingente número de configuraciones mentales no experimentadas, y ni siquiera atisbadas por el ser humano a lo largo de la historia de la humanidad. Desde este ángulo, todos somos diferentes entre sí, por lo que el reconocimiento de la inviolabilidad de la vida humana, en razón a la singularidad de cada individuo, resulta una consecuencia ética plausible.

En los últimos años se ha podido determinar la existencia de microcircuitos electrónicos en el cerebro. Las neuronas que constituyen estos microcircuitos presentan una gama de respuestas que va mucho más allá del escueto «sí» o «no» de los elementos conmutadores de las computadoras. Debido a su reducidísimo tamaño (normalmente, una diezmilésima de centímetro) los microcircuitos pueden procesar la información a gran velocidad, pues responden a estímulos o impulsos cuyo voltaje es una centésima menor del que se necesita para estimular a una neurona común y, por lo tanto, son capaces de dar respuestas mucho más precisas y complejas. A lo que parece, estos microcircuitos proliferan de manera congruente con nuestras nociones habituales acerca de la complejidad de un animal, por lo que sería en el ser humano donde se daría una mayor proliferación de los mismos, tanto en términos absolutos como relativos. Por otra parte, en el hombre se desarrollan en una fase embriológica tardía. La existencia de dichos microcircuitos induce a suponer que la inteligencia no sólo es la resultante de unos índices de proporcionalidad muy elevados entre cerebro y masa corporal, sino también de la abundancia de elementos conmutadores en el cerebro que realizan funciones muy específicas. Los microcircuitos hacen que el número de estados cerebrales sea mayor que el calculado en el párrafo anterior, con lo que se realza la sorprendente unicidad del cerebro de cada individuo.

Cabe, también, abordar el tema del caudal de información con tenido en el cerebro humano con arreglo al método introspectivo, completamente distinto del precedente. Tratemos, por ejemplo, de representarnos visualmente una escena de nuestra niñez. Escrutémosla con los ojos de la imaginación y supongámosla compuesta por una finísima trama de puntos, como las telefotos de los periódicos. Cada puntito tiene un color y una intensidad de tono. Se trata de averiguar cuántos bits de información se necesitan para fijar el color y la intensidad tonal de cada uno de ellos, cuántos puntitos forman la imagen representada y cuánto tiempo se requiere para grabar en la mente todos los detalles de la imagen. En esta evocación retrospectiva, uno centra la imaginación en una pequeñísima porción de la imagen cada vez, obteniendo un campo de visión muy reducido. Al integrar los distintos fragmentos de imagen, determinamos la velocidad con que el cerebro procesa los datos acumulados, que se expresará en bits por segundo. Realizado este cálculo, se detecta una velocidad máxima de procesamiento de unos 5.000 bits por segundo.

El ángulo de uno al otro extremo del horizonte en una superficie plana mide 180 grados; el diámetro de la luna es de 0,5 grados. Me consta que puedo apreciar algunos detalles en la superficie del astro, tal vez unos doce elementos visuales. De ello se deduce que el ojo tiene un poder de resolución de unos $0,5 / 12 = 0,04$ grados. Todo lo que esa cifra escapa a la visión del ojo humano. Según parece, el campo visual instantáneo que percibe el «ojo» de mi mente, así como mi ojo real, es unos dos grados por lado. Así pues, la figurita cuadrada que puedo visualizar en cualquier momento dado, contiene alrededor de 2.500 elementos gráficos ($2 / 0,04$)² equivalentes a los puntitos de una telefoto. Establecer toda la posible gama de grises y de color de estos puntos exige unos 20 bits por cada elemento de la imagen. Así, la descripción de la figurita a que aludía requiere unos 50.000 bits (2.500×20 bits). Pero escrutar la imagen requiere unos diez segundos, por lo que la velocidad de procesamiento sensorial de datos probablemente no es mucho mayor de 5.000 bits por segundo ($50.000 / 10$). A título de referencia, las cámaras instaladas en el *lander* del *Viking*, que poseen asimismo un poder de resolución de 0,04 grados, utilizan sólo seis bits por elemento gráfico para establecer su intensidad de tono y es capaz de transmitirlos directamente por radio a la Tierra a razón de 500 bits por segundo. Las neuronas del cerebro generan un potencial de 25 wátios, apenas suficiente para encender una pequeña luz incandescente. El potencial del *lander* del *Viking* para la transmisión de mensajes por radio y la realización de las restantes funciones encomendadas es de unos 50 wátios en total.

Por lo general, estas evocaciones visuales se concentran en los perfiles de las formas y en los contrastes muy marcados de color, como el paso del blanco al negro, más que en la representación de las gradaciones intermedias. La rana, por ejemplo, propende marcadamente a visualizar los gradientes de intensidad de tono. Con todo, existen claros

indicios de que con razonable frecuencia se da una detallada rememoración no sólo de los contornos de los objetos o figuras, sino también de su masa interior. Tal vez el ejemplo más chocante sea realizar con el hombre el experimento de reconstrucción estereoscópica de una imagen tridimensional a base de contemplar separadamente un mismo objeto situado ante uno y otro ojo. La fusión de imágenes en este anáglypho exige la rememoración de 10.000 elementos visuales.

Pero cuando estoy en estado de vigilia no me paso las horas reteniendo imágenes visuales ni me dedico a escudriñar sin tregua a cuantas personas y objetos encuentro a mi paso. Todo lo más, dedico a ello un pequeño porcentaje de mi tiempo. Mis restantes conductos de información —auditivos, táctiles, olfativos y gustativos— también participan, pero con una velocidad de transmisión mucho más baja. Finalmente, deduzco que la velocidad media de mi cerebro en el tratamiento de la información es de unos 100 bits (5.000/50) por segundo. Así pues, resultaría que a lo largo de un periodo de sesenta años destinamos 2×10^{11} bits, o sea un total de 200.000 millones de bits, a la retentiva visual y de otro género, en el supuesto de que poseamos una buena memoria. Se trata de una cifra inferior, aunque razonablemente inferior, al número de sinapsis o conexiones neurales (puesto que el cerebro realiza otras funciones, además de la simple evocación mental), e indica que las neuronas son, indiscutiblemente, los elementos conmutadores básicos de la función cerebral.

El psicólogo norteamericano Mark Rosenzweig y sus colegas de la Universidad de California en Berkeley han llevado a cabo una serie de notables experimentos sobre los cambios que experimenta el cerebro durante el proceso de aprendizaje. Para ello constituyeron dos colonias de ratas de laboratorio: una en un medio silencioso, monótono y degradado, y otra en un entorno abigarrado, bullicioso y estimulante. Pues bien, el segundo grupo mostró un asombroso aumento de la masa y espesor de la corteza, simultáneamente con una serie de alteraciones en la química del cerebro. El fenómeno pudo detectarse tanto en los roedores maduros como en los jóvenes. Esta clase de experimentos demuestra que las incidencias de orden intelectual van acompañadas de cambios fisiológicos y pone de manifiesto que la plasticidad o adaptabilidad puede ser regulada anatómicamente. Teniendo en cuenta que una corteza cerebral más grande puede facilitar el aprendizaje futuro, se aprecia claramente la importancia de que la niñez del individuo transcurra en un medio estimulante.

Ello significaría que el saber adquirido se corresponde con la producción de nuevas sinapsis o la reactivación de las casi extintas. El neuroanatomista William Greenough, de la Universidad de Illinois, junto con sus colaboradores, ha encontrado indicios que abonan esta hipótesis. En efecto, se ha comprobado que las ratas, después de varias semanas dedicadas al aprendizaje de nuevas instrucciones en el laboratorio, desarrollan en su corteza las ramas neuronales que necesitan para formar sinapsis. Por el contrario, otros roedores sometidos a las mismas condiciones ambientales pero que recibieron una instrucción mucho menos amplia no presentaron innovaciones neuroanatómicas de clase alguna. La formación de nuevas sinapsis requiere la síntesis de moléculas de proteína y de ARN. Pues bien, existen abundantes indicios de que estas moléculas se elaboran en el cerebro durante el aprendizaje, e incluso se ha dicho que el saber está contenido en las moléculas de proteína o de ARN del cerebro. Pero lo más probable es que la

información incorporada esté contenida en las neuronas, que a su vez están constituidas por proteínas y ARN.

¿Cuál es el grado de compactibilidad de la información almacenada en el cerebro? Por regla general, un computador moderno en funcionamiento alberga un caudal informativo de alrededor de un millón de bits por centímetro cúbico, cantidad resultante de dividir el total de información almacenada en el computador por su volumen. Como hemos dicho, el cerebro humano almacena alrededor de 10^{13} bits en poco más de 10^3 centímetros cúbicos. Así pues, su densidad de información es de $10^{13}/10^3 = 10^{10}$, o sea, unos diez mil millones de bits por centímetro cúbico. Por lo tanto, el cerebro acumula diez mil veces más información que un computador, pese a la diferencia de tamaño entre uno y otro. Dicho de otra manera: un computador de la última generación que tuviera que procesar los datos contenidos en el cerebro humano, tendría que tener un volumen diez mil veces mayor. Por otra parte, los actuales computadores electrónicos pueden procesar la información a una velocidad entre 10^6 y 10^7 bits por segundo, mientras que la velocidad máxima que desarrolla el cerebro es diez mil millones de veces menor. Fácil es imaginar cuán perfecto debe ser el sistema de almacenamiento y «bobinado» del cerebro, habida cuenta de su enorme volumen informativo y lenta velocidad de procesamiento de datos, para realizar tantas tareas vitales con mucha mayor eficiencia que el más perfeccionado de los computadores.

El número de neuronas contenidas en el cerebro de un animal no crece a la par que el volumen del cerebro, sino que aumenta más lentamente. Como se ha dicho, el cerebro del hombre, cuyo volumen es de unos 1.375 cm^3 , contiene, aparte del cerebelo, unos diez mil millones de neuronas y diez billones de bits. No hace mucho, hallándome en un laboratorio del Instituto Nacional de Salud Mental cercano a Bethesda, Maryland, tuve entre mis manos el cerebro de un conejo. Su volumen era a lo sumo de treinta centímetros cúbicos, poco más o menos el tamaño de un rábano común, correspondiente a unos pocos centenares de millones de neuronas y a unos cien mil millones de bits. Esta masa encefálica regulaba, entre otras cosas, la masticación de la lechuga, las contracciones del hocico y la actividad sexual de los individuos adultos.

Dado que en el seno de grupos taxonómicos como los mamíferos, reptiles o anfibios hay individuos con muy distintas masas cerebrales, no nos es posible ofrecer una evaluación fidedigna acerca del número de neuronas que contiene el cerebro de un representante común de cada entidad o categoría taxonómica, pero sí podemos calcular los valores medios, como se muestra en el gráfico de la página 32. Las evaluaciones aproximadas que allí se ofrecen indican que el cerebro del hombre tiene, poco más o menos, cien veces más bits de información que un conejo. No sé si tendrá utilidad saber que el hombre es cien veces más inteligente que el conejo, pero en todo caso no me parece una aserción ridícula. (Por supuesto que de ello no debe inferirse que un centenar de conejos alcancen el nivel de

inteligencia de un ser humano.)

Estamos ya en condiciones de poder comparar el gradual incremento que ha ido experimentando el caudal de información contenido en el material genético y el acumulado en el cerebro de los organismos a lo largo de los sucesivos estadios evolutivos. La intersección de las dos curvas (página 32) coincide con una fecha que nos lleva a remontarnos unos cuantos centenares de millones de años en el pasado y a un volumen de información equivalente a unos miles de millones de bits. En algún lugar de las calurosas junglas del carbonífero emergió un organismo que por vez primera en la historia de la Tierra poseía más información en el cerebro que en los genes. Se trataba de uno de los primeros reptiles, y si nos topásemos con él en nuestro supercivilizado mundo, no le asignaríamos un grado de inteligencia excepcional. Sin embargo, este cerebro marcó un simbólico hito en los anales de la vida sobre el planeta. Los dos jalones subsiguientes en el proceso de cerebra-ción, coincidentes con la aparición de los mamíferos y el advenimiento de los primates semejantes al hombre, constituyeron un avance todavía más significativo en lo tocante a la evolución de la inteligencia. Gran parte de la historia de la vida a partir del carbonífero puede ser descrita como el progresivo —y, por supuesto, incompleto— dominio del cerebro sobre los genes.

El cerebro de un pez es incipiente. Un pez posee un notocordio o médula espinal, al igual que otros invertebrados de inferior jerarquía. Un pez primitivo tiene, además, una pequeña protuberancia en el extremo frontal de su médula espinal que hace las veces de cerebro. En los peces más evolucionados esta protuberancia está más desarrollada, pero su peso aún no sobrepasa los dos gramos. En los animales superiores, esta turgencia corresponde al llamado cerebro posterior o rombencéfalo y al cerebro medio o mesencéfalo. El cerebro de los actuales peces está constituido en buena parte por el mesencéfalo y un diminuto prosencéfalo (cerebro anterior), a la inversa que en los reptiles y anfibios contemporáneos (véase la figura de la página 56). Y, sin embargo, los registros fósiles de los primeros vertebrados conocidos nos muestran ya configuradas las principales divisiones del cerebro del hombre actual (por ejemplo, regiones anterior, media y posterior). Hace quinientos millones de años, nadaban en los mares primitivos unos vertebrados acuáticos pisciformes —los llamados placodermos y ostracodermos— cuyos cerebros tenían ostensiblemente las mismas divisiones básicas que los nuestros. Con todo, el tamaño y la importancia proporcional de sus partes, e incluso las funciones primitivas de las mismas, eran sin duda muy diferentes a los de nuestros días.

Esquemas comparativos de los cerebros de un pez, un anfibio, un reptil, un ave y un mamífero. El cerebelo y la médula oblongada forman parte del cerebro posterior.

Una de las perspectivas más interesantes de la ulterior evolución del cerebro es la crónica del continuo crecimiento y especialización de tres nuevas capas o membranas que coronan la médula espinal, el rombencéfalo y el mesencéfalo. Al término de cada fase de la evolución perviven las antiguas divisiones cerebrales, pero deben adecuarse al cambio y, además, se ha unido a ellas una nueva capa dotada de nuevas funciones.

Paul MacLean, director del laboratorio de evolución cerebral y conducta del Instituto Nacional de Salud Pública, es en la actualidad el más destacado representante de esta teoría. Uno de los rasgos más sobresalientes del trabajo de MacLean es que abarca una amplia gama de especies animales, desde el lagarto hasta el

tití. Otra nota acreditativa de su excelente labor es el minucioso estudio que él y sus colegas han llevado a cabo sobre el comportamiento social y de todo tipo de estos animales para así incrementar las posibilidades de descubrir qué actos de conducta concretos regula cada una de las partes del cerebro.

Los tíes de rasgos faciales «exóticos» se saludan entre sí con arreglo a una especie de ritual exhibicionista. Los machos muestran la dentadura, sacuden las barras de la jaula, lanzan un chillido estridente —que a buen seguro tiene carácter intimidatorio en las colonias de estos platirrinós— y elevan las piernas dejando al descubierto el pene erecto. Si en la comunidad humana un comportamiento de este género se consideraría en muchos casos sumamente grosero, en lo que respecta a los tíes constituye un acto complejo que sirve para mantener la jerarquía de dominio en el ámbito de su comunidad.

MacLean ha descubierto que basta la lesión de una pequeña porción del cerebro para que el tití no pueda acometer la exhibición referida, aun cuando mantenga intactas sus restantes facultades, como pueden ser las funciones sexuales y la agresividad. La parte afectada se halla en la parte más «vieja» del prosencéfalo, que tanto el hombre como otros primates comparten con los mamíferos y reptiles antecesores del hombre. En los mamíferos no pertenecientes al orden de los primates y en los reptiles se da un comportamiento ritual semejante que, al parecer, se regula desde la misma región cerebral. Las lesiones de este componente reptiloide pueden repercutir sobre otras actividades automáticas no precisamente rituales como, por ejemplo, los actos de andar o de correr. Entre los primates hallamos con frecuencia esta relación entre ostentación sexual y posición jerárquica del individuo. Por ejemplo, entre los macacos japoneses, la casta social se mantiene y refuerza mediante la monta diaria de los individuos de castas inferiores, que adoptan la sumisa postura sexual característica de la hembra en celo mientras los machos dominantes efectúan una breve y formularia cubrición. Se trata no tanto de apareamientos de carácter sexual como de actos generalizados y rutinarios que denotan claramente la identidad social del individuo en el seno de una sociedad compleja.

En un estudio sobre el comportamiento del tití Caspar, el animal dominante de la colonia y, con mucho, el más exhibicionista, no fue visto ni una sola vez copulando pese al gran número de veces que hizo ostentación del miembro genital (las dos terceras partes del total computado); por lo demás, casi todas sus exhibiciones iban dirigidas a otros machos adultos. El hecho de que Gaspar se viera fuertemente inducido a dejar constancia de su dominio, pero en cambio muy poco estimulado en cuanto a sus apetitos sexuales, indica que aun cuando ambas funciones puedan suponer la intervención de los mismos órganos no guardan entre sí una relación directa. Los científicos que estudiaban el comportamiento de la citada colonia llegaron a la conclusión de que «la exhibición de los genitales debe ser considerada como el signo socialmente más eficaz para delimitar la jerarquía del individuo dentro del grupo. Con este comportamiento de carácter ritual, el mono parece querer indicar: Aquí soy yo quien manda. Seguramente deriva de la práctica sexual, pero se utiliza con fines de comunicación social, sin relación con la actividad reproductiva. En otras palabras la exhibición fálica es un ritual derivado del comportamiento sexual pero que cumple un fin social, no de orden reproductivo».

Durante un programa televisivo con personajes invitados emitido en 1976, el entrevistador preguntó a un jugador de fútbol profesional si a los miembros del equipo les resultaba embarazoso mostrarse desnudos en el vestuario, a lo

que ei interpelado contestó sin vacilar: «¡Qué va! ¡Nos gusta exhibirnos! Nadie se siente violento. Es como si nos dijésemos el uno al otro: ¡En, tío veamos qué calibre gastas!... Puede que con los entrenadores o los masa jistas no sea lo mismo».

Las relaciones de comportamiento y neuroanatómicas entre apt tito sexual, agresividad y dominio se han visto confirmadas por una amplia variedad de estudios. El ceremonial que conlleva el apareamiento de los gatos monteses y muchos otros animales es difícilmente distinguible, al menos en las primeras fases, del combate entre dos individuos de la misma especie. Todo el mundo sabe que a veces el gato doméstico ronronea irritado mientras raspa lentamente con sus garras el tapizado de un mueble o la piel del hombre protegida por una liviana prenda de vestir. El empleo de la sexualidad como fórmula para fijar y mantener la relación de dominio se aprecia a veces en las prácticas heterosexuales y homosexuales del hombre (aun cuando no se trate, por supuesto, del único elemento que interviene en ellas), así como en muchas expresiones «obsenas». Téngase en cuenta la peculiaridad de que el más común de los insultos verbales en inglés (*fuck-you*, «jódete») y, también en muchos otros idiomas, hace referencia a un acto de intenso placer físico. Probablemente, la forma inglesa deriva del antiguo verbo alemán y holandés *fokken*, que significa «golpear», «atacar», «dar caña», etc. Este por lo demás enigmático empleo puede entenderse como un equivalente verbal del lenguaje simbólico del macaco, en el que el pronombre «yo» queda sobreentendido por ambas partes. Tanto esta expresión como otras de parecida índole parecen constituir un apareamiento de carácter ceremonial entre individuos de la especie humana. Como tendremos ocasión de ver, es probable que este comportamiento se retrotraiga a especies muy anteriores a los monos y se remonte cientos de millones de años en el pasado geológico.

Partiendo de experimentos como los realizados con los títes, MacLean ha elaborado un sugestivo modelo de la estructura y evolución cerebral que él llama cerebro «trino». Afirma que «estamos obligados a examinarnos a nosotros mismos y al mundo en general a través de tres mentalidades muy distintas», en dos de las cuales no interviene la facultad del habla. MacLean sostiene que el cerebro humano «equivale a tres computadores biológicos interconectados», cada uno de los cuales posee «su peculiar y específica inteligencia, subjetividad y sentido del tiempo y del espacio, así como sus propias funciones de memoria, motrices y de todo tipo». Cada cerebro corresponde a una etapa evolutiva de trascendental importancia. El referido investigador afirma también que los tres cerebros se distinguen tanto por su configuración neuroanatómica como por su funcionalidad, y que contienen proporciones muy dispares de dopamina y colinesterasa, dos sustancias químicas cerebrales.

La parte más primitiva del cerebro humano comprende la mé dula espinal; la médula oblongata y la protuberancia anular (o pons), que forman el cerebro posterior; y el cerebro medio o mesencéfalo. MacLean llama «armazón neural» al conjunto integrado por la médula espinal, el cerebro posterior y el cerebro medio.

Alberga los mecanismos neurales básicos de la reproducción y la autoconservación, aspecto que incluye la regulación del ritmo cardíaco, circulación sanguínea y respiración. En un pez o un anfibio este es casi todo el cerebro que existe, pero según MacLean, un reptil o animal superior privado de prosencéfalo (cerebro anterior) es «tan insensible y tan inútil como un vehículo parado sin conductor».

Representación muy esquematizada del complejo-R, el sistema límbico y el neo-córtex en el cerebro humano, según MacLean.

En mi opinión, la llamada epilepsia *gravior o gran mal* puede ser considerada como una dolencia en la que los impulsores cognoscitivos han quedado inutilizados debido a una especie de tormenta eléctrica sobrevenida en el cerebro, tras la cual, el sujeto afectado no dispone momentáneamente de más elemento operativo que el armazón neural. Se trata de una grave lesión que, momentáneamente, hace retroceder a la víctima varios cientos de millones de años. Los antiguos griegos, de los que seguimos utilizando el nombre con que denominaron a la enfermedad, reconocieron el carácter insondable de la misma y la llamaron «la enfermedad infligida por los dioses».

MacLean distingue tres clases de elementos motrices del arma zón neural. El de formación más antigua envuelve el cerebro medio (integrado en buena parte por lo que los neuroanatomistas denominan la estría olfatoria, el cuerpo estriado y el *globus pallidus*); lo comparten con nosotros los restantes mamíferos y los reptiles. Probablemente se desarrolló hace varios centenares de millones de años. MacLean lo denomina el complejo reptílico o complejo R. Rodeándolo se halla el sistema límbico, llamado así porque linda con el cerebro propiamente dicho. (En inglés, brazos y piernas se llaman *limbs* [miembros] por ser órganos *periféricos* al resto del cuerpo.) También los restantes mamíferos tienen un sistema límbico, y en un grado mucho menos evolucionado lo poseen asimismo los reptiles. Seguramente se originó hace más de ciento cincuenta millones de años.

Por último, rematando lo que resta del cerebro, se encuentra el neocórtex, sin duda la incorporación evolutiva más moderna. El hombre, al igual que los mamíferos superiores y los restantes primates, posee un neocórtex proporcionalmente grande. En los mamíferos más evolucionados se aprecia un aumento gradual de esta zona cerebral. El más perfecto es el nuestro (junto con el de los delfines y los grandes cetáceos como las ballenas). Probablemente se constituyó hace varias decenas de millones de años, pero con la aparición del hombre su desarrollo se aceleró en gran manera. En la página anterior ofrecemos una representación esquemática ajustada a esta descripción del cerebro humano, y en la parte superior de la página siguiente un cotejo del sistema límbico con el neocórtex en tres mamíferos contemporáneos. El concepto de cerebro «trino» concuerda de forma notable con la conclusión, derivada de forma independiente del estudio de la proporción entre masa cerebral y masa corpórea ofrecido en el capítulo anterior, de que la aparición de los mamíferos y de los primates (especialmente del hombre) vino acompañada de verdaderos hitos en el proceso de cerebración.

Representación esquemática de la parte superior y lateral de los cerebros del conejo, el gato y el mono. Las zonas punteadas en negro constituyen el sistema límbico, que se aprecia más claramente en los esquemas laterales. La región en blanco, con presencia de surcos, representa el neocórtex, visible sobre todo en las figuras de la parte superior.

Resulta muy difícil evolucionar alterando la estructura profunda de la vida. Cualquier intento de cambio puede resultar funesto. Aun así es posible que se produzcan transformaciones básicas mediante la superposición de nuevos sistemas a los ya existentes. Ello nos trae a la memoria una teoría que Ernest Haeckel, el anatomista alemán del siglo XIX, llamó de la *recapitulación* y que ha conocido distintas fases de aceptación y rechazo entre los medios científicos. Decía Haeckel que durante su desarrollo embriológico un animal tiende a repetir o «recapitular» la secuencia evolutiva de sus antecesores. Asimismo, el feto humano, durante su vida intrauterina, pasa por distintas fases evolutivas muy semejantes a las de los peces, reptiles y mamíferos no primates antes de desarrollar aquellos rasgos fisiológicos que acreditan su condición de hombre. Durante la etapa pisciforme inclusive posee unas hendiduras branquiales, que no reportan utilidad alguna al embrión, ya que éste se alimenta a través del cordón umbilical, pero que son vitales dentro del proceso embriológico humano. En efecto, dado que las branquias eran un órgano fundamental para nuestros antepasados, el embrión humano pasa por una fase de desarrollo branquial. El cerebro de un feto humano también se desarrolla de dentro hacia afuera y, en términos aproximados, pasa por la secuencia almacén neural, complejo R, sistema límbico y neocórtex (véase en la página 204 un esquema seriado del desarrollo embrionario del cerebro humano).

Las causas explicativas de la recapitulación pueden entenderse del siguiente modo. La selección natural opera tan sólo en los individuos, no en la especie, y escasamente sobre los huevos o los fetos. En este sentido, el último cambio evolutivo se produce después del parto. Puede que el feto presente determinados rasgos, como las ya citadas hendiduras branquiales de los mamíferos, que perjudicarían la adaptación del individuo al medio tras su nacimiento, pero mientras no causen daños al feto y desaparezcan antes del parto, el organismo las tolera sin dificultad. Nuestras hendiduras branquiales no son vestigios de los antiguos peces, sino de los primitivos embriones de peces. Muchos órganos de nueva génesis se constituyen, no por adición y conservación, sino por transformación de órganos primitivos en otros nuevos: las aletas se transforman en patas y las patas en miembros natatorios o alas; los pies se convierten en manos, y a la inversa; las glándulas sebáceas en glándulas mamarias; los arcos branquiales en los huesos del oído; las escamas de los tiburones en dientes, etc. Por lo tanto, la evolución por adición o superposición y la preservación funcional de la estructura preexistente se produce por una de estas dos razones: o bien porque la primitiva función es tan necesaria como la nueva, o bien porque no existe medio de relegar el órgano antiguo sin poner en peligro la supervivencia del individuo.

La naturaleza nos ofrece muchas otras muestras de este tipo de desarrollo evolutivo. Para tomar un ejemplo, casi al azar, analicemos por qué las plantas son verdes. El proceso de fotosíntesis de las plantas verdes utiliza la luz de las bandas roja y violeta del espectro solar para romper las moléculas de agua, formar hidratos de carbono y acometer otras funciones vegetales. Sin embargo, el sol irradia más luz en las bandas amarilla y verde del espectro que en las bandas roja y violeta. Las plantas cuyo único pigmento fotosintético es la clorofila rechazan, pues, la fuente lumínica más abundante. Muchos vegetales parecen haber «advertido» un tanto tardíamente esta circunstancia y han llevado a cabo las pertinentes adaptaciones. También han ido apareciendo otros pigmentos que reflejan la luz roja y absorben la verde y la amarilla, como los carotenoides y ficobilinas. Tanto mejor. Cabe preguntarse, empero, si estas plantas que utilizan nuevos pigmentos en la operación de fotosíntesis han prescindido de la clorofila. La respuesta es negativa. La fotografía de esta página nos muestra la «fábrica» fotosintética de un alga roja. Las zonas estriadas contienen clorofila y las pequeñas esferas arrebujadas junto a ellas contienen ficobilinas, que son las que confieren a esta alga su típica coloración rojiza. Por regla general, estas plantas transfieren la energía que toman de las bandas verde y amarilla de la luz solar al pigmento de la clorofila, que aun cuando no la absorba, sigue siendo instrumento válido para salvar los desajustes entre la luz y los procesos químicos en la fotosíntesis de todas las plantas. La naturaleza no podía prescindir sin más de la clorofila para sustituirla con pigmentos más idóneos, y ello porque está profundamente urdida con la obra estructural de la vida. Que duda cabe, las plantas que poseen otros pigmentos suplementarios se diferencian de las restantes en cuanto que son más eficientes; pero de todas formas, en ellas hallamos como elemento clave del proceso de fotosíntesis la clorofila, que sigue activa aunque con responsabilidades muy disminuidas. Pues bien, estimo que el proceso evolutivo del cerebro ha seguido el mismo cauce y que las partes más internas, las más primitivas, continúan cumpliendo su misión.

Fotografía de una pequeña planta llamada *alga roja* tomada con el microscopio electrónico. Su denominación científica es la de *Porphyridium cruentum*. El clo-roplasto, factoría fotosintética de este organismo, ocupa casi toda la superficie de la célula. La imagen ha sido ampliada 23.000 veces y fue tomada por la doctora Elizabeth Gantt, del laboratorio de Biología y Radiación de la Smithsonian Institution.

El complejo R

Si la tesis que hemos avanzado es correcta, cabe suponer que en cierto modo el complejo R sigue desempeñando

dentro del cerebro humano las mismas funciones que cumplía en el dinosaurio, y que la corteza límbica genera los estereotipos mentales de los pumas y los perezosos. Es indiscutible que cada nueva fase en el proceso de cerebración viene acompañada de transformaciones en la fisiología de los primitivos componentes del cerebro. La evolución del complejo R habrá acarreado cambios en el cerebro medio y en otras regiones del encéfalo. Pero sabemos que la regulación de buen número de funciones es tarea común de diferentes componentes cerebrales, y sería realmente extraño que los componentes cerebrales de la base del neocórtex no continuaran actuando en buena medida como lo hacían en tiempos de nuestros remotos antecesores. MacLean ha demostrado que el complejo R desempeña un papel importante en la conducta agresiva, la territorialidad, los actos rituales y el establecimiento de jerarquías sociales. Salvo excepciones esporádicas, a las que damos la bienvenida, tengo la impresión de que estos rasgos configuran en buena medida el comportamiento burocrático y político del hombre actual. No quiero decir con ello que el neocórtex no juegue también su papel en una convención política estadounidense o en una sesión del Soviet Supremo de la URSS. A fin de cuentas, se trata de rituales en los que prevalece la comunicación de tipo verbal, es decir, generada por aquel órgano. Pero sorprende comprobar en qué medida nuestros actos reales —en contraposición a lo que decimos o pensamos— pueden explicarse en función de las pautas que rigen la conducta de los reptiles. Hablamos muchas veces de asesinos que matan «a sangre fría». Entre los consejos de Maquiavelo al príncipe está el de «actuar a sabiendas como las alimañas».

En lo que cabe considerar como una interesante anticipación parcial de estas ideas, la filósofa norteamericana Susanne Langer escribió: «La vida humana está punteada de actos rituales, como lo están los hábitos de los animales. Es una obra intrincada en la que se entremezclan la razón y el rito, el saber y la religión, la prosa y la poesía, la realidad y los ensueños... El ritual, como el arte, es en esencia la culminación activa de una transformación simbólica de la experiencia. Se engendra en la corteza, no en el "cerebro primitivo", pero es fruto de una *necesidad elemental* de dicho órgano, una vez desarrollado éste hasta acceder al estadio humano». Salvo el hecho de que el complejo R *es parte* del «cerebro primitivo», la autora de estas palabras da de lleno en el blanco. Quisiera hablar sin reticencias acerca de las repercusiones que tiene en el plano social la aseveración de que el cerebro del reptil influye en los actos del hombre. Si la conducta burocrática está esencialmente regulada por el complejo R, ¿significa esto que no hay esperanza para el futuro humano?

Dos fotografías en el interior del tercer ventrículo del cerebro tomadas con el microscopio electrónico por Richard Steger, de la Wayne State University. Se observan en ellas minúsculos apéndices filamentosos o cilios de movimiento ondulante transportando pequeñas proteínas cerebrales esféricas. Parece que estamos ante una multitud por encima de cuyas cabezas cruzan grandes pelotas playeras.

En el hombre, el neocórtex representa alrededor del 85 por 100 del cerebro, lo que refleja en cierta medida su importancia comparado con el cerebro posterior, el complejo R y el sistema límbico. Tanto la neuroanatomía, como la historia política y la propia introspección ofrecen pruebas de que el ser humano es perfectamente capaz de resistir el apremio de ceder a los impulsos emanados del cerebro del reptil. Es impensable, por ejemplo, que el complejo R pudiera registrar, y mucho menos concebir, la Declaración de los Derechos Humanos contenida en la Constitución norteamericana. Es precisamente nuestra adaptabilidad y largo proceso de maduración lo que impide que aceptemos servilmente las pautas de conducta genéticamente programadas de que somos portadores, y ello de forma más manifiesta que en las restantes especies. Pero, si bien el cerebro trino constituye un buen modelo del comportamiento del hombre, no podemos ignorar el componente reptil de la naturaleza humana, sobre todo en lo que atañe a los actos rituales y jerárquicos. Por el contrario, el modelo del cerebro trino puede ayudarnos a comprender mejor la naturaleza profunda del ser humano. (Me pregunto, por ejemplo, si los aspectos rituales de muchas enfermedades psicóticas como la esquizofrenia hebefrénica pueden ser resultado de la hiperactividad de algún centro del complejo R o del fallo de algún emplazamiento neocortical cuya misión es contener o eliminar al complejo R. También me pregunto si el carácter ritual que posee muchas veces el comportamiento de los niños es consecuencia del todavía incompleto desarrollo de sus neocórtex.)

En un pasaje que, curiosamente, viene muy al caso, G. K. Chesterton escribió: «Puedes liberar a las cosas de leyes accidentales o ajenas a las mismas, pero no de las que conciernen a su propia naturaleza... No vayamos a... forzar la situación hasta el punto de pretender que el triángulo rompa el marco carcelario de sus tres lados, pues en el momento en que lo haga, su vida acaba de forma deplorable». Pero no todos los triángulos tienen los lados iguales. En nuestra mano está efectuar algunos ajustes sustanciales del papel que proporcionalmente corresponde a los diversos componentes del cerebro trino.

El sistema límbico

En el sistema límbico se gestan las emociones intensas o singularmente vividas, circunstancia que amplía de inmediato nuestra perspectiva acerca de la mente del reptil, en cuanto que ésta no viene caracterizada por indómitas pasiones ni calamitosas contradicciones, sino más bien por una dócil y torpe aquiescencia al modelo de conducta que le dictan sus genes y su cerebro.

Las descargas eléctricas en el sistema límbico producen en ocasiones síntomas similares a los que ocasionan las psicosis o las drogas psicodélicas y alucinógenas. A decir verdad, la sede del efecto de muchas drogas psicotrópicas

reside en el sistema límbico. Quizá sea dicho sistema el que controla la hilaridad, el sobrecogimiento y una gran variedad de sutiles emociones que solemos considerar privativas del hombre.

La pituitaria, «glándula directriz» que influye en otras y domina el sistema endocrino del hombre, forma parte esencial de la región límbica. Las alteraciones del ánimo que acaranean los desequilibrios endocrinos ofrecen interesantes indicios acerca de la conexión del sistema límbico con los estados mentales. En el sistema límbico hay una pequeña inclusión en forma de almendra, llamada amígdala, que desempeña un importante papel en la génesis de los impulsos agresivos y de los sentimientos de temor. La excitación eléctrica de la amígdala en pacíficos animales domésticos puede llevarles a grados de terror o agitación extremos. En el curso de un experimento, un gato se encogió de miedo a la vista de un ratoncito blanco. Por otra parte, animales salvajes como el lince se convierten en dóciles animalitos que se dejan acariciar y manejar a gusto del hombre tras serles extirpadas las amígdalas. Las perturbaciones del sistema límbico pueden originar irritaciones, miedo o emotividad intensa sin causa aparente. La hiperestimulación natural puede producir los mismos resultados. Quienes padecen esta dolencia experimentan sensaciones incomprensibles y sin conexión con la realidad que les categorizan como enajenados mentales.

Parte al menos de la función reguladora de la emotividad que desempeñan glándulas endocrinas del sistema límbico como la pituitaria, la amígdala y el hipotálamo proviene de las pequeñas proteínas hormonales que segregan y que afectan a otras regiones cerebrales. Tal vez la más conocida sea la hormona adrenocorticotrópica (ACTH), proteína de la pituitaria, que puede tener repercusión en funciones mentales tan diversas como la retención visual, la ansiedad y el grado de atención. Algunas proteínas hipotalámicas de pequeño volumen han sido localizadas por vía experimental en el tercer ventrículo del cerebro, que conecta el hipotálamo con el tálamo, zona que también forma parte del sistema límbico. Las asombrosas imágenes de la página 67 tomadas con un microscopio electrónico muestran dos primeros planos de la actividad del tercer ventrículo. El esquema de la página 77 puede servir para clasificar algunos de los aspectos de índole neuroanatómica que acabamos de exponer.

Existen motivos para creer que las raíces del comportamiento altruista se hallan en el sistema límbico. Ni que decir tiene que, salvo raras excepciones (sobre todo los insectos sociales), los mamíferos y las aves son los únicos organismos que se esmeran en el cuidado de su prole, fenómeno de orden evolutivo que, sobre la base del largo periodo de adaptabilidad que origina, saca partido de la considerable aptitud del cerebro de los mamíferos y primates en cuanto al procesamiento de datos. A lo que parece, el amor es invención de los mamíferos.

. Sin embargo, esta norma sobre los cuidados proporcionalmente mayores que los mamíferos prodigan a sus crías frente a los reptiles tiene no pocas excepciones. El cocodrilo hembra del Nilo, por ejemplo, coloca con todo esmero a las crías recién salidas del cascarón en su boca y las deposita en las aguas fluviales, donde gozan de relativa seguridad, en tanto que el león macho del Serengeti, cuando se pone por vez primera al frente de una manada de leones, mata a todos los cachorros allí residentes. Pero, en conjunto, los mamíferos muestran mucho más apego hacia sus crías que los reptiles. Seguramente, esa diferencia era todavía más marcada cien millones de años atrás.

Muchas facetas del comportamiento de los animales tienden a refrendar la noción de que las emociones intensas son básicamente privativas de los mamíferos y en menor grado de las aves. Las similitudes de las reacciones emotivas de los animales domésticos y las del hombre me parecen obvias. Es de sobras conocida la notoria tristeza que invade a las hembras de muchos mamíferos cuando se les arrebatan las crías. Uno se pregunta por la intensidad de estas emociones. ¿Acaso los caballos albergan a veces sentimientos de fervor patriótico? ¿Experimentan los perros hacia el hombre un cierto arrebato parecido al éxtasis religioso? ¿Qué otra clase de intensas y recónditas emociones albergan los animales que no comunican con nosotros?

Apunte de la hipotética configuración corpórea del *Lycaenops*, reptil del mesozoico, según John Hermann. Posiblemente fueron criaturas de este género, semejantes a los mamíferos, las que primero experimentaron un sustancial desarrollo del sistema límbico.

La parte más primitiva del sistema límbico es la corteza olfativa, relacionada con la percepción de olores, cuya intensa calidad emocional conocen bien la mayoría de los humanos. En el hipocampo, estructura situada dentro del sistema límbico, se localiza buena parte de nuestra capacidad de retención y evocación del pasado, conexión que se aprecia con toda claridad si se toman en cuenta los menoscabos de memoria que producen las lesiones en el mismo. Un caso famoso fue el de H. M., paciente con un largo historial clínico de ataques apopléticos y convulsiones, que sufrió extirpación bilateral de la región que circunda el hipocampo en un logrado intento de aminorar la frecuencia y la intensidad de aquéllos. Inmediatamente el enfermo experimentó amnesia, pero conservó casi intactas sus facultades perceptivas, consiguió asimilar nuevas técnicas motoras y conoció cierto grado de aprendizaje perceptual. De todos modos, no acertaba a recordar un suceso a las pocas horas de acaecido. Según sus propias palabras, «cada día es un episodio aislado; con él se esfuman las alegrías y las tristezas que haya podido experimentar». Describió su vida como una prolongación incesante de esta sensación de aturdimiento que nos sobrecoge al despertar de un sueño sin que acertemos a recordar claramente su contenido. Lo más curioso es que a pesar de la grave lesión que padecía, el

coeficiente de inteligencia de H. M. mejoró al serle extirpada la porción cerebral que envuelve al hipocampo. A lo que parece, percibía los olores, pero no acertaba a identificar por su nombre lo que producía dicho aroma. También mostraba una carencia total de apetitos sexuales.

Otro caso conocido fue el de un joven piloto norteamericano que en el curso de un duelo fingido con otro compañero de escuadrilla sufrió una herida producida por un estilete en forma de florete que le penetró por la ceja derecha y perforó la pequeña zona del sistema límbico situada exactamente encima de la misma. La herida le ocasionó una grave pérdida de memoria, parecida a la que experimentó H. M., aunque menos seria, pues conservó buena parte de sus facultades perceptuales e intelectivas. Los trastornos de la memoria se manifestaron muy en especial en la dificultad para encontrar palabras con que expresarse. Por otro lado, el accidente le ocasionó impotencia sexual y le hizo insensible al dolor. En cierta ocasión paseó descalzo por la cubierta metálica de un buque de pasaje caldeada en extremo por el sol sin darse cuenta de que se estaba infligiendo graves quemaduras, hasta que los pasajeros próximos a él empezaron a quejarse de un nauseabundo olor a carne chamuscada; pero él no sintió dolor alguno ni percibió el desagradable olor a quemado.

En base a los ejemplos expuestos, parece evidente que una actividad propia de los mamíferos tan compleja como la función sexual viene regulada simultáneamente por cada uno de los tres componentes del cerebro «trino»: el complejo R, el sistema límbico y el neocórtex. (Hemos aludido ya a la influencia del complejo R y del sistema límbico en la actividad sexual. El análisis introspectivo nos permite fácilmente recoger pruebas que demuestran la participación del neocórtex.)

Una parcela del sistema límbico primitivo regula las funciones orales y gustativas, y otra las funciones sexuales. La relación entre olfato y actividad sexual es muy antigua y se manifiesta especial mente en los insectos, circunstancia que nos permite apreciar tanto la importancia como las desventajas que comportaba para nuestros antepasados el fiarlo todo a su capacidad olfativa.

En una ocasión fui testigo de un experimento en el transcurso del cual se conectó la cabeza de una mosca verde, mediante un finísimo hilo eléctrico, a un oscioscopio que registraba en una especie de gráfico todos los impulsos eléctricos producidos por su aparato olfativo. (Conviene puntualizar que hacía muy poco que se había separado la cabeza del cuerpo del insecto con objeto de facilitar el acceso al aparato olfativo, y que aquélla continuaba funcionando casi normalmente.)

La cabeza y el cuerpo de un artrópodo siguen funcionando normalmente por breve tiempo aun separadas la una del otro. La *manlis religiosa* hembra suele responder al porfiado cortejo de un macho decapitándolo. Si entre los hombres tal proceder sería socialmente execrable, no ocurre lo mismo entre los insectos. En efecto, al desgajar el cerebro del festo del cuerpo se eliminan las inhibiciones sexuales y se estimula el apareamiento con lo que queda del macho. Luego, la hembra completa el festín con un ágape, por supuesto en solitario. Quizás esta reacción sea una, a modo de lección, medida cautelar contra la excesiva represión sexual.

Los investigadores que llevaban a cabo el experimento produjeron emanaciones de muy distinta índole, incluso de gases repelentes y tóxicos, como el amoníaco, sin que se apreciara efecto alguno. La línea que trazaba el oscioscopio era absolutamente plana, sin alternancias en su trazado horizontal. Pero cuando se depositó ante la cabeza del insecto macho una ínfima cantidad del estimulante sexual que segrega la hembra de la mosca verde, el oscioscopio registró en el acto una violenta línea vertical. En una palabra, la mosca verde no podía oler otra cosa que el estimulante de la sexualidad, pero esa molécula la percibía fantásticamente bien.

En los insectos suele darse esta especialización olfatoria. Por ejemplo, la mariposa macho del gusano de seda puede detectar el estimulante sexual con sólo que sus livianas antenas capten unas cuarenta moléculas por segundo de sustancia estimulante. Una hembra de la especie necesita liberar tan sólo una centésima de micro-gramo de sustancia estimulante para atraer a todos los machos que se hallan a una milla cúbica de distancia. Así queda asegurada la propagación de la especie.

Quizá la muestra más palpable y curiosa de la importancia que reviste este fiar el hallazgo de la hembra al sentido olfativo con fines de propagación de la especie nos lo proporciona un escarabajo que vive en Sudáfrica, el cual, durante el invierno, se guarece en un hueco excavado en el suelo. Con la llegada de la primavera se caldea la tierra y emergen los insectos. Pero lo curioso es que los escarabajos machos asoman, aturdidos, unas semanas antes que las hembras. En esta misma región de Sudáfrica crece una especie de orquídea que desprende un aroma idéntico al de la sustancia sexual emanada por el escarabajo hembra. Lo cierto es que la evolución de la orquídea y del escarabajo ha coincidido en la producción de una molécula básicamente igual. Resulta, además, que el escarabajo macho es extremadamente «corto de vista», y los pétalos de las orquídeas presentan una configuración que el miope insecto confunde con una hembra de la especie en postura sexual-mente receptiva. Por espacio de varias semanas el insecto macho se despacha a gusto con las orquídeas, e imaginamos a las hembras abandonando su refugio invernal heridas en su amor propio y justamente indignadas. Entretanto, las orquídeas han sido fecundadas por polinización cruzada gracias a los enardecidos insectos machos, que, confundidos, hacen ahora cuanto pueden para asegurar la pervivencia de su especie. Con ello, uno y otro organismo logran su objetivo. (Digamos de pasada que no conviene a las orquídeas mostrarse demasiado irresistibles, ya que si los escarabajos no pudieran luego reproducirse entre sí aquéllas se verían en grave trance.) Acabamos de descubrir una de las limitaciones que presenta la estimulación puramente olfativa. Otra restricción radica en el hecho de que cada escarabajo hembra produce el mismo tipo de estimulante sexual, por lo que no es fácil que un individuo macho se prenda, por decirlo de algún modo, de la hembra de sus sueños. Si bien en ciertos casos el macho hace ostentación de su calidad de tal para atraer a la hembra o, como ocurre con el ciervo volante, se traba por la mandíbula en singular combate con otro individuo para ganarse los favores de la dama, parece

indudable que el papel determinante de la sustancia sexual en el apareamiento reduce la amplitud de la selección sexual entre los insectos. Los reptiles, pájaros y mamíferos han puesto en juego otros métodos para localizar a su par. Sin embargo, la relación de la función sexual con el sentido del olfato es todavía apreciable, en el marco de la anatomía cerebral, en los animales de orden superior, y en el plano anecdótico, en la experiencia del ser humano. A veces me pregunto si los desodorantes, sobre todo los desodorantes «femeninos», no constituyen un intento de encubrir los estímulos de orden sexual para que concentremos nuestra atención en otros menesteres.

El neocórtex

Incluso en los peces las lesiones del cerebro anterior repercuten en las pulsiones de iniciativa y cautela hasta destruirlas. En los animales superiores, estas mismas pulsiones, aunque mucho más perfeccionadas, parecen localizadas en el neocórtex, región donde se ubican muchas de las funciones cognitivas que mejor definen al hombre como tal. Al hablar de esta porción de la corteza cerebral suelen distinguirse en ella cuatro regiones o lóbulos: frontal, parietal, temporal, y occipital. Los primeros neurofisiólogos sostenían que, básicamente, las conexiones del neocórtex no rebasaban el marco de este órgano; pero hoy sabemos que existen gran número de conexiones neurales con el cerebro subcortical. De todos modos, no está claro, ni mucho menos, que las subdivisiones neocorticales constituyan auténticas unidades funcionales. Ciertamente, cada una de ellas regula multiplicidad de funciones, muy distintas unas de otras, pero es probable que algunas sean ejercidas por más de un lóbulo a la vez. Según se desprende de los estudios realizados, los lóbulos frontales están relacionados con la reflexión y la regulación de la acción; los lóbulos parietales, con la percepción espacial y el intercambio de información entre el cerebro y el resto del cuerpo, los lóbulos temporales cumplen una variedad de complejas tareas perceptuales y los lóbulos occipitales guardan relación con la vista, el sentido dominante en el hombre y en otros primates. Por espacio de muchas décadas la mayoría de neurofisiólogos han pensado que los lóbulos frontales, o sea la parte anterior de la corteza, albergan el mecanismo que nos permite anticiparnos y planear el futuro, facultades características del ser humano. Sin embargo, las últimas investigaciones llevadas a cabo demuestran que el panorama no es tan sencillo. El neurofisiólogo norteamericano Hans-Lukas Teuber, del Instituto Tecnológico de Massachusetts, ha investigado un gran número de casos de lesiones frontales, debidas sobre todo a heridas de guerra o por arma de fuego. Teuber descubrió que muchas lesiones del lóbulo frontal apenas tienen incidencia perceptible en la conducta del individuo afectado. De todas formas, en casos de lesiones muy graves del lóbulo frontal, aun cuando «el paciente no llega a perder del todo la facultad de anticiparse a los hechos futuros, no acierta a imaginarse a sí mismo como agente potencial en relación con ellos». Teuber subrayó que el lóbulo frontal pudiera estar relacionado tanto con la anticipación motora como con la cognoscitiva, sobre todo a la hora de evaluar las posibles consecuencias de los movimientos voluntarios. Por otra parte, parece que el lóbulo frontal interviene también en el nexo entre visión y postura erecta y bípeda.

Así pues, los lóbulos frontales pueden intervenir en las funciones genuinas del ser humano de dos maneras distintas. Si regulan el sentido de anticipación del futuro, deben ser el emplazamiento obligado de los sentimientos de inquietud, los centros del ansia y la desazón. Esta es la razón de que el corte transversal del lóbulo frontal reduzca la ansiedad. Por otro lado, la lobotomía prefrontal puede mermar en gran manera la capacidad del hombre para comportarse como tal. El precio que pagamos por la previsión del futuro es la desazón que ello engendra. Sin duda, el augurio de una calamidad no resulta muy divertido. Poliana, con su optimismo desbordante, era mucho más dichosa que Casandra. Pero necesitamos de los componentes fatalistas de nuestra naturaleza para sobrevivir. Ellos fueron los artífices de una serie de doctrinas que aspiran en lo posible a interpretar el futuro y que han sido causa y origen de la ética, la magia, la ciencia y los códigos legales. La ventaja que procura el pronóstico de las catástrofes radica en la posibilidad de adoptar medidas para impedir que se produzcan, sacrificando las ganancias inmediatas en favor de unos beneficios a más largo plazo. Una sociedad que, como resultado de esta capacidad de anticipación, alcanza un alto nivel de seguridad material, genera el tiempo libre necesario para impulsar el progreso social y tecnológico.

Corte lateral esquematizado del cerebro humano, en el que destaca el neocórtex, con un sistema límbico y un cerebro posterior más pequeños. No se aprecia el complejo-R.

Otra función que se supone corresponde al lóbulo frontal es la que permite adoptar la postura bípeda al hombre. Esta conformación vertical, erecta, del cuerpo no habría sido posible sin el previo desarrollo de los lóbulos frontales. Más adelante veremos con mayor detalle cómo el hecho de asentarnos sobre dos pies liberó nuestras manos y nos permitió manipular con ellas, lo que posteriormente abocaría en un notable acrecentamiento de los rasgos culturales y fisiológicos del hombre. Cabe decir, sin exagerar un ápice, que la civilización tal vez sea producto de la actividad de los lóbulos frontales.

La información visual llega al cerebro por conducto del ojo y se concentra primordialmente en el lóbulo occipital, a la altura de la coronilla, mientras que las impresiones auditivas quedan localizadas en la capa superior del lóbulo temporal, bajo la sien. Existen indicios de que los diversos componentes del neocórtex están bastante menos evolucionados en los sujetos ciegos y sordomudos. Las lesiones del lóbulo occipital —como las que, por ejemplo, produce una herida por arma de fuego— comportan con frecuencia una merma del campo visual. La víctima puede ser perfectamente normal en

los demás aspectos, pero tendrá una visión periférica de los objetos, es decir, verá, frente a él, en el centro del campo visual normal, una densa mancha oscura. En otros casos se originan percepciones aún más extrañas, como las manchas movedizas de contornos geoméricamente regulares que obstaculizan el campo y los «paroxismos visuales» en los que, a título de ejemplo, el paciente percibe momentáneamente los objetos que están a su derecha y en el suelo como flotando en el aire y a su izquierda, habiendo descrito un giro espacial de 180 grados. Incluso es posible determinar la parte del lóbulo occipital que regula determinada función visual mediante la estimulación sistemática de los obstáculos que interfieren el campo visual en base a diversas lesiones occipitales. El menoscabo de la visión tiene muchas menos posibilidades de convertirse en crónico tratándose de pacientes jóvenes, pues sus cerebros poseen la facultad de regenerarse por sí solos o de transferir funciones sin dificultad a otras regiones circundantes. La facultad de conectar los estímulos auditivos con los visuales también se localiza en el lóbulo temporal. Las lesiones de esta región cerebral pueden manifestarse en forma de afasia que incapacita al sujeto afectado para captar la palabra hablada. Resulta notable y significativo que ciertos pacientes aquejados de lesiones cerebrales puedan expresarse oralmente sin dificultad pero sean incapaces de plasmar sus ideas por escrito, o a la inversa. Unas veces pueden escribir pero no leer y otras descifrar los números pero no las letras, o bien nombrar los objetos pero no los colores. En el neocórtex se da una marcada separación de funciones, lo que invalida el tópico de que leer y escribir, identificar palabras o números, son actividades muy afines. Se habla también —aunque no ha podido confirmarse— de lesiones cerebrales que impiden al sujeto comprender las frases en voz pasiva, las oraciones prepositivas, o las construcciones con posesivos. (Tal vez un día descubramos qué punto del cerebro regula el empleo del subjuntivo. ¿Resul tará entonces que los latinos están sobremanaera dotados y los anglosajones considerablemente mermados en lo que toca a esta pequeñísima porción de la anatomía cerebral?) Según parece, determinadas abstracciones, como, por ejemplo, las «partes gramaticales de la oración» se hallan «impresas» en regiones específicas del cerebro, hipótesis realmente asombrosa.

En un caso clínico sorprendente, una lesión del lóbulo temporal impedía al paciente reconocer las caras de la gente, incluso de las personas más allegadas. Al serle mostrado el rostro de un individuo en la página opuesta a la que estaba examinando, dijo que «posiblemente» se trataba de una manzana. Incitado a que justificase esta interpretación, identificó la boca como una incisión en el fruto, la nariz como el rabillo doblado sobre la superficie y los ojos como dos agujeros o picaduras de gusano. El mismo paciente, podía, en cambio, identificar sin dificultad esbozos de casas y otros objetos inanimados. Un amplio capítulo de experimentos muestra que las lesiones del lóbulo temporal derecho producen amnesia en cuanto a ciertas manifestaciones de índole no verbal, en tanto que las lesiones del lóbulo temporal izquierdo originan una característica pérdida de memoria del lenguaje hablado.

Nuestra capacidad para leer y levantar mapas, para orientarnos en el espacio tridimensional y valem os de los símbolos pertinentes —facultades que a buen seguro intervienen, si no en su uso, en la elaboración del lenguaje—, queda seriamente afectada por las lesiones del lóbulo parietal, ubicado cerca de la coronilla, detrás y por encima de la cisura central. Un soldado que sufrió un profundo desgarr o del lóbulo parietal a causa de una herida de guerra estuvo todo un año sin poder orientar los pies para calzarse las zapatillas y menos todavía encontrar el camino hacia la cama en la sala del hospital. Sin embargo, terminó por recuperarse casi totalmente.

Una lesión de la circunvolución angular del neocórtex, en el lóbulo parietal, engendra alexia, o sea, incapacidad para descifrar la escritura. A lo que parece, el lóbulo parietal interviene en todo lo relacionado con el lenguaje simbólico del hombre. De todas las lesiones cerebrales, las del lóbulo parietal son las que provocan mayor deterioro intelectual si nos atenemos a las actividades de la vida cotidiana.

Rostro descrito por un paciente como una manzana. (O, desde otro ángulo: manzana descrita por un médico como una cara.) Según Teuber.

Entre las manifestaciones del pensamiento abstracto radicadas en el neocórtex del hombre destacan los lenguajes simbólicos, en especial la lectura, la escritura y la matemática, que parecen requerir la cooperación conjunta de los lóbulos temporal, parietal y frontal, y hasta quizá del occipital. Sin embargo, no todos los lenguajes simbólicos se localizan en las regiones neocorticales. Las abejas, en las que no existe la menor traza de neocórtex, poseen un

complicado lenguaje inspirado en movimientos al modo de una danza. Karl von Frisen, entomólogo austriaco, descubrió que con sus evoluciones las abejas se comunicaban datos acerca de la distancia y dirección de la fuente de alimentos. Se trata de un lenguaje gestual que reproduce, exagerándolos, los movimientos reales de la abeja cuando va en busca de alimento. Es como si nosotros nos encaminásemos hacia el refrigerador y deteniéndonos en seco nos restregásemos el vientre y dejáramos colgar la lengua. Pero los vocabularios de tales lenguajes son en extremo reducidos; a lo sumo de unas docenas de palabras. El aprendizaje que experimentan los adolescentes durante el largo periodo de la niñez parece ser una función casi exclusiva de neocórtex.

Si bien casi todo el proceso olfativo radica en el sistema límbico, una pequeña parte del mismo se produce en el neocórtex. La misma división de funciones parece ser aplicable a la memoria. Como ya he dicho, además de la corteza olfativa, una de las partes primordiales del sistema límbico es la corteza del hipocampo. Si se extirpa la corteza olfativa, los animales todavía pueden percibir los olores, aunque con mucha menos intensidad, lo que viene a demostrar una vez más que en el cerebro se da una redundancia de funciones. Existen indicios de que, en el hombre actual, la memoria olfativa «efímera» reside en el hipocampo. Puede que, originariamente, la función del mismo fuera tan sólo la retención momentánea de los olores, lo que sería de utilidad, por ejemplo, para seguir el rastro de una presa o para localizar a un individuo del sexo opuesto. Pero, en el hombre, una lesión bilateral del hipocampo constituye, como en el caso de H. M., un serio menoscabo de todo tipo de memoria «efímera». Los pacientes que sufren este tipo de lesiones olvidan sus experiencias, sin exagerar un ápice, a los pocos segundos. Es evidente que tanto el hipocampo como los lóbulos frontales tienen incidencia en la memoria efímera del ser humano.

Una de las muchas e interesantes consecuencias que se derivan de este hecho es que tanto la memoria efímera como la duradera se localizan mayormente en distintas porciones del cerebro. Parece que los reflejos condicionados — como los clásicos de los perros de Pavlov, que segregaban saliva al toque de una campana— se hallan localizados en el sistema límbico. Se trata ciertamente de una memoria duradera, pero de un género muy restringido. La auténtica y compleja retentiva propia del ser humano se halla emplazada en el neocórtex, lo que se corresponde con la aptitud del hombre para planear y anticiparse al futuro. Conforme vamos envejeciendo solemos olvidar cosas que a veces acabamos de oír, en tanto somos capaces de recordar con claridad y exactitud sucesos de nuestra infancia. En tales casos poco tienen que ver la memoria efímera o la memoria duradera. La dificultad reside en el acarreo de nuevo material a la memoria duradera. Penfield estimaba que esta merma de posibilidades era producto de la falta de irrigación del hipocampo en la edad senil, bien a causa de una arteriosclerosis bien por otros impedimentos fisiológicos. Así pues, las personas ancianas —y otras que no lo son tanto— pueden tener serias dificultades para acumular datos en la memoria efímera sin que por ello se resienta ni su vitalidad ni su inteligencia.

Existe un cúmulo de pruebas de tipo médico acerca de la conexión entre la irrigación sanguínea y las facultades intelectuales. Se sabe desde hace tiempo que los pacientes privados de oxígeno por espacio de unos minutos pueden experimentar graves menoscabos mentales con carácter permanente. Las intervenciones quirúrgicas para limpiar las arterias carótidas obstruidas e impedir así el ataque apoplético han traído aparejadas consecuencias beneficiosas no previstas. Según datos recogidos en un estudio sobre el tema, a las seis semanas de operados, los pacientes mostraban un incremento medio del coeficiente intelectual de dieciocho puntos, lo que constituye una mejora sustancial. Asimismo, se discute si la inmersión en oxígeno hiperbárico —o sea, oxígeno a muy alta presión— aumenta el grado de inteligencia en los niños de corta edad.

Este fenómeno muestra también la neta distinción entre memoria efímera y retentiva duradera, congruente con su localización en distintas partes del cerebro. Las camareras de los restaurantes de cocina rápida son capaces de recordar un impresionante número de datos, que luego transmiten correctamente a la cocina. Sin embargo, al cabo de una hora han olvidado todos los detalles ya que tal información se había almacenado únicamente en el área de la memoria efímera sin que mediara esfuerzo alguno para transferirla a la memoria duradera.

La mecánica de rememoración puede llegar a ser muy compleja. Muchas veces tratamos de evocar una palabra, un nombre, una cara, una experiencia del pasado sin conseguirlo, por más que nos esforzamos; la memoria se niega a suministrarnos el dato solicitado. Pero si acudimos a la evocación indirecta, rememorando algún detalle afín o marginal al objeto central de nuestra búsqueda, a menudo surge espontáneo el detalle que en vano tratábamos de recordar. (Algo parecido ocurre con el ojo humano.) Cuando miramos directamente a un objeto de luz tenue —una estrella, por ejemplo— entra en juego la fovea, es decir la parte de la retina donde la agudeza visual alcanza su máximo y en donde hay más abundancia de las células llamadas conos. Pero si apartamos levemente los ojos del objeto, o, por decirlo de otro modo, lo contemplamos de soslayo o con el rabillo del ojo, provocamos la intervención de los llamados bastoncillos, unas células sensibles a la débil luminosidad y, en consecuencia, capaces de percibir la estrella de luz tenue.

Sería interesante averiguar por qué el pensamiento indirecto activa el mecanismo de recordación. Puede que se deba a la simple conexión con el cauce recordatorio a través de otra senda neural. Pero ello no indica la existencia de una dinámica cerebral más efectiva.

Todos estamos familiarizados con la experiencia del brusco despertar de un sueño poblado de imágenes vividas, escalofrantes, premonitorias o destacables por otros conceptos, mientras nos decimos: «Ciertamente recordaré *este* sueño por la mañana»; y al día siguiente despertamos sin la menor idea del contenido del sueño o, a lo sumo, con leves

trazos del tono emocional. Por otra parte, si el sueño me inquieta lo suficiente como para despertar a mi mujer en mitad de la noche y contárselo, por la mañana no tengo dificultad alguna en recordarlo. Asimismo, si me tomo la molestia de anotar lo que acabo de soñar, al día siguiente me acuerdo perfectamente de todos los detalles sin necesidad de consultar las notas. Otro tanto cabe decir, por ejemplo, cuando se trata de memorizar un número de teléfono. Si me dan un número y quiero grabarlo en la mente, lo más probable es que acabe olvidándolo o equivocando alguna cifra; pero si repito el número en voz alta o lo escribo en un papel, puedo recordarlo perfectamente. Ello significa sin duda que hay en nuestro cerebro una zona que retiene el sonido y la imagen, pero no el pensamiento puro. Me pregunto si este tipo de memoria se configuró antes de que nuestra mente albergara demasiados pensamientos, cuando era más importante recordar el silbo de un reptil amenazante o la sombra de un halcón lanzándose en picado sobre su presa que nuestras ocasionales reflexiones filosóficas.

Acerca de la naturaleza humana

A pesar de la misteriosa localización de funciones en el modelo de cerebro «trino», quiero señalar una vez más que no cabe hablar de una estricta separación de funciones so pena de simplificar en exceso la cuestión. Es indiscutible que en el hombre tanto el comportamiento ritual como el de carácter emotivo están fuertemente influenciados por el razonamiento abstracto de origen neocortical. Se han expuesto demostraciones analíticas acerca de la validez de convicciones puramente religiosas y se han aducido argumentos filosóficos para justificar el comportamiento jerarquizado, como puede ser la «demostración» de Thomas Hobbes sobre el hipotético derecho divino que asiste a los monarcas. De la misma manera, animales que nada tienen que ver con el hombre —y hasta algunos que ni siquiera pertenecen al orden de los primates— parecen estar en posesión de cierta capacidad de análisis. Esta es la impresión que decididamente me producen los delfines, como ya expuse en mi libro *La conexión cósmica*.

Sin embargo, a la vez que conviene retener estas puntualizaciones, creemos que es útil una primera aproximación que considere que los aspectos rituales y jerárquicos de nuestras vidas están muy influenciados por el complejo R y que ambos son también patrimonio de nuestros antepasados reptiloides; que los rasgos altruistas, emocionales y religiosos de nuestras vidas se hallan localizados en buena medida en el sistema límbico, y que los compartimos con nuestros ascendientes mamíferos no pertenecientes al orden de los primates, y hasta es posible que con las aves; y que el intelecto o la razón es una función del neocórtex que en cierto grado compartimos con los primates superiores y con cetáceos como los delfines y las ballenas. Si bien la conducta ritual, las emociones y la función discursiva son todos ellos aspectos muy significativos de la naturaleza humana, cabe afirmar que el rasgo más específico del hombre es su capacidad de raciocinio y formulación de abstracciones. La curiosidad y el afán de resolver dilemas constituyen el sello distintivo de nuestra especie. Por otra parte, las actividades que mejor identifican al hombre como ser pensante son las matemáticas, la ciencia, la técnica, la música y las artes, una gama de temas algo más amplia de lo que normalmente se incluye bajo el epígrafe de las «humanidades». Ciertamente, tomado en su acepción más corriente, este término refleja una singular estrechez de miras acerca de lo genuinamente humano. La matemática entra en el capítulo de las humanidades con el mismo derecho que la poesía. Por lo demás, las ballenas y los elefantes pueden ser tan «humanos» como el hombre.

Mosaico II, obra de M. C. Escher.

El modelo de cerebro trino deriva de los estudios realizados sobre el comportamiento y la neuroanatomía comparados. Sin embargo, la especie humana no desconoce el análisis introspectivo veraz y genuino, y si el modelo de cerebro trino es exacto cabe esperar que hallemos algún indicio de su existencia en la historia del empeño humano por conocerse a sí mismo. La hipótesis más conocida y que recuerda hasta cierto punto la del cerebro trino es la división que establece Sigmund Freud del psiquismo humano al clasificarlo en las categorías del *ello*, el *ego* y el *superego*. Los aspectos relacionados con la agresividad y la sexualidad que hallamos en el complejo R corresponden satisfactoriamente a la descripción que Freud nos ofrece del *ello* (por ejemplo, la condición animal de nuestra naturaleza). Pero por lo que a mí se me alcanza, en su definición del *ello* Freud no da excesiva preponderancia a los aspectos rituales o sociojerárquicos del complejo R. El psicólogo vienes habla de las emociones —en particular la «experiencia oceánica», que viene a ser el equivalente freudiano de la epifanía religiosa como una función del *ego*. Sin embargo, no presenta al *superego* como el emplazamiento básico del razonamiento abstracto, sino más bien como elemento de absorción de las constricciones sociales y familiares, que en el caso del cerebro trino sospechamos constituyen ante todo una función del complejo R. Por todo ello me veo obligado a considerar que la mente tripartita que propone el psicoanálisis presenta escasas concomitancias con el modelo del cerebro trino.

Tal vez una metáfora más válida sea la división de la mente que efectúa Freud al hablar de lo consciente, lo preconsciente, es decir, de lo que permanece latente pero que es aprehensible, y del inconsciente, o sea, todo lo que por estar reprimido escapa a un primer análisis. Cuando Freud dijo, refiriéndose al hombre, que «su capacidad para contraer neurosis es simplemente el anverso de su capacidad para progresar en el orden cultural», el científico estaba pensando en la tensión que existe entre los diversos componentes de la psique. Freud llamó a las funciones del inconsciente «procesos primarios».

La alegoría de la psique contenida en *Fedro*, el diálogo platónico, encierra una concordancia de orden superior. Sócrates compa ra el alma humana a un carro tirado por dos caballos, uno blanco y otro negro, que empujan en distintas direcciones y a los que el auriga apenas acierta a dominar. La metáfora del carro y del auriga se asemeja notablemente a

la noción de almacén neural que propone MacLean. Los dos caballos representan el complejo R y la corteza límbica, mientras que el auriga que apenas puede controlar las sacudidas del carro y el galope de los caballos equivale al neocórtex. Freud, utilizando otra metáfora, habla del *ego* como de un jinete que monta un potro desbocado. Tanto la alegoría freudiana como la platónica ponen de relieve la considerable independencia y la tensión existente entre las partes constitutivas de la psique, rasgo que caracteriza al ser humano como tal y del que nos ocuparemos más adelante. Debido a las conexiones neuroanatómicas entre los tres componentes, el cerebro trino, al igual que el carro de *Fedro*, también podría ser tomado como una metáfora. En todo caso, es muy probable que resulte ser una metáfora de considerable hondura y utilidad.

El Edén como metáfora. La evolución del hombre

Entonces no te sentirás perdido al tener que abandonar este paraíso, sino que poseerás un paraíso dentro de ti, mucho más dichoso ... Cogidos de la mano, lentamente y con paso vacilante, salieron del Edén y emprendieron su solitario camino.

JOHN MILTON, *El Paraíso perdido*

¿Por qué abandonaste las sendas holladas por el hombre y prematuramente, con escasas fuerzas pero con ánimo valeroso, osaste enfrentarte al dragón indómito en su guarida? Indefenso como estabas, ¡ay!, ¿dónde se ocultaba la sensatez, ese escudo espejado ...?

PERCY B. SHELLEY, *Adonais*

Habida cuenta su superficie externa, los insectos son muy livianos de peso. Una abeja lanzada desde gran altura alcanza en seguida su velocidad punta. La resistencia del aire impide que se precipite con excesiva violencia, y de allí que después de caer al suelo observemos que se aleja por sus propios medios sin mayores contratiempos. Otro tanto puede decirse de los pequeños mamíferos, como por ejemplo las ardillas. Un ratón puede ser arrojado a un pozo de mina de unos trescientos metros de profundidad y si el terreno es blando llegará al fondo aturdido pero esencialmente indemne. Por el contrario, el ser humano puede quedar tullido o perder la vida si se precipita de una altura que exceda los cuatro metros; dada nuestra talla, pesamos demasiado en proporción a la superficie externa de nuestro cuerpo. Por consiguiente, nuestros antepasados arborícolas tenían que proceder con mucha cautela ya que cualquier error al columpiarse de rama en rama podía resultarles fatal. Cada salto constituía una oportunidad de cara a la evolución de la especie. Poderosas fuerzas selectivas entraban en juego para engendrar organismos gráciles y ligeros, dotados de visión binocular, múltiples aptitudes manipulativas, magnífica coordinación entre el órgano de la vista y las manos y una captación intuitiva de la gravitación newtoniana. Cada una de estas facultades requirió sustanciales progresos en la evolución del cerebro y, muy en especial, de las neocortezas de nuestros antepasados. El intelecto humano lo debe esencialmente todo a los millones de años que nuestros antecesores pasaron en solitario colgados de los árboles.

Cabe preguntarse si una vez de regreso al llano y la sabana, lejos de los árboles, echamos de menos los majestuosos y formidables saltos y el éxtasis de la ingravidez bajo los rayos solares que se filtraban por la techumbre arbórea. ¿Tiene el reflejo de temor en el niño de hoy la misión de impedir que caiga de la copa de un árbol? ¿Hay en nuestras ensoñaciones nocturnas de extraños vuelos y en el afán de surcar los cielos que siente el hombre, como nos muestran los casos de Leonardo da Vinci o de Konstantin Tsiolkovski, reminiscencias nostálgicas de los días transcurridos en las ramas de los corpulentos árboles de la selva?

Las modernas técnicas empleadas en la fabricación de cohetes y en la exploración espacial deben muchísimo al doctor Robert H. Goddard, quien a lo largo de muchas décadas de abnegada investigación en solitario impulsó decisivamente todos los aspectos básicos de la tecnología de los proyectiles. Goddard se interesó por este campo en un instante de mágica inspiración. En el otoño de 1899, hallándose en Nueva Inglaterra, Goddard, que contaba diecisiete años y era estudiante de último curso de enseñanza media, se subió a un cerezo y mientras paseaba distraídamente la mirada por el suelo tuvo la etérea visión de un vehículo que transportaba seres humanos al planeta Marte; desde aquel momento decidió dedicar su esfuerzo a esa tarea. Exactamente un año después volvió a trepar al árbol, y en adelante, hasta el resto de sus días, hizo del 19 de octubre una fecha conmemorativa de aquel momento de inspiración. ¿Es realmente un azar que esta visión de los viajes espaciales, que se hizo luego realidad histórica por propia dinámica, tuviera por marco las ramas de un árbol?

Las manos de los animales están adaptadas a su forma de vida, y a la inversa. En la figura se muestran los apéndices de A) el oposum; B) la tupaya; C) el potto (primate de África occidental); D) el *tarsius* (tarsero); E) el babuino (la parte del apéndice que sirve a la vez de mano y de pie); F) el orangután, adaptado a la función braquial; G) el hombre, dotado de un pulgar oponible y relativamente largo.

Otros mamíferos, incluso algunos no pertenecientes ni al orden de los primates ni al de los cetáceos, poseen neocortezas cerebrales. Interesa, sin embargo, preguntarse cuándo se produjo la primera gran mutación del neocórtex. Aunque ninguno de los simios de los que descendemos está presente entre nosotros para aclararnos este punto, podemos responder a la cuestión, o por lo menos intentarlo, recurriendo al examen de los cráneos fósiles. En el hombre, en los antropoides y en los monos, así como en otros mamíferos, el cerebro ocupa casi por completo la cavidad craneal, lo cual no ocurre, por ejemplo, en los peces. En consecuencia, si sacamos el molde de un cráneo, podemos determinar lo que se conoce como el volumen endocraneal de nuestros antepasados directos y colaterales al tiempo que efectuar estimaciones aproximadas del volumen de sus cerebros.

A estas alturas los paleontólogos todavía no se han puesto de acuerdo sobre quiénes son los verdaderos antecesores del hombre, y apenas transcurre un año sin que aparezca el fósil de un cráneo asombrosamente parecido al del hombre actual mucho más antiguo de lo que hasta ahora se creía posible. Lo que sí parece cierto es que hará unos cinco

millones de años abundaban los animales de apariencia antropolíde, como los gráciles australopitecos, que caminaban sobre dos patas y cuyo volumen cerebral era de unos 500 centímetros cúbicos, es decir, unos cien centímetros cúbicos más que el cerebro de un chimpancé de nuestros días. Sobre la base de estos indicios, los paleontólogos han llegado a la conclusión de que «el bipedismo precedió a la encefalización», con lo que se quiere significar que nuestros antecesores caminaron sobre dos patas antes de contar con un cerebro de buen tamaño.

Hace tres millones de años existía gran variedad de criaturas bípedas con una amplia gama de volúmenes craneales, algunos muchísimo mayores que el del australopiteco grácil del África oriental que viviera unos pocos millones de años antes. Uno de ellos, al que L. S. B. Leakey —el conocido antropólogo anglokeniano que tanto ha estudiado al hombre primitivo— denominó *Homo habilis*, poseía un volumen cerebral de unos 700 centímetros cúbicos. La arqueología nos proporciona también indicios de que el *Homo habilis* fabricaba herramientas. El primero que avanzó la idea de que el empleo de herramientas constituye a la vez causa y efecto del caminar sobre dos piernas, con la consiguiente liberación de las manos, fue Charles Darwin. El hecho de que cambios de conducta tan significativos vayan acompañados por otros igualmente significativos en el volumen cerebral no demuestra que lo uno sea la causa de lo otro. Sin embargo, nuestro comentario anterior hace que este vínculo causal aparezca como muy probable.

Una familia de australopitecos gráciles hace cinco millones de años.

El cuadro de la página 93 resume el tema de los restos fósiles, tal como lo conocíamos en 1976, acerca de nuestros más recientes antepasados y parientes colaterales. Las dos clases distintas de australopitecos halladas hasta ahora no pertenecían al género *Homo*; no eran hombres, sino bípedos todavía incompletos cuya masa cerebral equivalía tan sólo a una tercera parte de la que ostenta hoy por término medio el hombre adulto. Suponiendo que nos encontráramos con un australopiteco, digamos en el metro, tal vez lo que más nos llamaría la atención sería la casi ausencia total de frente. Era el menos evolucionado de los antropolídes. Existen marcadas diferencias entre las dos clases de australopitecos. La especie robusta era de más envergadura y mayor peso, con una dentadura más poderosa y una notable estabilidad evolutiva. El volumen endocraneal de un *A. robustus* varía muy poco de un espécimen al otro a lo largo de millones de años. Volviendo de nuevo a los australopitecos gráciles y basándonos una vez más en su dentadura podemos presumir que comían carne y también vegetales. Eran de menor envergadura que el hombre y más flexibles, como su nombre indica. Sin embargo, son considerablemente más viejos y presentan mucha más variación en cuanto al volumen endocraneal que sus robustos primos. Y, lo que es más importante, la ubicación de los restos del australopiteco grácil se halla asociada al hallazgo de lo que reviste todo el carácter de un oficio: la fabricación de útiles de piedra y de huesos, cuernos y dientes de animales tallados meticulosamente, partidos, frotados y pulimentados para conseguir herramientas de corte y bruñido o de útiles para triturar y machacar. En cambio no se han encontrado herramientas asociadas a los restos fósiles del *A. robustus*. La proporción entre el peso del cerebro y la masa del cuerpo en la especie grácil es de casi el doble que en la especie robusta, por lo que resulta lógico preguntarse si este factor es el que marca la diferencia entre la aptitud para construir herramientas o la incapacidad para ello. Aproximadamente por la época en que surge el *A. robustus* apareció un nuevo animal, el *H. habilis*, al que cabe considerar como el primer hombre genuino. Tanto en el aspecto corporal como en lo relativo al peso del cerebro, era más desarrollado que los dos tipos de australopitecos, y la proporción entre su masa cerebral y peso del cuerpo era aproximadamente la misma que la detectada entre los australopitecos gráciles. Apareció en una época en que por razones climáticas la tierra se iba deforestando. El *H. habilis* habitaba en las vastas sabanas africanas, un medio sobremanera estimulante poblado por una enorme variedad de depredadores y presas. En estas llanuras de matorral aparecieron tanto el primer hombre con los rasgos actuales como el primer caballo según hoy lo conocemos. Fueron, por así decirlo, casi coetáneos.

En los últimos sesenta millones de años se ha producido una incesante evolución de los ungulados, como registran perfectamente los restos fósiles, proceso que culminó en el caballo actual. El *Eohipos* o «caballo de la aurora» de hace cincuenta millones de años era poco más o menos del tamaño de un perro pastor escocés, con un volumen cerebral de unos veinticinco centímetros cúbicos y una proporción entre masa cerebral y peso corporal de aproximadamente la mitad de la de un mamífero contemporáneo de tamaño equivalente. Desde entonces los caballos han experimentado una fantástica transformación tanto en el tamaño absoluto como relativo del cerebro, incorporando notables innovaciones en el neocórtex y muy en especial en los lóbulos frontales, evolución acompañada ciertamente por notables incrementos en el grado de inteligencia equina. Me pregunto si el progreso paralelo de la inteligencia en el caballo y en el hombre tiene una causa común. ¿Necesitaban los caballos, por ejemplo, tener ligereza de cascos, sentidos muy finos e inteligencia despierta para escapar de los depredadores que acechaban tanto a los primates como a los equinos?

El *H. habilis* tenía una frente amplia, lo que sugiere un notable desarrollo de las zonas neocorticales de los lóbulos frontal y temporal así como de las regiones cerebrales, aspecto del que trataremos más adelante. Dicho desarrollo parece guardar relación con la facultad del habla. En el supuesto de que llegáramos a tropezarnos con un *H. habilis* vestido a la última moda en el bulevar de una metrópoli moderna, posiblemente nos limitaríamos a echarle un rápido vistazo, y ello quizá sólo en razón de su corta estatura. En conexión con el *H. habilis* se han encontrado una gran variedad de herramientas muy perfeccionadas. Además, tomando como base algunas disposiciones circulares de piedras existen motivos para suponer que el *H. habilis* construía sus propios habitáculos, y que mucho antes de las épocas glaciares del pleistoceno, o mucho antes de que los hombres vivieran habitualmente en las cavernas, el *H. habilis* ya construía viviendas al descampado, probablemente de madera, junco, hierba y piedra.

La sabana de África oriental cerca del paso de Olduvai hace unos millones de años. A la derecha del dibujo, en primer plano, se distinguen tres homínidos, tal vez australopitecos o especímenes de *Homo habilis*. El volcán en activo que se divisa al fondo corresponde al actual monte Ngorongoro.

Dado que el *H. habilis* y el *A. robustus* hicieron su aparición casi al mismo tiempo, es muy improbable que el uno fuera antepasado del otro. Los australopitecos gráciles coexistían con el *H. habilis*, pero la especie de los primeros se había originado mucho tiempo antes. Por lo tanto, es posible, aunque en modo alguno quepa afirmarlo con seguridad, que tanto el *H. habilis*, con un futuro evolucionista prometedor, como el *A. robustus*, un ser llegado al límite de su evolución, surgieran del grácil *A. africanus*, que sobrevivió el tiempo suficiente como para ser contemporáneo de ambos.

El primer hombre cuyo volumen endocraneal coincide con el del hombre actual es el llamado *Homo erectus*. Desde hacía muchos años los principales especímenes de *H. erectus* se hallaban ubicados en China y se estimaba que tenían cerca de medio millón de años. Sin embargo, en 1976, Richard Leakey, director de los Museos Nacionales de Kenya, dio cuenta del hallazgo de un cráneo casi completo de *H. erectus* en unos estratos geológicos con un millón y medio de años de antigüedad. Habida cuenta de que los especímenes de *H. erectus* hallados en China están claramente asociados a residuos de fogatas, es posible que nuestros antepasados conociesen el uso del fuego desde hacía mucho más de un millón y medio de años, lo que desplaza la figura de Prometeo a tiempos mucho más pretéritos de cuanto se pensaba.

Quizá el aspecto más notable de los hallazgos arqueológicos de tiles y herramientas es que aparecen desde el principio en gran cantidad. Uno tiene la impresión de que un inspirado *A. grácil* descubrió el uso de las herramientas e inmediatamente empezó a enseñar la técnica de su construcción a parientes y amigos. No hay modo de explicar la intermitente aparición de útiles de piedra, salvo en el caso de que los australopitecos contaran con instituciones educativas. Forzosamente tuvo que existir una especie de comunidad o hermandad de artesanos de la piedra que transmitiera a las sucesivas generaciones sus preciosos conocimientos sobre fabricación y el uso de las herramientas, conocimientos que en última instancia llevarían a los débiles y casi indefensos primates al dominio del planeta Tierra. Lo que no es posible determinar es si el género *Homo* inventó por su cuenta las herramientas o aprovechó alguna técnica de construcción concebida por el género *Australopithecus*.

Consultando el cuadro antedicho observamos que la proporción entre cerebro y masa corpórea es aproximadamente la misma para los *A. gráciles*, el *H. habilis*, el *H. erectus* y el hombre actual. En consecuencia, no es posible explicar los progresos realizados en los últimos millones de años atendiendo a la mera proporción entre masa cerebral y masa corpórea, sino más bien tomando en cuenta el incremento total de la masa cerebral, la especialización perfeccionada de nuevas funciones, un aumento en la complejidad de la estructura cerebral y, muy especialmente, el aprendizaje extrasomático.

L. S. B. Leakey puso de relieve que la crónica fósil de hace unos pocos millones de años refleja la existencia de una gran variedad de especies antropomorfas, muchas de las cuales aparecen con agujeros o fracturas en el cráneo. Es posible que algunas de estas heridas fuesen infligidas por leopardos o hienas, pero Leakey y el anatomista sudafricano Raymond Dart estaban convencidos de que muchas de ellas fueron causadas por nuestros antecesores. Es casi seguro que durante el plioceno y el pleistoceno existió una intensa rivalidad entre muchas formas antropoides, de las que sólo sobrevivió un tronco: el de los que dominaban el uso de los útiles y herramientas, el tronco que desemboca en el hombre actual. Queda sin resolver la cuestión del papel que desempeñaron las matanzas en el cuadro de estas rivalidades. Los australopitecos gráciles caminaban erectos, eran ágiles, veloces y medían alrededor de un metro de altura, es decir, eran individuos de «estatura enana». A veces me pregunto si las leyendas en torno a gnomos, gigantes y enanos no serán una remembranza genética o cultural de esos remotos tiempos.

A la vez que el volumen craneal de los homínidos sufría este incremento espectacular, sobrevino otra transformación asombrosa de la anatomía humana. Tal y como ha observado el anatomista británico sir Wilfred Le Gros Clark, de la Universidad de Oxford, se produjo una remodelación total de la pelvis. Con toda probabilidad se trató de una adaptación para facilitar el parto de la generación de individuos dotados de una consistente masa cerebral. Si en la actualidad se produjera otro agrandamiento sustancial de la banda pélvica en la región del conducto natal, las mujeres verían muy dificultada la tarea de caminar. (Al nacer, las niñas poseen una pelvis y una abertura ósea mucho más grande que la de los niños; al llegar a la pubertad, la pelvis de la adolescente vuelve a sufrir un notable agrandamiento.) La aparición paralela de estas dos efemérides evolucionistas ilustra fehacientemente cómo opera la selección natural. Las madres que habían heredado pelvis dilatadas pudieron engendrar criaturas dotadas de cerebros grandes que una vez llegadas al estado adulto y a causa de su intelecto superior competían ventajosamente con la descendencia, menos dotada cerebralmente, alumbrada por madres con una abertura pélvica más reducida. En los tiempos pleistocénicos el individuo que poseía un hacha de piedra era quien tenía más probabilidades de salir victorioso en una disputa. Y lo que es más importante, era mejor cazador. Pero la invención y la construcción ininterrumpida de hachas de piedra exigía mayores volúmenes cerebrales.

Que yo sepa, el alumbramiento es normalmente doloroso en una sola de los millones de especies animales que pueblan la tierra: la del ser humano. Posiblemente ello sea consecuencia del reciente e incesante incremento de la capacidad craneal. El cráneo de los hombres y mujeres de nuestros días posee doble capacidad que el cráneo del *H.*

habilis. El alumbramiento es doloroso porque la evolución del cráneo humano ha sido espectacularmente rápida y reciente. El anatomista norteamericano C. Judson Herrick aludió al desarrollo del neocórtex en los siguientes términos: «Su formidable crecimiento en la última fase filogenética constituye uno de los ejemplos más llamativos de transformación evolutiva que conoce la anatomía comparada». El cierre incompleto del cráneo al nacer, la hendidura de la cubierta ósea llamada fontanela, es con toda probabilidad una adaptación imperfecta a esta reciente evolución del cerebro.

En el libro del Génesis hallamos una insólita explicación del nexo entre la evolución de la inteligencia y el dolor del parto. Como castigo por comer la fruta del árbol del conocimiento del bien y del mal, Dios dice a Eva:² «Parirás con dolor» (Génesis, 3,16).

El juicio de Dios sobre la serpiente fue el de que en adelante «reptarás sobre tu vientre», dando a entender que con anterioridad, los reptiles tenían otra forma de desplazarse, lo cual coincide exactamente con la realidad, puesto que los antecesores de las serpientes eran unos animales de cuatro patas parecidos a los dragones. Muchos ofidios conservan todavía en su cuerpo vestigios de los miembros de sus antecesores.

Es interesante hacer notar que Dios no prohíbe la adquisición de todo tipo de conocimiento, sino, de manera específica, el conocimiento de la diferencia entre el bien y el mal, es decir, los juicios abstractos y morales, que de residir en alguna parte del cerebro se ubicarían en el neocórtex. Incluso en la época en que se escribió el relato del Paraíso, el perfeccionamiento de las facultades cognoscitivas se asociaba a la idea del hombre cargado de atributos divinos y tremendas responsabilidades. Dijo Yhavé, Dios: «He aquí al hombre hecho como uno de nosotros, conocedor del bien y del mal; que no vaya ahora a tender su mano al árbol de la vida, y comiendo de él, viva para siempre» (Génesis, 3,22). Así pues, el hombre debe ser expulsado del Paraíso y Dios coloca al este del Edén una guardia de querubines con flameantes espadas para mantener al Árbol de la Vida lejos de las ambiciones del hombre.

El texto bíblico habla de querubines, en plural, y en el Génesis (3,24) se habla específicamente de una espada flamígera. Es de suponer que este tipo de espada no abundaba

Tal vez el jardín del Edén no sea tan distinto de la Tierra como se les mostraba a nuestros antepasados de hace tres o cuatro millones de años, en el curso de una legendaria época dorada en la que el género *Homo* vivía en perfecta armonía con los restantes animales y vegetales. Según el relato bíblico, tras su expulsión del paraíso la humanidad es condenada a morir; a ganar el pan con su esfuerzo; a vestirse y guardar un cierto pudor como preventivos de la estimulación sexual; a la férula de los hombres sobre las mujeres; al cultivo de las plantas (Caín); a la domesticación de los animales (Abel) y al asesinato (Caín y Abel). Todos estos aspectos se ajustan con bastante exactitud a los indicios históricos y arqueológicos. No hallamos en la metáfora del Edén prueba alguna de asesinato antes de la Caída. Sin embargo, los cráneos fracturados de bípedos no pertenecientes al tronco evolutivo del hombre pueden constituir un indicio de que nuestros antepasados dieron muerte, incluso en el mismo Edén, a muchos animales antropomorfos.

La civilización arranca no de Abel, sino de Caín el homicida. El mismo término «civilización» deriva del vocablo latino para designar la ciudad. Fue el tiempo libre, la organización comunal y la especialización de la actividad laboral en las primeras ciudades lo que propició la aparición de las artes y de las técnicas que consideramos como pruebas de contraste de las distintas civilizaciones. Según el Génesis, la primera ciudad fue construida por Caín, el inventor de la agricultura, actividad que requiere un asentamiento fijo, y fueron sus descendientes, los hijos de Lamec, los que inventaron tanto «los instrumentos cortantes de bronce y de hierro» como los instrumentos musicales. La metalurgia y la música, es decir, la técnica y el arte, son patrimonio de la estirpe de Caín. Por otro lado, las pasiones exacerbadas que conducen al asesinato no se atemperaron. Así, Lamec dice: «Por una herida mataré a un hombre y a un joven por un cardenal; si Caín fue vengado siete veces, Lamec lo será setenta veces siete». Desde entonces conocemos el nexo entre asesinato e invención. Uno y otro derivan de la agricultura y de la civilización.

Una de las primeras consecuencias de las facultades anticipatorias inherentes a la evolución de los lóbulos prefrontales debe haber sido la conciencia de la muerte. Con toda seguridad el hombre es el único organismo en la tierra con una idea relativamente clara de la inevitabilidad del destino que le aguarda. Los diversos ceremoniales fúnebres, entre los que se incluye el depósito de alimentos y de objetos junto al cuerpo del fallecido, se remontan por lo menos a la época de nuestro pariente el hombre de Neanderthal, lo que indica no sólo una dilatada conciencia de la muerte, sino también una ceremonia ritual ya configurada que tiende a procurar sustento a los muertos en la otra vida. No es que la idea de la muerte estuviera ausente antes del espectacular desarrollo del neocórtex y de la expulsión del paraíso; lo que ocurre es que hasta aquel momento nadie había reparado en que la muerte sería su destino último.

La alegoría de la expulsión del paraíso parece ser una metáfora apropiada para algunas de las efemérides biológicas más importantes acaecidas en la evolución reciente del hombre. Puede que en ello radique la amplia difusión de que goza.

. En Occidente, quede bien claro. Por supuesto que en otras culturas abundan también las leyendas clarividentes y cargadas de contenido sobre el origen de la especie humana.

Sin embargo, no es tan extraordinaria como para inducirnos a creer en una especie de memoria biológica de eventos históricos del pasado, aunque desde mi punto de vista se me antoja próxima a ello, hasta el punto de que bien merece la pena asumir el riesgo de plantear por lo menos la cuestión. El único depositario de la mentada memoria biológica es,

por supuesto, el código genético.

Hace cincuenta y cinco millones de años, durante el eoceno, se dio una gran proliferación de primates, tanto de los que habitaban en los árboles como en el suelo, y se inició un tronco que desembocaría en la aparición del hombre. Algunos primates de aquella época —tal es el caso, por ejemplo, de un prosimio llamado *Teto-nius*— presentan en los moldes endocraneales obtenidos pequeñas protuberancias en el mismo lugar en que más tarde se originarán los lóbulos frontales.

La creación de Adán. Relieve de las puertas de la iglesia de San Pedro, Bolonia, obra de Jacopo della Quercia.

La primera evidencia fósil de un cerebro con un aspecto vagamente humano se remonta al periodo miocénico, dieciocho millones de años atrás, cuando hace su aparición un antropoide al que conocemos como el *Procónsul* o *Dryopithecus*. El *Procónsul* era cuadrúpedo y arbóreo y, probablemente, antepasado de los grandes simios de hoy, así como también del *Homo sapiens*. Sus rasgos son poco más o menos los que cabía esperar de un antepasado común de los simios y de los hombres.

La tentación de Adán y Eva por una serpiente dotada de una singular cabeza humana. Relieve de las puertas de la iglesia de San Pedro, Bolonia, obra de Jacopo della Quercia.

Algunos antropólogos consideran que el *Ramapithecus*, que apareció aproximadamente por la misma época, es el antepasado del hombre.) Los moldes endocraneales del *Procónsul* muestran unos lóbulos frontales apreciables, pero unas convoluciones neocorticales mucho menos desarrolladas que las del mono y el hombre actual. Su volumen craneal era todavía muy pequeño. El hito más importante en la evolución de la capacidad craneal tuvo lugar en los últimos millones de años.

La expulsión del Paraíso terrenal. Relieve de las puertas de la iglesia de San Pedro, Bolonia, obra de Jacopo della Quercia.

Se ha dicho que los pacientes que han sufrido lobotomías pre-frontales han perdido «el sentido continuado de identidad», es decir, la sensación de ser un individuo distinto de los demás con un cierto dominio sobre sus actos y circunstancias, lo que podríamos llamar la «egocidad», el carácter de único que se posee en tanto que individuo. Es muy posible que los mamíferos inferiores y los reptiles, por carecer de extensos lóbulos frontales carezcan también de este sentimiento, real o ilusorio, de individualidad y libre albedrío que tanto caracteriza al ser humano y que tal vez el *Procónsul* experimentara levemente por vez primera. Es muy probable que los avances culturales y la evolución de aquellos rasgos fisiológicos que consideramos privativos del hombre hayan venido literalmente de la mano: cuanto mejores sean nuestras predisposiciones genéticas a la carrera, la comunicación social y la manipulación instrumental, mayores serán también las probabilidades de que desarrollemos útiles y estrategias de caza efectivas; cuanto mayor sea la adaptabilidad de dichos útiles y estrategias, mayores serán las posibilidades de supervivencia de nuestra dotación genética característica. Uno de los principales exponentes de esta teoría, el antropólogo norteamericano Sherwood Washburn, de la Universidad de California, ha dicho: «Mucho de lo que consideramos como propio del hombre se desarrolló mucho tiempo después de que empezaran a utilizarse las herramientas. Probablemente sea más exacto pensar que buena parte de nuestra estructura es el resultado de un proceso cultural que no creer en la existencia de unos seres anatómicamente semejantes a nosotros que lenta y progresivamente han ido desarrollando la cultura».

Algunos estudiosos de la evolución humana consideran que buena parte de la presión selectiva que se oculta tras ese trascendental evento en el proceso de cerebración se dio primero en la corteza motora, y no en las regiones neocorticales que regulan los procesos cognoscitivos. Subrayan así la notable aptitud del ser humano para lanzar proyectiles y dar certeramente en el blanco, andar airoso y correr desnudos —como Louis Leakey gustaba de ilustrar con su propia persona— hasta rebasar en su carrera e inmovilizar a los animales de caza. Es posible que deportes como el béisbol, el fútbol y la lucha libre, así como las pruebas atléticas y las competiciones de campo a través, el juego del ajedrez y la guerra en general deban su atractivo, así como la gran participación que en ellos tiene la población masculina, a estas condiciones para la caza «impresas» en nuestro cerebro que tanta utilidad han reportado al hombre durante millones de años, pero que hoy pierden progresivamente aplicaciones prácticas.

La invención del lenguaje humano marcó un hito fundamental en la evolución del hombre. Entre sus manifestaciones más acabadas estaba, como muestra la imagen, el relato de viva voz, forma cultural anterior a la invención de la escritura.

Tanto la defensa efectiva contra los depredadores como la caza eran necesariamente tareas de grupo. El medio físico en que apareció el hombre —en África ocurrió durante el plioceno y el pleistoceno— estaba habitado por una gran variedad de fieros mamíferos carnívoros, los más temibles de los cuales eran, quizás, las camadas de hienas gigantes. Era sumamente difícil repeler en solitario el ataque de una de estas carnadas. Acechar presas de gran tamaño, bien aisladas bien en rebaño, es tarea peligrosa que requiere de los cazadores cierto grado de comunicación mediante señas o ademanes. Nos consta, por ejemplo, que poco tiempo después de que el hombre llegase a Norteamérica por el

estrecho de Bering, durante el pleistoceno, hubo grandes y espectaculares matanzas de animales de caza de gran tamaño, a menudo haciendo que los rebaños se despeñaran por los barrancos. Para poder acechar a una sola bestia salvaje o provocar una estampida que conduzca a la muerte a un rebaño de antílopes es preciso que los cazadores hagan un mínimo uso del lenguaje simbólico. El primer acto de Adán, mucho antes de la Caída e incluso antes de la creación de Eva, fue de orden lingüístico: poner nombres a los animales del paraíso.

Ni que decir tiene que algunas formas de lenguaje simbólico mediante gestos se originaron mucho antes de que aparecieran los primates. Los cánidos y muchos otros mamíferos que establecen jerarquías de dominio muestran actitud de sumisión bien apartando los ojos bien doblando la cerviz. Nos hemos referido ya a otros rituales de sumisión en primates tales como los macacos. Es posible que, en el hombre, las reverencias, breves inclinaciones de cabeza y otros actos de cortesía tengan un origen similar. Muchos animales parecen subrayar la amistad mordiendo a su compañero sin hacerle daño como diciéndole: «Podría morderte con fuerza, pero prefiero no hacerlo». El saludo con la mano derecha alzada, habitual en el ser humano, tiene exactamente el mismo significado: «Podría atacarte con un arma, pero prefiero no empuñarla».

A veces, levantar la mano con la palma abierta se interpreta como un símbolo «universal» de buena voluntad. Así parece que ha sido desde los días de la guardia pretoriana hasta la época de los exploradores sioux. Dado que, según muestra la historia humana, es el hombre quien empuña las armas arrojadas, alzar la mano debería ser, y por lo general lo es, un saludo genuinamente masculino. Por esas y otras razones, la placa que a bordo de la nave espacial *Pioneer 10* —el primer artefacto de la historia que abandonó el sistema solar— exhibía las figuras de un hombre y una mujer desnudos; el hombre con la mano en alto, abierta, en actitud de saludo (véase la ilustración de la pág. 240). En *La conexión cósmica* aludo a los dos personajes que figuran en dicha placa como la parte más oscura del mensaje. De todos modos vacilo y me digo que tal vez otros seres de muy distinta biología sepan interpretar el significado del gesto del hombre.

Muchos pueblos cazadores han hecho un uso considerable del lenguaje por signos o gestos, como, por ejemplo, los indios americanos de las llanuras, que también realizaban señales de humo.

Según Hornero, la victoria de los helenos en Troya fue comunicada desde Ilium a Grecia, situada a una distancia de varios centenares de kilómetros, mediante una sucesión de fogatas. Eso ocurría alrededor del año 1100 a.C. Sin embargo, tanto el repertorio de ideas como la rapidez con que pueden comunicarse mediante signos o gestos son limitados. Darwin señaló la inoperancia de estos lenguajes si tenemos las manos ocupadas, cuando es de noche o si algún obstáculo nos impide ver las manos del interlocutor. No resulta difícil imaginar que el lenguaje por señas o por ademanes fuese sustituido gradualmente, y finalmente suplantado de lleno, por el lenguaje oral, que en un principio tal vez consistiera en simples sonidos onomatopéyicos, es decir, imitativos del sonido del objeto o de la acción que estamos expresando. Los niños llaman a los perros «guau-guau». En casi todos los lenguajes del hombre el término que el niño utiliza para decir «madre» parece una evocación del sonido que emitía inadvertidamente mientras era amamantado. Pero lo importante es que todos estos hechos no pueden haberse producido sin una reestructuración del cerebro.

Hoy sabemos, en base a los restos óseos del hombre primitivo, que nuestros antepasados eran cazadores. Sabemos lo suficiente acerca de la caza de animales corpulentos para comprender que se precisa una forma u otra de comunicación para acechar una presa en grupo. Con todo, las ideas sobre la antigüedad del lenguaje se han visto inesperada y considerablemente reforzadas gracias a los minuciosos estudios de fósiles endocraneales llevados a cabo por el antropólogo norteamericano Ralph L. Holloway, de la Universidad de Columbia, quien ha sacado moldes de caucho de los cráneos fosilizados y ha intentado deducir algunas conclusiones sobre la intrincada morfología del cerebro partiendo de la configuración de los mismos. Se trata de una especie de frenología, pero más interna que superficial y con una base mucho más sólida. Holloway está convencido de que en los moldes endocraneales puede detectarse la región del cerebro conocida como «área de Broca», uno de los diversos centros que regulan el habla. Asimismo, cree haber encontrado indicios de la existencia de esta región cerebral en un fósil de *H. habilis* que tiene más de dos millones de años de antigüedad. Cabe, pues, pensar que el lenguaje, las herramientas y la cultura surgieron aproximadamente en la misma época.

Señalemos de pasada que hubo criaturas antropomorfas que vivieron hace sólo unas pocas decenas de miles de años —el hombre de Neanderthal y el de Cro-Magnon— y que poseían por término medio volúmenes craneales de unos 1.500 cm³, es decir, que excedían en más de cien centímetros cúbicos el volumen de nuestros cerebros. La mayoría de los antropólogos consideran que no descendemos de la especie de Neanderthal ni quizá tampoco del llamado hombre de Cro-Magnon. Sin embargo, la existencia de uno y otro suscita la cuestión de averiguar quiénes eran estos especímenes antropomorfos y cuáles sus aportaciones. El hombre de Cro-Magnon era un ser de considerable altura; algunos individuos rebasaban con mucho el metro ochenta. Hemos visto ya que una diferencia de 100 centímetros cúbicos en cuanto al volumen cerebral no parece revestir gran importancia, y hasta es posible que no fueran más inteligentes que nosotros o nuestros inmediatos antepasados. Quizá padecieran taras físicas que hoy por hoy desconocemos. El hombre de Neanderthal tenía una frente escasa, pero su cabeza era alargada en sentido longitudinal. En cambio, nosotros poseemos una cabeza menos dilatada pero más grande en sentido vertical, lo que nos sitúa sin discusión en la categoría de los seres dotados de una gran masa cerebral. ¿Acaso el desarrollo del cerebro que se aprecia en el hombre de

Neanderthal acaeció en los lóbulos parietales y occipitales, mientras que el desarrollo principal del cerebro de nuestros antepasados tuvo por marco los lóbulos frontales y temporales? ¿Cabe en lo posible que el hombre de Neanderthal desarrollase una mente muy distinta de la nuestra y que las superiores facultades lingüísticas y anticipatorias del hombre le llevara a eliminar totalmente a nuestros fornidos e inteligentes primos?

Por lo que sabemos, el ser intelectual aparece en la Tierra hace unos cuantos millones, o quizá docenas de millones de años. Pero este lapso no supone sino un porcentaje mínimo (unas décimas solamente) de la edad del planeta o, trasladándolo al calendario cósmico, al último día del mes de diciembre. ¿Por qué una aparición tan tardía? Parece evidente que alguna determinada propiedad del cerebro de los primates y cetáceos superiores no se originó hasta fecha muy moderna. Pero ¿de qué propiedad se trata? Se me ocurren por lo menos cuatro posibilidades, todas las cuales han sido ya mencionadas, sea explícita o implícitamente.

Una «reunión en la cumbre» durante el pleistoceno. De izquierda a derecha: *Homo habilis* (un tanto deteriorado), *Homo erectus*, hombre de Neanderthal, hombre de Cro-Magnon y *Homo sapiens*.

A saber: 1) la de que nunca antes se había dado un cerebro tan voluminoso; 2) la de que nunca se había dado una proporción tan alta entre masa cerebral y corpórea; 3) la de que nunca antes existió un cerebro con determinadas unidades funcionales (por ejemplo, lóbulos frontales y temporales muy pronunciados); y 4) la de que nunca hubo un cerebro con tantas conexiones neurales o sinapsis. (Parecen existir indicios de que durante el proceso de cerebración se produjo un incremento del número de conexiones de cada neurona con su vecina, así como en el número de micro-circuitos.) Las hipótesis 1, 2 y 4 indican que un cambio cuantitativo originó otro de orden cualitativo. Creo que de momento no es posible decantarse tajantemente por una de esas cuatro alternativas, y presiento que la verdad abarcará probablemente buena parte de las respectivas opciones.

Sir Arthur Keith, investigador británico que ha estudiado el proceso evolutivo del hombre, propuso lo que él denominó un «rubicón» en el proceso de cerebración. Según su teoría, a partir del volumen cerebral del *Homo erectus* —unos 750 cm³ aproxima damente el cubicaje de una motocicleta potente— empiezan a emerger los rasgos exclusivos del ser humano. Claro que este rubicón bien pudo ser de orden cualitativo y no sólo cuantitativo. Quizá la diferencia no residiera tanto en los 200 centímetros cúbicos suplementarios como en determinado desarrollo de los lóbulos frontal, temporal y parietal que nos procuraron facultades de análisis y anticipación y sentimientos de ansiedad.

Aun cuando cabe discutir la exacta equivalencia del mentado rubicón, creemos que la noción de un límite de tal tipo no carece de valor. Pero si existe un rubicón próximo a los 750 centímetros cúbicos, al tiempo que las diferencias de 100 o de 200 centímetros cúbicos no parecen —por lo menos en el caso del hombre— factores determinantes del grado de inteligencia, ¿no será entonces posible atribuir a los monos cierta inteligencia reconocible como humana? E! volumen del cerebro de un chimpancé es por término medio de 400 centímetros cúbicos, y el de un gorila de las tierras bajas de 500 centímetros cúbicos. Pues bien, esta es la escala de variación de volúmenes cerebrales entre los australopitecos gráciles, conocedores de las herramientas de mano.

El historiador judío Josefo añade a la lista de penalidades y tribulaciones inherentes a la expulsión del paraíso la pérdida de nuestra capacidad para comunicarnos con los animales. Los chimpancés poseen un cerebro voluminoso, una neocorteza bien desarrollada y conocen también una larga infancia y dilatados periodos de adaptación. ¿Son capaces de pensar en abstracto? Y si son criaturas inteligentes, ¿por qué no conocen el uso de la palabra?

Las abstracciones de los brutos

Te pido a ti y a todos en general que me señaléis un rasgo genérico ... que permita diferenciar al hombre del simio. Ciertamente, yo no sé de ninguno y me gustaría que alguien me indicara lo contrario. Sin embargo, si hubiese llamado «mono» al hombre o a la inversa, todos los clérigos se me habrían echado encima. Tal vez, como naturalista que soy, tendría que haberlo hecho.

CARL LINNEO, fundador de la taxonomía, 1778

Las bestias no pueden formular abstracciones declaró John Locke, expresando con estas palabras el sentir generalizado del hombre en el transcurso de la historia escrita. Pero el obispo Berkeley replicó con socarronería: «Si lo que confiere a los brutos la condición de tales es el hecho de que no sean capaces de pensar en abstracto, me temo que muchos de los que pasan por hombres deberían sumarse a ellos». El pensamiento abstracto, por lo menos en sus manifestaciones más sutiles, no es un rasgo permanente del hombre medio en sus actividades cotidianas. ¿Y si el pensamiento abstracto no fuera tanto una cuestión de especie como de grado? ¿No pueden otros animales realizar abstracciones aunque no sea con la frecuencia y la agudeza del hombre?

Entre nosotros prevalece la idea de que los demás animales no son criaturas muy inteligentes. Sin embargo, cabe preguntarse si hemos analizado con rigor la posibilidad de que los animales posean un apreciable nivel intelectual. ¿No será que como en *El pequeño salvaje*, la punzante película de Francois Truffaut, tendemos a ver en la ausencia de nuestra forma de expresar la inteligencia la carencia de la misma? Refiriéndose al tema de la comunicación con otras especies animales, el filósofo francés Montaigne manifestó: «¿Por qué suponer que los impedimentos que dificultan esta comunicación son imputables sólo a ellos y no, también, a nosotros?».

Puede que las dificultades que tenemos para comprender o establecer comunicación con otros animales deriven de nuestra reticencia en asimilar otras formas menos familiares de relación con el medio. Por ejemplo, los delfines y los cetáceos, que detectan el entorno mediante un sistema muy perfeccionado de rastreo por eco semejante al sonar, también se comunican entre sí mediante una amplia y perfeccionada serie de chasquidos que hasta el momento no han podido ser interpretados. Una moderna y brillante teoría, a la sazón en fase de investigación, asegura que la comunicación entre dos delfines supone una recreación de las características de reflexión tipo sonar de los objetos descritos por el pez. Desde este ángulo, un delfín no alude al tiburón con una sola palabra, sino que transmite una serie de chasquidos que corresponden al espectro de reflexión auditivo que obtendría al proyectar en un tiburón las ondas acústicas según el modo de detección, semejante al sonar, propio del delfín. Según esta apreciación, la forma básica de comunicación entre dos delfines vendría a ser una especie de onomatopeya aural, un esbozo de imágenes en frecuencia audio, en el caso que nos ocupa esbozos o caricaturas del tiburón. No es difícil imaginar la amplitud de tal lenguaje trasladándolo de las ideas concretas a las abstractas, y mediante el uso de una especie de jeroglífico auditivo, en uno y otro caso análogos al surgimiento del lenguaje escrito en Egipto y Mesopotamia. En dicho supuesto, los delfines estarían en condiciones de crear extraordinarias imágenes audio nacidas de la imaginación más que de sus experiencias.

Existe, ciertamente, un largo anecdotario demostrativo de que los chimpancés son criaturas inteligentes. El primer estudio serio sobre el comportamiento de los simios —sin excluir el medio natural que les es propio— lo llevó a cabo en Indonesia Alfred Russel Wallace, descubridor, conjuntamente con Darwin, de la evolución a través de la selección natural. Estudiando los hábitos de conducta de una cría de orangután, Wallace llegó a la conclusión de que su comportamiento «era exactamente el mismo que el de un niño en circunstancias parecidas». En realidad, el término «orangután» corresponde en malayo a una frase que significa «hombre de la selva» y no «simio». Teuber se hace eco de numerosas anécdotas que le fueron contadas por sus padres, dos etólogos alemanes, adelantados de su especialidad, que a principios del segundo decenio del presente siglo fundaron y dirigieron en Tenerife, Islas Canarias, el primer centro experimental dedicado al estudio de la conducta de los chimpancés. Fue allí donde Wolfgang Kohler realizó sus famosas investigaciones con Sultán, un chimpancé «superdotado» capaz de unir las dos partes de un bastón o caña para poder hacerse con un plátano que de otro modo hubiera permanecido fuera de su alcance. También en el centro experimental de Tenerife se vio a dos chimpancés que se entretenían maltratando a un polluelo: uno de ellos mostraba al animalito un poco de comida y cuando se acercaba atraído por ella su compañero le sacudía con un alambre que ocultaba tras la espalda. El polluelo reculaba, pero en seguida reincidía, lo que le valía un nuevo azote. Este proceder constituye una clara combinación de un comportamiento que en ocasiones se juzga exclusivo del ser humano y que presupone cooperación, confabulación de cara a la comisión de ciertos actos, engaño y crueldad. También demuestra que los polluelos poseen escasa capacidad para aprender a prevenirse del riesgo.

Hasta hace unos pocos años, los intentos más concienzudos para establecer comunicación con los chimpancés discurrían poco más o menos del siguiente modo: al nacer la cría del chimpancé se la trasladaba a un hogar que tuviese un bebé y se los criaba juntos utilizando cunas, cochecitos, sillas altas, orinales, pañales y botes de talco iguales para uno y otro. Al término de los tres años, el joven chimpancé superaba con mucho al niño cuando se trataba de operar manualmente, trepar, dar brincos, correr y otras actividades motoras. Sin embargo, mientras que el niño se regodeaba balbuciendo una frase tras otra, el chimpancé sólo podía pronunciar, y aun con muchas dificultades, palabras como «mamá», «papá», etc. De aquí que muchos dieran por sentado que el chimpancé era un ser bastante inepto para expresarse, razonar y otras funciones mentales superiores: «La bestia es incapaz de formular abstracciones».

Sin embargo, hubo dos psicólogos de la Universidad de Nevada, Beatrice y Robert Gardner, que cavilando en torno

a los experimentos realizados observaron que la faringe y la laringe del chimpancé no están adaptados para emitir sonidos y articular palabras como en el caso del hombre. Curiosamente, éste utiliza un mismo órgano, la boca, para comer, respirar y comunicarse con otros individuos. En insectos como los grillos, que se llaman entre sí restregando una pata con otra y produciendo el clásico chirrido, estas tres funciones corresponden a tres órganos distintos. A lo que parece, el habla, en el hombre parece conformarse como un evento accidental.

Washoe (a la izquierda) expresa en lenguaje Ameslan la palabra «sombrero» al verle mostrado un gorro de lana.

Washoe (izquierda) indica por señas, en lenguaje Ameslan, la palabra «dulce» a la vista de un chupón o caramelo de palo.

Por otra parte, el hecho de que el hombre utilice para expresarse oralmente órganos que cumplen otras misiones demuestra también que nuestras facultades de expresión oral se originaron en un pasado relativamente cercano. En opinión de los Gardner, era razonable suponer que los chimpancés poseyeran facultades lingüísticas notables que no habían podido traslucir debido a las limitaciones anatómicas. Ello les llevó a preguntarse si había un tipo de lenguaje simbólico que potenciase más los rasgos positivos que los negativos de la anatomía del chimpancé.

Dieron así con una brillante idea: enseñar a este animal el lenguaje por señas utilizado en Norteamérica, conocido como el Ameslan (acrónimo de *American sign language*), o, también, «lengua norteamericana para sordomudos» (*American deaf and dumb language*). Se trata de una forma de expresión que se adapta maravillosamente bien a la soltura manual del chimpancé y que permite representar gestualmente los principales rasgos conceptuales del idioma hablado.

A la sazón disponemos de un nutrido acopio escrito y filmado de conversaciones en Ameslan y otros lenguajes por señas con Washoe, Lucy, Lana y otros chimpancés estudiados por los Gardner y diversos investigadores. Algunos chimpancés poseen un repertorio de cien a doscientos términos y, además, son capaces de distinguir entre diversos modelos de sintaxis y reglas gramaticales. Y lo que es más significativo: se han mostrado singularmente ingeniosos en la construcción de vocablos y expresiones de nuevo cuño.

Así, cuando Washoe vio por vez primera a un pato en un estanque dijo mediante señas, «pájaro de agua», que corresponde al término utilizado en inglés y en otros idiomas, pero que el chimpancé improvisó para la ocasión. La hembra Lana no había visto otros frutos de forma esférica que las manzanas, pero como sabía indicar por señas el nombre de los colores principales, un día en que vio a uno de los cuidadores comer una naranja, señaló con los correspondientes ademanes: «manzana color naranja». Después de probar una raja de sandía, Lucy la llamó «bebida con azúcar» y «fruta líquida»; pero cuando sintió el escozor del primer rábano que cató, dijo entonces que se trataba de «comida que duele y hace llorar». Cuando a Washoe le pusieron una muñequita en la taza que sostenía, dijo mediante señas: «niño en mi bebida». A este último chimpancé se le enseñó a representar la palabra «sucio» siempre que se hacía las necesidades encima o en un mueble, y el animal extrapoló el término aplicándolo de manera genérica a cualquier tipo de exceso. En presencia de un *Rhesus* (mono común) con el que no simpatizaba, repitió machaconamente: «mono asqueroso, mono asqueroso, mono asqueroso». A veces decía cosas como: «Sucio Jack, bebida con trampa». En un momento de tedio y de inspiración a la vez, Lana apostrofó a su cuidador llamándole «cagarruta verde». Los chimpancés han llegado a inventar hasta juramentos. Washoe parece tener incluso cierto sentido del humor. En una ocasión en que cabalgaba sobre las espaldas de su cuidador al tiempo que, tal vez inadvertidamente, se le orinaba encima, manifestó jubiloso: «Divertido, divertido».

En cuanto a Lucy, terminó por aprender a distinguir claramente el sentido de frases como «Roger hace cosquillas a Lucy» y «Lucy hace cosquillas a Roger», dos actividades que la deleitaban en extremo. Asimismo, Lana dedujo de la frase «Tim cuida de Lana» otra que decía «Lana cuida de Tim». Washoe fue sorprendido «leyendo» una revista: el chimpancé volvía las páginas despacio, se entretenía contemplando las ilustraciones y, en un momento dado, sin dirigirse a nadie en particular, realizaba las señas pertinentes, como la correspondiente a la palabra «gato» al toparse con la fotografía de un tigre, o «bebida» al fijar la vista en el anuncio de un vermouth. Habiendo aprendido a indicar por señas la palabra «abierto» con referencia a una puerta, Washoe extendió el concepto a una cartera de mano. También intentó conversar en Ameslan con el gato del laboratorio, que resultó ser el único analfabeto del lugar. Después de adquirir este sorprendente medio de comunicación, es posible que Washoe se sorprendiera de que el gato no fuese también experto en el empleo del Ameslan. Un día en que Jane, la madrastra de Lucy, salió del laboratorio, ésta la miró con fijeza y dijo por señas: «Llámame. Yo gritar».

Boyce Rensberger es un periodista muy dotado y sensible que trabaja en la plantilla del *New York Times*. Sus padres eran sordomudos, aunque él es perfectamente normal. Con todo, el primer idioma que conoció fue el Ameslan. Después de que el *Times* le enviara a Europa por espacio de algunos años, de vuelta a los Estados Unidos una de las primeras tareas que se le encomendaron en el plano interior fue la de investigar los experimentos de los Gardner con Washoe. Después de haber dedicado un poco de tiempo a trabar conocimiento con el chimpancé, Rensberger escribió un reportaje en el que, entre otras cosas, decía: «De repente me di cuenta de que estaba conversando con un individuo de otra especie en la lengua que había conocido cuando niño». Por supuesto, el empleo del término «lengua» es figurativo y está profundamente encastrado en la estructura del lenguaje (su otra acepción hace referencia al órgano físico propiamente dicho). Pero la verdad es que Rensberger conversaba con un miembro de otra especie en su «mano» (no lengua) nativa. Ha sido precisamente esta transición del órgano lengua al apéndice mano lo que ha permitido al hombre recobrar la facultad —que según Josefo perdió en el instante en que fue expulsado del paraíso— de comunicar con los animales.

Además del Ameslan, los chimpancés y otros primates que nada tienen que ver con el hombre, aprenden diversidad

de lenguajes gestuales. Por ejemplo, en el Centro Regional de Investigación de Primates de Yerkes, en Atlanta (Georgia), aprenden un lenguaje específico de computador llamado *Yerkish* (por los investigadores, no por los chimpancés). El computador registra todas las conversaciones de sus alumnos, incluso durante la noche, cuando no están presentes los cuidadores. Gracias a él sabemos que los chimpancés prefieren el jazz al rock y las películas de chimpancés a los filmes en que interviene el hombre. Al llegar el mes de enero de 1976, Lana había visionado una cinta titulada *The developmental anatomy of the chimpanzee* nada menos que 245 veces. No cabe duda de que vería con agrado una mayor variedad en el fondo de material fílmico en el archivo.

En la fotografía de la página siguiente vemos a Lana solicitando al computador mediante las correspondientes señas que se le suministre un plátano. También se muestra gráficamente la sintaxis necesaria para que el animal pueda obtener del computador agua, zumo de frutas, chocolate líquido, la audición de música, el visio-Hado de una película o la apertura de una ventana. (La máquina satisface muchas de las necesidades de Lana, pero no todas. De aquí que en ocasiones, en mitad de la noche, la hembra se lamenta con desconsuelo: «Máquina, por favor, hazle cosquillas a Lana».) Posteriormente se han planteado al chimpancé peticiones y comentarios más complicados, cada uno de los cuales requiere el empleo creativo de una determinada forma gramatical.

Lana en su computador. El simio debe tirar de la barra situada sobre su cabeza, adosada al mismo techo, para activar la consola. Cerca de la base del tablero de mando hay unos distribuidores automáticos de zumo de frutas, agua, plátanos y confites de chocolate.

Lana controla las frases que elabora frente al panel del computador y borra aquellas que contienen errores gramaticales. Una vez, mientras Lana se afanaba en la construcción de una frase compleja, su entrenador interpoló repetida e intencionadamente desde la consola del computador en que se hallaba, separada de la de Lana, una palabra que desposeía de todo sentido la frase del chimpancé. Lana fijó la mirada en su panel, miró de soslayo al cuidador sentado ante su consola y compuso otra frase que decía: «Tim, por favor, sal de la habitación». De la misma manera que Washoe y Lucy puede decirse que saben hablar, cabe afirmar que Lana sabe redactar.

En la etapa primeriza durante la cual Washoe aprendía a desarrollar sus facultades verbales, Jacob Bronowski y un colega suyo dieron a conocer un trabajo científico en el que se quitaba todo valor al lenguaje por señas y ademanes que utilizaba el citado chimpancé. Bronowski, que no tenía en su poder más que escasos datos, alegaba para ello que Washoe no intercalaba ni negaba las propuestas que se le hacían. Sin embargo, investigaciones posteriores demostraron que tanto Washoe como otros chimpancés eran perfectamente capaces de formular preguntas y de rebatir aseveraciones. Resulta difícil apreciar una diferencia cualitativa de consideración entre el uso del lenguaje gestual por parte de los chimpancés y el empleo del habla ordinaria por los niños de un modo que inequívocamente atribuimos a la inteligencia. Leyendo el trabajo de Bronowski tengo la ligera impresión de que hay en él un poco de chovinismo humano, una reminiscencia de la afirmación de Locke de que «las bestias no pueden formular abstracciones». En 1949, el antropólogo norteamericano Leslie White declaró categóricamente: «El comportamiento humano es un comportamiento simbólico; y el comportamiento simbólico es un comportamiento humano». ¿Qué hubiese pensado White de haber conocido los casos de Washoe, Lucy y Lana?

Estas observaciones acerca del lenguaje y el nivel de inteligencia de los chimpancés tienen una intrigante incidencia en los argumentos «rubicón» antes mencionados, a saber, la aserción de que la masa total del cerebro, o como mínimo la razón entre las masas cerebral y corporal, es un índice válido del nivel intelectual. En contra de esta tesis se había dicho que los niveles inferiores de la masa cerebral de los individuos microcefálicos concuerdan con el Umite superior de masa cerebral en los gorilas y chimpancés adultos, con la ventaja de que los primeros poseen, aunque muy mercedas, facultades de expresión oral, mientras que los simios carean de ellas. Sin embargo conviene tener presente que los individuos microcefálicos sólo pueden expresarse oralmente en contadísimos casos. Una de las mejores descripciones que se han hecho sobre este género de individuos fue la que escribió en 1893 el médico ruso S. Korsakov, que estudió el caso de una mujer llamada Masha con un cerebro de dichas características. Masha solamente podía comprender algunas preguntas y obedecer unas cuantas órdenes, y muy contadas veces era capaz de evocar episodios de su infancia. A veces hablaba por los codos, pero casi todo lo que decía eran incoherencias. Refiriéndose a su capacidad de expresión oral, Korsakov señaló que su habla se caracterizaba por «una extrema pobreza de asociaciones lógicas». Para dar una idea de la cortedad de su intelecto, mal adaptado y semejante al de un autómatas, Korsakov refirió los hábitos de Masha en relación a la ingestión de alimentos. Cuando se le ponía comida en la mesa, la mujer la tomaba, pero si le era retirada súbitamente, se comportaba como si hubiese concluido el ágape, daba las gracias a los encargados de servirla y se persignaba. Si volvían a depositar los alimentos en la mesa, comía de nuevo y, al parecer, el juego se prolongaba indefinidamente. Por mi parte estoy convencido de que Lucy o Washoe hubieran sido unos compañeros de mesa mucho más interesantes que Masha y que la comparación de un individuo microcefálico de la especie humana con un simio corriente no es incompatible con la existencia de un cierto rubicón o linde de la inteligencia. Ni que decir tiene que en cuanto a los tipos de inteligencia que podemos identificar sin dificultades, tanto la calidad como la cantidad de las conexiones neurales revisten una importancia probablemente capital.

James Dewson, de la Facultad de Medicina de la Universidad de Stanford, y sus colegas han llevado a cabo últimamente una serie de experimentos que fundamentan en el plano fisiológico la idea de que los centros del lenguaje en los simios se hallan localizados en el neocórtex, sobre todo, como sucede con el hombre, en el hemisferio izquierdo.

Los simios fueron instruidos para que pulsaran una luz verde cuando oían un zumbido y una luz roja si se trataba de una nota. A los pocos segundos de que se escuchase un sonido, la luz verde o la roja aparecían en algún punto imprevisible —distinto en cada ocasión— del panel de mando. El simio pulsaba la luz pertinente y si su respuesta era correcta se le recompensaba con una pelotilla alimenticia. Más tarde, se aumentó a veinte segundos el intervalo entre la audición del sonido y el encendido de la luz correspondiente. A la sazón, para obtener la recompensa era preciso que los monos recordasen por espacio de veinte segundos el ruido que había llegado a sus oídos. Acto seguido, el equipo del doctor Dewson extirpó quirúrgicamente parte de la llamada corteza de asociación auditiva del hemisferio izquierdo del neocórtex, en el lóbulo temporal, y sometidos de nuevo a experimentación, los simios apenas recordaban el sonido que ahora se les hacía oír. En efecto, en menos de un segundo olvidaban si se trataba de un zumbido o de una inflexión de la voz. En cambio, la extirpación de una parte equivalente del lóbulo temporal del hemisferio derecho no tenía incidencia alguna en la capacidad de rememoración a que estamos aludiendo. Al parecer, Dewson comentó: «Da la impresión de que esta porción extirpada del cerebro de los monos corresponde a los centros del habla en el hombre». Investigaciones similares llevadas a cabo con los *Rhesus*, pero utilizando estímulos visuales en vez de auditivos, parecen demostrar que no existen indicios de que haya diferencia entre los hemisferios del neocórtex. Debido a la creencia generalizada (al menos entre los guardianes de los zoológicos) de que los chimpancés adultos son demasiado peligrosos para residir en un hogar o medio similar tras alcanzar la pubertad, Washoe y otros chimpancés que habían llegado a un notable dominio del lenguaje fueron retirados de las casas en que se encontraban sin que ellos lo solicitaran. He aquí la razón de que no tengamos datos consistentes sobre las facultades de expresión de los monos y simios adultos. Una de las cuestiones más interesantes sería saber si una hembra de chimpancé dotada de aptitudes para la expresión verbal podría transmitir las a su descendencia. Parece muy probable que así sea, y que una comunidad de chimpancés inicialmente facultada en el terreno del lenguaje por señas esté en condiciones de transmitir el lenguaje gestual a otras generaciones.

En el supuesto de que esta comunicación sea esencial para la supervivencia de la especie, existen ya algunos indicios de que los simios transmiten información extragenética o cultural. Jane Goodall tuvo ocasión de comprobar que las crías de chimpancé nacidas en la selva emulan el comportamiento de sus madres y aprenden la tarea no exenta de complejidad de encontrar una ramita o brizna apropiada para hurgar en el interior de los nidos de termitas y procurarse un bocado que consideran de lo más apetitoso.

Se han observado diferencias en la conducta de grupo —que nos sentimos fuertemente tentados a llamar diferencias culturales— entre chimpancés, babuinos, macacos y muchos otros primates. Así, por ejemplo, puede ocurrir que un grupo de monos sepa cómo comer los huevos que depositan las aves, en tanto que un grupo o comunidad que habita en las proximidades desconoce la manera de hacerlo. Este género de primates tiene un repertorio de unas cuantas docenas de sonidos o gritos que facilitan la comunicación entre los miembros del grupo. Así, uno de ellos tiene a buen seguro el significado de: «Huid, que viene un depredador». Pero el timbre y tono de los sonidos puede variar de un grupo a otro; existen, por decirlo de algún modo, acentos regionales.

Pero el experimento más curioso fue el que por vía accidental llevaron a cabo un grupo de científicos japoneses especialistas en el estudio de los primates que trataban de solucionar el exceso demográfico y el problema del hambre en una comunidad de macacos de una isla situada al sur del Japón. Los antropólogos en cuestión arrojaron granos de trigo en una playa arenosa. Piense el lector en lo difícil que resulta separar uno por uno los granos de cereal de los granos de arena, hasta el punto de que la tentativa podría requerir un consumo de energía mayor de la que podría procurar comer el trigo así esparcido. Sin embargo, una talentosa macaco hembra llamada Imo, bien por casualidad bien por despecho, arrojó puñados de arena y trigo mezclados al mar. Ahora bien, la arena se hunde mientras que el cereal flota, circunstancia de la que Imo se apercibió plenamente. Con tan singular proceso de cribado logró dar satisfacción a su estómago aunque, eso sí, a base de comer trigo reblandecido por el agua. Los macacos de más edad siguieron hurgando por su cuenta, ignorando el hallazgo del macaco hembra, pero los especímenes más jóvenes parecieron comprender la gran importancia del descubrimiento y siguieron el ejemplo de Imo. A la siguiente generación, la práctica se hallaba ya más extendida, y en la actualidad, los macacos que pueblan la isla utilizan este método de cerner el cereal, constituyendo con ello un ejemplo de tradición cultural entre los monos.

Una serie de investigaciones realizadas tiempo antes en el Taka-sakiyama, una montaña del sector noreste de Kyushu habitada por macacos, arrojaron una muestra similar de progreso cultural. Los visitantes arrojaban a los monos caramelos envueltos en papel, costumbre muy extendida en los zoológicos japoneses, pero que los macacos del monte Takasakiyama desconocían. En el curso del pasatiempo, algunos monos jóvenes aprendieron a desenvolver los caramelos y a comerlos, costumbre que fue transmitida sucesivamente a sus compañeros de juego, a las madres, a los machos dominantes (que en las comunidades de macacos hacen las veces de «niñeras» de las crías) y, por último, a los monos jerárquica mente inferiores, que son los que socialmente se hallan más distantes de las crías. El proceso de culturalización requirió más de tres años, y es que en las comunidades naturales de primates, las formas de comunicación no verbal en uso son tan variadas que apenas existe incentivo para elaborar un lenguaje gestual más perfeccionado. Con todo, si el chimpancé necesitara de él para sobrevivir, no cabe duda alguna de que sería transmitido de generación en generación.

En el supuesto de que los chimpancés incapaces de comunicarse tuvieran que morir o no pudiesen reproducirse, estoy convencido de que asistiríamos a un progreso y a una elaboración notables, en lo que al lenguaje se refiere, en el lapso de sólo unas pocas generaciones. El inglés básico se compone de unos mil vocablos. Muchos chimpancés dominan un repertorio lexicográfico que pasa del 10 por 100 de esta cifra. Aun cuando hace unos cuantos años habría

parecido un tema de ciencia-ficción sin conexión alguna con sucesos reales, no considero improbable que a la vuelta de unas pocas generaciones de chimpancés en posesión de este acervo lingüístico se den a conocer las memorias de la historia natural y la vida mental de un chimpancé publicadas en inglés o en japonés, quizás con la mención «según el testimonio de» a renglón seguido del nombre del autor.

Si los chimpancés son criaturas que tienen conciencia de sus actos, capaces de realizar abstracciones, ¿por qué no poseen lo que hasta hoy se ha dado en llamar un estatuto de los «derechos humanos»? ¿Qué grado de inteligencia ha de alcanzar un chimpancé para que su muerte se catalogue jurídicamente como un asesinato? ¿Qué otros rasgos debe incorporar para que los misioneros religiosos le consideren apto para ser objeto de catequización?

No hace mucho, el director de un importante centro de investigación sobre primates me mostró las dependencias del recinto. Enfilamos un corredor larguísimo en el que, al modo de un dibujo en perspectiva, veíanse alineadas una tras otra, hasta donde alcanzaba la vista, múltiples jaulas de chimpancés. Había uno, dos, y hasta tres en cada compartimento, y no me cabe la menor duda de que las instalaciones eran modélicas atendiendo a lo que son estos centros, (o, en relación con el caso propuesto, los clásicos zoológicos). Nos acercábamos a la primera de la serie de jaulas cuando los dos simios que la ocupaban empezaron a enseñar los dientes y con una puntería increíble lanzaban grandes escupitajos que alcanzaron de lleno el liviano traje de verano que vestía el director del centro. A continuación prorrumpieron en chillidos entrecortados que resonaron hasta el otro extremo del pasillo y que fueron repetidos y amplificados por otros animales enjaulados que ni siquiera nos habían visto, hasta que el estrecho pasadizo trepidó literalmente con los gritos, golpeteo de barrotes y sacudidas de las jaulas. El director me dijo que en esas ocasiones los chimpancés suelen arrojar otras cosas además de escupitajos y a instancias suyas emprendimos inmediatamente la retirada.

El suceso me trajo en seguida a la memoria las películas norteamericanas de los años treinta y cuarenta cuya acción discurría en una vasta y deshumanizada penitenciaría estatal o federal, donde los reclusos golpeaban los barrotes de las celdas con las marmitas cuando aparecía el guardián que desempeñaba el papel de sujeto sin entrañas. Los chimpancés en cuestión gozaban de excelente salud y estaban bien alimentados. Si son «solamente» animales, bestias incapaces de razonar en abstracto, entonces puede que mi comparación no sea más que un acceso de simpleza y sentimentalismo vacío. Pero lo cierto es que los chimpancés *pueden* abstraer y, al igual que otros mamíferos, son capaces de experimentar emociones intensas. Es indiscutible que no han cometido delito alguno. No presumo de tener la respuesta, pero estimo sinceramente que vale la pena plantear la cuestión y preguntar por qué en prácticamente todas las ciudades importantes del mundo se mete a los simios entre rejas.

A la luz de nuestros actuales conocimientos, el apareamiento eventual de un hombre con un chimpancé es perfectamente plausible.

Hasta hace muy poco se consideraba que una sola célula somática ordinaria del hombre contenía cuarenta y ocho cromosomas. Ahora sabemos que el número exacto es cuarenta y seis. En cuanto a los chimpancés, parece que tienen, efectivamente, cuarenta y ocho cromosomas, en cuyo caso sería inviable o raro por todos los conceptos el cruce de un hombre con un chimpancé.

Sin duda el hecho se habrá dado poquísimas veces, por lo menos modernamente. Uno no puede por menos que preguntarse cuál sería el estatuto legal de la prole fruto de una unión de este género. En mi opinión, las facultades cognitivas de los chimpancés nos obligan a interrogarnos sobre los verdaderos límites de la comunidad de seres a quienes debemos especiales consideraciones éticas. Espero, además, que su estudio puede contribuir a ensanchar nuestras perspectivas éticas y hacernos tomar en consideración, por vía descendente, a los grupos taxonómicos que pueblan la Tierra, y en línea ascendente, a los organismos extraterrestres, en el supuesto de que existan.

Resulta difícil calibrar el impacto emocional que supone para un chimpancé el aprendizaje de una lengua. Tal vez la mejor manera de averiguarlo sea analizar la reacción de un ser humano inteligente afectado por graves carencias sensoriales que experimentó en propia carne el hallazgo del lenguaje. Aun cuando Helen Keller, invidente y sordomuda, poseía una percepción, inteligencia y sensibilidad muy superiores a los de cualquier chimpancé, su testimonio conlleva en parte el tono emocional que este notable desarrollo en los modos de expresión de los primates puede producir en el chimpancé, sobre todo en un medio en que la posibilidad de comunicarse determina o refuerza considerablemente la supervivencia.

Un día, la instructora de la señorita Keller se dispuso a salir de paseo con su pupila. He aquí el relato de la paciente:

... me trajo el sombrero, y por ello supe que iba a salir a la cálida luz del sol. Este pensamiento, si es que una sensación muda puede llamarse así, me hizo saltar de alegría.

Bajamos caminando por el sendero que conducía a la caseta del pozo de la casa, atraídas por la fragancia de la madreselva que la cubría. Alguien estaba bombeando agua, y mi instructora me colocó la mano bajo el chorro. Mientras el fresco líquido se derramaba por mi mano, ella me tomó la otra y deletreó allí la palabra *agua*, primero lentamente y después con viveza. Permanecí inmóvil, con centrando la mente en el movimiento de sus dedos. De repente me asaltó como una vaga conciencia de algo olvidado..., la excitación de un pensamiento recobrado, y sin saber muy bien cómo me fue revelado el misterio del lenguaje. Supe entonces que A-G-U-A correspondía al maravilloso frescor que yo sentía resbalar por mi mano. Aquella palabra viva despertó mi alma, le infundió esperanza, la llenó de luz y de alborozo, ¡la liberó! Ciertamente que todavía quedaban obstáculos que salvar, pero eran obstáculos que andando el tiempo podía vencer sin dificultad.

Me alejé del pozo con un deseo enorme de aprender. Ahora todo tenía un nombre, y cada nombre alumbraba

otra idea. De regreso a la casa todos los objetos que palpaba parecían estremecerse llenos de vida. La causa de ello estaba en que ahora lo veía todo con la extraña y súbita visión que me había poseído.

Tal vez el aspecto más sobresaliente de estos tres hermosísimos párrafos sea la sensación que invadió a Helen Keller de que su mente tenía una aptitud latente para asimilar el lenguaje y que lo único que necesitaba era que se le enseñase el camino para acceder a él. Esta idea esencialmente platónica es compatible, como ya hemos visto, con los conocimientos que nos han deparado las lesiones del cerebro acerca de la fisiología del neocórtex, y también con las conclusiones teóricas deducidas por Noam Chomsky, del Instituto Tecnológico de Massachusetts, de la lingüística comparada y de los experimentos de laboratorio sobre procesos de aprendizaje. En el lapso de estos últimos años, se ha puesto de relieve que también el cerebro de los primates está preparado aunque probablemente no en el mismo grado, para este acceso a la expresión de las ideas mediante el lenguaje.

Resulta muy difícil sobrestimar los efectos que puede tener a la larga la enseñanza del lenguaje a los restantes primates. En el *Origen del hombre*, de Charles Darwin, hallamos un pasaje interesantísimo que dice textualmente: «La diferencia entre el intelecto humano y el de los animales superiores, con ser grande, es básicamente de grado y no de especie ... Si pudiera demostrarse que determinadas funciones mentales de orden superior, como la formación de conceptos generales, la capacidad introspectiva, etcétera, son exclusivas del hombre, cosa que me parece muy dudosa, no es improbable que tales facultades se nos mostraran como simple resultado accesorio de otras cualidades intelectuales superiores que, a su vez, son en buena medida consecuencia del uso continuado de una lengua perfecta».

En el relato del Génesis sobre la Torre de Babel hallamos, también, un insólito reconocimiento de los extraordinarios poderes del lenguaje y de la intercomunicación entre los hombres. Recordemos que Dios, en lo que se nos antoja una extraña actitud de defensa inconcebible en un ser omnipotente, está preocupado ante la perspectiva de que los hombres erijan una torre que llegue hasta el cielo. (Desazón similar a la que expresa después de que Adán haya comido la manzana del árbol prohibido.) Para impedir —en sentido metafórico— que el hombre llegue al cielo, Dios no opta por destruir la torre, como hiciera, pongamos por caso, con la ciudad de Sodoma, sino que dice: «¡Mirad! Forman una sola comunidad puesto que usan una misma lengua; y esto es sólo el principio de lo que pretenden hacer. Nada les impedirá llevar a cabo cuanto se propongan. Venid, descendamos pues y confundamos su lengua, de modo que no se entiendan unos a otros» (Génesis: 11,6-7).

El uso continuado de una lengua «perfecta»... ¿Qué forma de cultura, qué clase de tradición oral podrían establecer los chimpancés tras centenares o millares de años de uso comuna! de un complejo lenguaje gestual? Y en el supuesto de que existiese esta comunidad aislada e ininterrumpida de chimpancés, ¿cómo interpretarían el origen del lenguaje? ¿Acaso los Gardner y los investigadores del Centro de Primates de Yerkes serían oscuramente recordados como legendarios héroes populares o dioses de otra especie? ¿Existirían mitos, como los de Prometeo, Thot u Oannes, sobre unas criaturas divinas que otorgaron a los simios el don de la lengua? A decir verdad, la instrucción de los chimpancés en el plano del lenguaje gestual posee claramente las mismas connotaciones emotivas y sentido religioso que la secuencia (totalmente ficticia) de la película y de la novela *2001, una Odisea del espacio*, en la que el representante de una avanzada civilización extraterrestre instruye en cierta manera a nuestros antecesores homínidos.

Pero quizá el aspecto más singular de la cuestión sea el hecho de que, aparte del hombre, haya primates tan próximos al entorno del lenguaje, tan afanosos por aprender, tan asombrosamente facultados en lo que toca a su empleo y tan imaginativos una vez han aprendido a expresarse. Sin embargo, esta apreciación suscita una interesante pregunta: ¿Por qué están en el entorno, en la periferia del lenguaje? ¿Por qué no encontramos primates, dejando de lado al hombre, que estén ya en posesión de un perfeccionado lenguaje gestual? En mi opinión, una posible respuesta sería la de que el hombre ha exterminado de manera sistemática a los demás primates que mostraban signos de inteligencia. (Hipótesis especialmente aplicable al caso de los primates que habitaban en el llano porque es de suponer que la selva ofrecería a gorilas y chimpancés relativa protección contra las depredaciones del hombre.) Es posible que hayamos actuado como instrumento de la selección natural suprimiendo toda competencia en el plano intelectual y que hayamos hecho retroceder los límites de la inteligencia y las facultades lingüísticas entre los primates distintos del hombre hasta el punto de que parezcan inexistentes. En consecuencia, enseñar a los chimpancés a expresarse por gestos equivale a intentar poner tardío remedio a los atropellos cometidos por nuestra especie.

Relatos del oscuro paraíso

Viejísimos somos los hombres, nuestros sueños son relatos narrados en un Edén de mortecina luz.

WALTER DE LA MARE, «All That's Past»

—¡Vaya! —exclamó, al tiempo que avanzaba buscando la sombra de los árboles—. A fin de cuentas es un gran alivio con tanto calor como hace poder refugiarse en el..., en el... ¿En *quel* —prosiguió, un tanto aturdida al no venirle a la mente la palabra justa—. Quiero decir eso de poder refugiarse bajo el... bajo el, ¡bajo *esto*, córcholis! —y puso la mano sobre el tronco de un árbol—. Me gustaría saber cómo *se llama*. Pero, vamos a ver, ¿quién soy yo? *Tengo* que acordarme, ¡pues no faltaría más! ¡Estoy resuelta a que así sea! —Pero estar decidida no le sirvió de gran cosa y después de mucho darle vueltas sólo acertó a decir: —¡Una ele, *se* que empieza por ele!

LEWIS CARROLL,
Alicia a través del espejo

No te interpongas entre el dragón y su furia.

W. SHAKESPEARE, *El rey Lear*

... Primeramente, siendo irracionales como las bestias, di a los hombres juicio, les proveí de una mente ... En un principio, teniendo ojos, veían defectuosamente y pudiendo oír, no prestaban oído, sino que se agolpaban como fantasmas en sueños, al indeciso relato de su pasado confuso.

ESQUILO, *Prometeo encadenado*

Prometeo está poseído de justa indignación. Después de haber llevado la civilización a una humanidad confusa y llena de supersticiones, Zeus le castiga encadenándole a una roca y haciendo que un águila le coma las entrañas. En el pasaje que sigue a la cita que encabeza esta página, Prometeo menciona las principales cosas que, a parte del fuego, ha enseñado al hombre. Son, por ese orden, la astronomía; las matemáticas; la escritura; la domesticación de animales; la invención de los carros, la navegación y la medicina, así como las artes adivinatorias mediante la interpretación de los sueños y otros métodos. Esta última enseñanza suena un tanto extraña a los oídos del hombre moderno. Junto con el relato del Génesis sobre la expulsión del paraíso, *Prometeo encadenado* parece erigirse en una de las obras capitales de la literatura de Occidente que contiene una alegoría plausible acerca de la evolución del hombre, si bien en lo que a este aspecto se refiere, se concentra más en el inspirador de la evolución que en el ser evolucionado. En griego Prometeo significa «previsión», cualidad que algunos piensan se halla localizada en los lóbulos frontales del neocórtex. Tanto la presciencia como la ansiedad están presentes en el retrato del personaje de Esquilo.

¿Qué conexión existe entre los sueños y la evolución del hombre? Esquilo quizá está diciendo que nuestros antepasados prehumanos vivían durante el día en un estado similar al de nuestro sueño nocturno y que una de las ventajas principales que comporta la expansión del intelecto humano es la facultad que nos confiere de interpretar la verdadera naturaleza e importancia de los sueños.

A lo que parece el ser humano conoce tres estados mentales de importancia: el estado de vigilia, de descanso y de ensoñación.

Durante cada uno de estos tres estados, el electroencefalógrafo, aparato que detecta las ondas cerebrales, registra cuadros de actividad eléctrica muy diferentes. Las ondas cerebrales representan pequeñísimas corrientes y voltajes producidos por el sistema de circuitos eléctricos del cerebro. La potencia media de las señales que emiten las ondas cerebrales se mide en microvoltios. Las frecuencias normales oscilan entre 1 y alrededor de 20 hertzios (o ciclos por segundo), es decir, son inferiores a la frecuencia normal de 60 ciclos por segundo que poseen las corrientes alternas de las tomas de enchufe en Norteamérica.

El electroencefalógrafo se debe a la inventiva del psicólogo alemán Hans Berger, quien al parecer trabajó en ello movido por su interés hacia los fenómenos telepáticos. El cerebro del ser humano emite determinadas ondas —por ejemplo, el ritmo alfa— que genera o suprime a voluntad, aunque para ello precisa un poco de entrenamiento. Una vez adiestrado, un sujeto conectado a un electroencefalógrafo y a un transmisor de radio podría, en principio, enviar mensajes bastante complejos en una especie de código Morse de las ondas alfa. Le bastaría simplemente con evocarlos mentalmente en debida forma. Podría ser que dicho método de transmisión tuviera aplicaciones prácticas, como, por ejemplo, la de permitir comunicarse con un paciente inmovilizado por una grave apoplejía. Por razones de tipo histórico, el sueño carente de ensoñaciones se caracteriza, desde el punto de vista del electro, como «sueño de onda lenta», y el estado de ensoñación como «sueño paradjico».

Pero veamos qué beneficios se derivan del sueño. Es indudable que si permanecemos en pie, despiertos, más tiempo de la cuenta, el cuerpo genera sustancias neuroquímicas que nos fuerzan al descanso. Los animales a los que no se permite dormir generan estas moléculas en su fluido cerebroespinal, fluido que al ser inyectado en otros animales completamente despiertos provoca somnolencia de inmediato. Así pues, forzosamente tiene que haber una poderosísima razón que justifique el sueño.

La respuesta convencional tanto de la fisiología como de la curandería, es que el sueño tiene un efecto reparador y que es una oportunidad que se concede al organismo para hacer limpieza física y mental sin los agobios de la vida cotidiana. Sin embargo, aparte de la aparente credibilidad que dimana del sentido común, las pruebas a favor de esta teoría son escasas. Además, hay en este aserto algunos aspectos contradictorios. Por ejemplo, mientras duerme, un animal es excepcionalmente vulnerable. Aceptemos que son muchos los animales que descansan en nidos, cuevas, oquedades en los troncos de árboles o cualesquiera otros recónditos y encubiertos escondrijos, pero aun así siguen estando en gran medida impotentes mientras duermen. Es evidéntísimo que por la noche somos muy vulnerables. Los griegos reconocieron a Morfeo y a Tanatos, dioses del sueño y de la muerte, como hermanos.

A menos que exista una manifiesta necesidad biológica del sueño, la selección natural habría cuidado de que aparecieran especies animales no necesitadas del reposo nocturno. En tanto que algunos animales como el perezoso de dos pies, el armadillo, la zarigüeya y el murciélago duermen diecinueve y veinte horas diarias, por lo menos en los periodos estacionales de torpor e hibernación, otros, como la musaraña común y la marsopa, duermen muy poco. También hay seres humanos que necesitan no más de tres o cuatro horas diarias de sueño. Trabajan en dos y tres empleos, por la noche se pasean o entretienen en fruslerías mientras la esposa duerme rendida de cansancio, y fuera de eso llevan una vida normal, activa y constructiva. Los antecedentes familiares indican que se trata de rasgos o disposiciones hereditarios. Sé de un caso en que el padre de familia y su hijita experimentaban el beneficio o contratiempo, según se mire, de la ausencia de sueño, con gran irritación por parte de la esposa, que ha terminado por divorciarse alegando lo que sin duda constituye una original incompatibilidad. A él le fue encomendada la custodia de la niña. Los ejemplos de este género vienen a demostrar que la hipótesis de la función regeneradora del sueño no es, en el mejor de los casos, suficientemente explicativa.

Y, sin embargo, el descanso a través del sueño se remonta a un pasado lejano. Contemplándolo desde el prisma electroencefalográfico, es patrimonio de todos los primates y de casi todos los demás mamíferos y aves; hasta puede que afecte a los reptiles. En determinados individuos, la estimulación eléctrica espontánea de la amígdala con frecuencia de pocos ciclos por segundo (equivalentes a un reducido número de hertzios) puede provocar epilepsia del lóbulo temporal y un estado de comportamiento automático inconsciente. Se han divulgado casos de ataques, no muy distintos del sueño, mientras un individuo epiléptico conducía su automóvil de madrugada o a la hora crepuscular y entre el conductor y el sol se interponía una cerca o vallado de estacas puntiagudas.

Gráficas características del electroencefalograma de un individuo normal en esta do de vigilia, dormido y soñando.

En efecto, a determinada velocidad, las estacas interceptan los rayos solares justo en la proporción crítica generadora de una oscilación luminosa en frecuencia resonante que desencadena dichos accesos. Se sabe positivamente que el ritmo circadiano —modificaciones rítmicas en las funciones fisiológicas que se producen con una periodicidad de veinticuatro horas— afecta incluso a especies tan insignificantes como los moluscos. Dado que, como veremos, mediante estimulación eléctrica de otras regiones límbicas en la base del lóbulo temporal, es posible inducir un estado que en algunos aspectos se asemeja al de ensoñación, parece obligado deducir que los centros que regulan el descanso nocturno y los sueños no pueden hallarse en puntos muy distantes de los recovecos cerebrales.

Últimamente se han obtenido indicios de que las dos clases de reposo nocturno, o sea, con sueños o sin ellos, dependen de la forma de vida propia de cada especie. Truett Allison y Domenic Cicchetti, de la Universidad de Yale, han señalado que desde un punto de vista estadístico es mucho más probable que sueñen los depredadores que no sus víctimas, las cuales tienen, a la inversa, muchas más probabilidades de dormir sin experimentar sueño alguno. Estos estudios se centran exclusivamente en los mamíferos y sólo son válidos cuando se trata de poner de manifiesto las diferencias entre especies, no entre individuos de una misma especie. El animal que duerme y sueña está poderosamente inmovilizado y, detalle significativo, no responde a los estímulos externos. El reposo sin sueños es mucho menos profundo; todos hemos podido comprobar cómo los gatos y perros enderezan las orejas y aguzan el oído al captar un ruido, cuando en apariencia están profundamente dormidos. Otra convicción generalizada es la de que si un perro dormido contrae las patas como si estuviera corriendo, está soñando en una cacería. El hecho de que hoy en día

las presas no lleguen a dormir con sueño profundo parece atribuible a la selección natural. Sin embargo, nada impide que organismos hoy constreñidos en buena parte a jugar el papel de presa tuvieran antepasados depredadores, y a la inversa. Además, por regla general los depredadores presentan una mayor masa cerebral, en términos absolutos, y una mayor razón de proporcionalidad entre dicha masa y su peso corporal que la que ofrecen sus presas. Habida cuenta de las incidencias evolutivas que ha experimentado el sueño, actualmente aceptamos sin vacilaciones la idea de que los animales inferiores duermen menos profundamente y están por ello más libres de movimientos que los de orden superior. Pero ¿por qué este sueño tan profundo? ¿Qué motivó la aparición de ese estado de profunda inmovilización?

Tal vez un indicio revelador de la función que primitivamente desempeñaba el sueño radica en el hecho de que los delfines y las ballenas, así como los mamíferos acuáticos en general, parece que duermen muy poco. Generalizando, cabe decir que en el océano no hay lugar donde esconderse. En tal caso, ¿no podría ser que el sueño, en vez de aumentar la vulnerabilidad del animal, la redujese? Wilse Webb, de la Universidad de Florida, y Ray Meddis, de la Universidad de Londres, así lo han afirmado. Las pautas que exhibe cada especie animal en lo que al sueño se refiere se acoplan maravillosamente al medio ecológico en el que se desenvuelve su vida. Así pues, resulta concebible que los animales demasiado obtusos para permanecer quietos por propia iniciativa se vean inmovilizados por el sueño durante los periodos en que les acechan graves riesgos. Esta consideración nos parece especialmente aplicable a las crías de los depredadores. Así, los cachorros de tigre, además de tener una coloración que los protege con suma eficacia, duermen también muchísimo.

Un nido con huevos de *Protoceratops*, del periodo cretáceo, hallado en la República Popular de Mongolia.

La idea ofrece interés y seguramente hay en ella parte de verdad, si bien no lo explica todo. ¿Qué necesidad tienen los leones de dormir si apenas cuentan con enemigos naturales? La pregunta no encierra una objeción demoledora, pues quizá los leones evolucionaran a partir de otras especies que no tenían el mismo papel dominante que hoy les corresponde. Asimismo, los gorilas adolescentes, que tampoco tienen gran cosa que temer, se construyen todas las noches un cobijo en los árboles, tal vez porque sus antecesores eran más vulnerables. También entra en lo posible que los ascendientes de leones y gorilas temieran las acechanzas de depredadores más feroces que ellos mismos.

La hipótesis de la inmovilización parece singularmente válida cuando se toma en cuenta la evolución de los mamíferos, que aparecieron en un periodo en el que prevalecían sibilantes, descomunales y terroríficos reptiles. Sin embargo, casi todos los reptiles son animales de sangre fría y, salvo en los trópicos, al caer la noche se ven constreñidos a una absoluta inmovilidad.

Robert Bakker, paleontólogo de la Universidad de Harvard, sugiere que por lo menos algunos dinosaurios eran notoriamente animales de sangre caliente. Aun así, es muy probable que no fueran tan insensibles como los mamíferos al cambio de la temperatura diurna y que por la noche redujeran sustancialmente el ritmo de actividad.

En cambio, los mamíferos, por ser de sangre caliente, se desenvuelven bien en la oscuridad nocturna. Es muy posible que durante el periodo triásico, hará cosa de doscientos millones de años, las oscuras zonas ecológicas no tropicales estuviesen prácticamente desocupadas. Harry Jerison ha manifestado que con la aparición de los mamíferos, el oído y el olfato —sentidos que permiten adivinar distancias y objetos durante la noche— se potenciaron hasta extremos que entonces parecían inauditos y que hoy se nos antojan normales. Por otra parte, Jerison considera que el sistema límbico fue fruto de la necesidad de procesar el rico acopio de datos suministrado por estos sentidos notablemente perfeccionados. (Buena parte del tratamiento de la información visual de los reptiles opera en la retina, no en el cerebro; el mecanismo de procesamiento óptico del neocórtex fue en gran parte un fenómeno evolutivo posterior.)

Es posible que los primeros mamíferos tuvieran vital necesidad de permanecer alejados y ocultos durante el día, mientras los reptiles depredadores campaban a su antojo. Con ello trato de evocar una escena de la última etapa del mesozoico en el que los mamíferos dormían a intervalos durante el día y los reptiles hacían lo propio durante la noche, momento en que hasta los más inermes protomamíferos carnívoros podían suponer una amenaza real para los adormilados reptiles de sangre fría, y muy en especial para sus nidadas.

A juzgar por el volumen endocraneal (véase la figura de la página 44), los dinosaurios eran, comparados con los mamíferos, singularmente lerdos. Para tomar algunos ejemplos «bien conocidos» digamos que el *Tyrannosaurus rex* poseía un volumen cerebral de unos 200 cm³; el *Brachiosaurus*, 150 cm³; el *Triceratops*, 70 cm³; el *Diplodocus*, 50 cm³, y el *Stegosaurus*, 30 cm³. Ninguno de ellos se aproximaba a la masa cerebral absoluta del chimpancé. El *Stegosaurus* que pesaba dos toneladas, era probablemente mucho más obtuso que un conejo. Cuando uno piensa en el formidable peso de los dinosaurios, aún sorprende más la pequeñez de su cerebro. El *Tyrannosaurus* pesaba 8 toneladas; el *Diplodocus*, 12, y el *Brachiosaurus* 87. En este último, la proporción masa cerebral/peso del cuerpo era diez mil veces más pequeña que la del hombre. De la misma forma que los tiburones son los peces dotados de un cerebro más grande en relación con el peso del cuerpo, los dinosaurios carnívoros como el *Tyrannosaurus* tenían un cerebro proporcionalmente más grande que otros de tipo herbívoro, como el *Diplodocus* y el *Brachiosaurus*. No me cabe duda de que el *Tyrannosaurus* era una eficiente y terrorífica máquina de matar. Sin embargo, y a pesar de su pavorosa apariencia, los dinosaurios se nos antojan vulnerables ante adversarios pertinaces e inteligentes como los

primeros mamíferos.

Crías de *Protoceratops* saliendo del cascarón (reconstrucción).

La escena mesozoica que antes nos representábamos tiene curiosas resonancias de vampirismo: durante el día eran los reptiles carnívoros los que cazaban a los inteligentes y alertargados mamíferos, mientras que por la noche eran los mamíferos carnívoros los que hacían presa en los torpes y obtusos reptiles. Si bien éstos enterraban los huevos que depositaban sus hembras, no es probable que asumieran la defensa activa de las nidadas ni de las crías. Existen pocos ejemplos de este comportamiento, incluso entre los reptiles de nuestros días, por lo que resulta difícil imaginarse a un *Tyrannosaurus rex* incubando sus huevos.

Dibujo de un *Sauromithoides*, pequeño e inteligente dinosaurio, en el momento de atrapar a un mamífero. Se han encontrado vestigios de estos animales en Canadá y en la República Popular de Mongolia pertenecientes al periodo cretáceo.

Todo ello nos induce a suponer que los mamíferos ganaron la vital contienda de los vampiros; al menos algunos paleontólogos creen que la extinción de los dinosaurios se aceleró debido a las predaciones nocturnas de los primeros mamíferos en las que engullían los huevos de los reptiles. Dos huevos de gallina para desayunar puede ser todo lo que resta —al menos en apariencia— de esta remotísima cocina de los mamíferos.

De hecho, puede afirmarse casi con certeza que las aves son los principales descendientes vivos de los dinosaurios.

Atendiendo al criterio de la proporción entre masa cerebral y masa corpórea, los más inteligentes de los dinosaurios son los *Sauromithoides*, que por regla general poseen una masa cerebral de unos 50 gramos frente a los aproximadamente 50 kilogramos de peso corporal, proporción que los sitúa próximos al avestruz en el diagrama de la página 46. Ciertamente guardan un parecido con esta ave corredora. Sería muy revelador examinar los moldes endocraneales de sus fósiles. Probablemente se alimentaban de pequeños animales y utilizaban los cuatro dedos de sus apéndices, parecidos a las manos, para múltiples tareas. (Véase la ilustración de la página anterior.)

Resulta interesante especular sobre estos animales. En el supuesto de que los dinosaurios no se hubiesen extinguido misteriosamente hace alrededor de sesenta y cinco millones de años, ¿habría el *Sauromithoides* continuado su progreso hacia formas cada vez más inteligentes? ¿Habría aprendido a cazar en grupo a los grandes mamíferos impidiendo con ello la gran proliferación de esta clase animal que siguió al término de la era mesozoica? De no haber sido por la extinción de los dinosaurios, ¿serían las formas hoy dominantes en la Tierra descendientes de los *Sauromithoides*, autores y lectores de libros, entregados a reflexiones acerca del rumbo que habrían tomado las cosas si los mamíferos hubiesen ganado la batalla? ¿Pensarían las formas dominantes que la base aritmética 8 era lo normal y que la base 10 era un ringorrango exclusivo de la «nueva matemática»?

Una porción considerable de lo que consideramos sucesos importantes acaecidos durante las últimas decenas de millones de años de la historia de la Tierra parece estar supeditado a la extinción de los dinosaurios. Puede decirse que se han avanzado docenas de hipótesis científicas para explicar este hecho, que parece haberse producido con inusitada rapidez y eficacia, tanto en lo que respecta a las formas terrestres como a las acuáticas. Las explicaciones propuestas sólo parecen parcialmente satisfactorias, y van desde los cambios climáticos brutales hasta la extinción de una planta que por lo visto tenía propiedades laxantes, en cuyo caso los dinosaurios murieron víctimas de estreñimiento.

Una de las más interesantes y fundamentadas hipótesis, formulada por vez primera por I. S. Shklovskii, del Instituto de Investigación Cósmica de la Academia de Ciencias de Moscú, es la de que los dinosaurios murieron a causa de la explosión de una supernova próxima. El estallido de esta estrella moribunda, situada a unas decenas de años luz, ocasionaría un inmenso flujo de partículas cargadas con alta energía que penetró en nuestra atmósfera, alteró sus propiedades y tal vez destruyó la capa de ozono atmosférico, permitiendo la filtración de cantidades mortíferas de rayos ultravioleta. Es posible que los animales noctámbulos, como los mamíferos de aquella época, o los animales que vivían en el fondo de las aguas, como los peces, sobrevivieran a esta fantástica radiación de ultravioletas de gran potencial energético. Pero los animales que merodeaban a la luz del día y que vivían en la tierra o en la superficie de las aguas, sufrirían más que ningún otro las consecuencias de la dañina filtración. Esta catástrofe recibiría una denominación apropiada: el término en sí pasaría a significar «mala estrella».

Suponiendo que esta concatenación de hechos sea exacta, el flujo principal de la evolución biológica en el planeta Tierra durante los últimos sesenta y cinco millones de años, y, ni que decir tiene, la existencia misma del ser humano, es resultado de la extinción de un distante sol. Tal vez otros planetas giraban en su órbita y quizás uno de ellos conoció una rica eclosión de formas biológicas evolucionadas penosamente a lo largo de miles de millones de años. No cabe duda de que la explosión de la supernova hubiese extinguido todo vestigio de vida en este planeta y hasta, probablemente, diluido su atmósfera en el espacio. ¿Debemos nuestra existencia a una sobrecogedora catástrofe estelar que por otra parte, destruyó mundos y biosferas?

Reconstrucción de un paisaje del cretáceo en una región pantanosa del sector occidental de Canadá. La mayor parte de los dinosaurios representados en la ilustración son bípedos y herbívoros. Por lo que sabemos, todas estas formas se extinguieron al cabo de poco tiempo.

Después de la extinción de los dinosaurios, los mamíferos se desplazaron a zonas ecológicas con predominio de la luz diurna. Seguramente, el miedo que el primate tiene a la oscuridad es un hecho relativamente moderno. Washburn sostiene que las crías de los babuinos y otros primates jóvenes sólo albergan tres temores congénitos: el miedo a las caídas, a las serpientes y a la oscuridad, que corresponden respectivamente a los peligros, que suponían para los moradores de los árboles la gravitación newtoniana, los reptiles, adversarios perpetuos del hombre y, en fin, los mamíferos depredadores nocturnos, que debieron infundir considerable terror a los primates, guiados básicamente por el sentido de la vista. Si la hipótesis vampírica es cierta —y las probabilidades de que lo sea son muchas— la función del sueño está profundamente impresa en el cerebro de los mamíferos. Desde la época en que apareció esta clase de animales, el sueño fue un factor decisivo de cara a la supervivencia. Teniendo en cuenta que para los primeros mamíferos las noches insomnes hubieran entrañado más peligro para la supervivencia de sus grupos taxonómicos que las noches sin relación sexual, es indudable que el sueño constituyó un impulso más fuerte que el sexo, como parece ser el caso, también, en la mayoría de nosotros. Pero con el tiempo los mamíferos evolucionaron hasta el extremo de que el sueño se modificó a tenor de las nuevas circunstancias. Al extinguirse los dinosaurios, la luz diurna se convirtió súbitamente en un medio benévolo para los mamíferos. La inmovilización durante el día dejó de ser compulsiva, y lentamente fueron apareciendo diversidad de comportamientos respecto al sueño, incluida la actual correlación entre la intensa ensoñación de los mamíferos depredadores y el adormilamiento alerta y carente de sueños de las presas. Es posible, incluso, que las personas a las que bastan unas pocas horas de sueño sean los precursores de una nueva adaptación humana destinada a obtener el máximo partido de las veinticuatro horas del día. El autor, sinceramente, confiesa su envidia ante una adaptación de este género.

Estas conjeturas sobre los orígenes de los mamíferos constituyen una especie de mito científico. Quizás haya en ellas un atisbo de verdad, pero es poco probable que ofrezcan una explicación completa. La circunstancia de que los mitos científicos entronquen con mitos más antiguos puede ser o no una simple coincidencia. Es muy posible que seamos capaces de inventar mitos científicos sólo porque anteriormente hemos estado expuestos a la influencia de mitos de la otra especie. Con todo, no resisto a la tentación de relacionar esta versión del origen de los mamíferos con otro curioso aspecto del mito sobre la expulsión del Paraíso contenido en el Génesis. Porque, ni que decir tiene, es precisamente un reptil el que ofrece a Adán y Eva el fruto del conocimiento del bien y del mal, es decir, las funciones abstractas y morales localizadas en el neocórtex.

En la actualidad quedan en la Tierra poquísimas especies de reptiles de gran tamaño. Las más curiosa es el dragón de Komodo, en Indonesia, reptil de sangre fría, no muy inteligente, pero un depredador de estremecedora pertinacia en la consecución de sus objetivos. Con suma paciencia acechará a un ciervo o a un verraco dormidos para, repentinamente, cercenarles un cuarto trasero y dejar que la víctima se desangre hasta morir. Rastrean la presa por el olor. El dragón que sale a la caza de presa avanza pesadamente, con pasitos cortos, la cabeza gacha y la lengua bifida cerca del suelo para detectar la presencia de sustancias químicas.

Varanus komodoensis, el dragón de Komodo (isla de Komodo, Indonesia).

Los adultos más corpulentos pesan unos 135 kilogramos, miden tres metros de largo y posiblemente viven más de cien años. Para proteger sus nidadas el dragón excava fosos de dos a nueve metros de profundidad, lo que probablemente constituye una defensa contra los mamíferos que se nutren de huevos de reptiles y contra ellos mismos, ya que se ha podido comprobar que en ocasiones los adultos acechan una nidada en espera de que las crías salgan del cascarón y poder engullir un apetitoso bocado. Las crías de los dragones moran en los árboles, lo que debe interpretarse como otra clara adaptación defensiva contra las incursiones de los depredadores. La singular meticulosidad de estas adaptaciones demuestra claramente que los dragones pasan por un trance difícil. El habitat del dragón de Komodo se reduce a las selvas de las pequeñas islas Sonda, y no quedan más que unos dos mil especímenes.

En 1891, E. Dubois halló en las islas de la Gran Sonda, y concretamente en Java, el primer fósil de *Homo erectus*, que presentaba un volumen endocraneal de casi 1.000 cm³.

La oscura reconditez de los lugares que habitan indica sin lugar a dudas que los dragones están en vía de extinción debido a la actividad depredadora de los mamíferos, en especial del hombre, conclusión deducida de los avatares que su existencia ha conocido a lo largo de los dos últimos siglos. Todos los especímenes con formas de adaptación menos perfectas o que habitaban en lugares más accesibles se han extinguido, incluso he llegado a preguntarme si la sistemática diferenciación de mamíferos y reptiles (véase la figura de la página 44) atendiendo a la proporción entre masa cerebral y corporal no será una consecuencia de la acción exterminadora de los mamíferos depredadores, que han ido dando muerte a los especímenes de dragones más inteligentes. En todo caso, es muy probable que la nutrida población de grandes reptiles haya venido disminuyendo desde el término de la era mesozoica y que hace tan solo mil o dos mil años había muchos más reptiles de gran tamaño de los que hay en la actualidad.

Seguramente no es un hecho casual que las leyendas populares de muy diversas culturas contengan alusiones míticas a los dragones.

Curiosamente, el primer cráneo representativo del «hombre de Pekín» —el *Homo erectus*, cuyos restos guardan estrecha relación con el uso del fuego— fue descubierto por Weng Chung Pei a finales de 1929 en la provincia china de Sinkiang, en un lugar conocido como la Montaña de los Dragones.

La implacable hostilidad entre el hombre y el dragón, como demuestra la leyenda de san Jorge, es más acentuada en Occidente. (En el capítulo 3 del Génesis, Dios dispone que haya perpetua enemistad entre los reptiles y el hombre.) De todos modos, no se trata de una simple peculiaridad de nuestro hemisferio; antes bien, el fenómeno tiene carácter universal. ¿Es una mera coincidencia que los sonidos onomatopéyicos que el hombre emite para reclamar silencio o llamar la atención tengan extraño parecido con el silbido de los reptiles? ¿Puede pensarse que los dragones llegasen a constituir un gravísimo peligro para nuestros antecesores protohumanos de hace unos cuantos millones de años, y que el terror que suscitaban, junto con las muertes que causaban, impulsaran la evolución del intelecto humano? ¿O debemos considerar, quizá, que la alegoría de la serpiente constituye una referencia a la utilización del componente reptílico agresivo y ritualista de nuestro cerebro en la posterior evolución del neocórtex? Salvo una excepción, el relato del Génesis acerca de la serpiente que tienta al hombre en el jardín del Paraíso es el único caso expuesto en la Biblia en que el ser humano acierta a comprender el lenguaje de los animales. ¿No es posible que el temor a los dragones fuera en realidad temor a una parte de nosotros mismos? Sea como fuere, sin la menor duda en el Paraíso había dragones.

San Jorge dando muerte al dragón, obra de Donatello (iglesia de Or San Michele, Florencia).

El fósil de dinosaurio más moderno se remonta a unos sesenta millones de años. Los antecesores del hombre (no, sin embargo, el género *Homo*) vivieron hace unos diez millones de años. ¿Es con cebible que criaturas antropoides llegaran a coexistir con el *Tyrannosaurus rexi*? ¿Es posible que hubiera dinosaurios que lograran escapar a la muerte a fines del periodo cretáceo? ¿Cabe pensar que los sueños pertinaces y el temor generalizado que sienten los niños hacia los «monstruos» tan pronto son capaces de hablar sean vestigios evolucionistas de respuestas sumamente adaptativas — al estilo de los babuinos— a la amenaza de los dragones y las aves nocturnas?

Después de haber escrito este pasaje descubrí que Darwin había expresado una idea similar. Decía concretamente: «¿No es lícito suponer que los vagos pero no por ello menos reales temores de los niños, que nada tienen que ver con la experiencia, sean resonancias heredadas de peligros reales y toscas supersticiones de la humanidad primitiva? Es bastante congruente con lo que sabemos acerca de la transmisión de rasgos antaño perfectamente desarrollados, que aparezcan en una fase temprana de la vida para luego desaparecer» Como las hendiduras branquiales del embrión humano, añado yo.

La tentación de Adán y Eva por una serpiente antropomorfa y su expulsión del Paraíso, obra de Miguel Ángel (frescos de la Capilla Sixtina).

¿Qué cometido cumplen los sueños en la actualidad? En una reputada publicación científica se expresó el criterio de que la función de los sueños es alertarnos de vez en cuando para comprobar que nadie nos acecha para devorarnos. Pero el caso es que los sueños ocupan una parte tan reducida del sueño normal, que esta explicación no parece muy satisfactoria. Por si fuera poco, hemos visto ya que los indicios apuntan precisamente en dirección contraria, o sea que en nuestros días son los mamíferos predadores y no sus presas los que sueñan con profusión. Consideramos mucho más verosímil la explicación que, basándose en los principios que rigen el funcionamiento de los computadores, estima que los sueños constituyen una «fuga» del procesamiento inconsciente de los sucesos de la jornada, un escape de la decisión que toma el cerebro sobre el número de eventos diarios, temporalmente almacenados en una especie de «memoria intermedia», que han de incorporarse a la memoria duradera. Muchas veces soñamos en cosas acaecidas el día anterior, y con menos frecuencia en los sucesos de dos días antes. De todos modos, no parece que el símil de la «fuga» y de la memoria intermedia baste para explicar satisfactoriamente el proceso, porque no explica en absoluto los tan característicos enmascaramientos del lenguaje simbólico de los sueños, tema que Freud fue el primero en plantear. Tampoco explica la carga emotiva de los sueños. Estoy seguro de que mucha gente se ha sentido infinitamente más atemorizada en sueños que en estado de vigilia.

Las funciones de evacuación y almacenamiento de datos acumulados en la memoria efímera que cumplen los sueños tienen algunas interesantes repercusiones de orden social. El psiquiatra norteamericano Ernest Hartmann, de la Universidad de Tufts, ha proporcionado pruebas un tanto anecdóticas pero razonablemente persuasivas de que los individuos que desarrollan actividades intelectuales durante el día, sobre todo si no están familiarizados con ellas, necesitan dormir más horas por la noche, en tanto que, por regla general, aquellos que realizan actividades básicamente repetitivas y tareas monótonas desde el punto de vista intelectual necesitan menos descanso nocturno. Sin embargo, las sociedades modernas, en parte por razones de orden organizativo, están estructuradas como si todos los hombres tuvieran las mismas necesidades de descanso, y en muchos países se interpreta como prueba de rectitud moral el hecho de levantarse temprano. La cantidad de horas de descanso requeridas para llevar a cabo la evacuación de datos dependería pues de cuánto hayamos reflexionado y experimentado desde el último periodo de sueño. (No existen indicios de que la causalidad opere en orden y dirección contrarios; que sepamos, los individuos que se drogan con

fenobarbital no llevan a cabo actividades intelectuales insólitas durante los periodos de vigilia entre una y otra toma.) A este respecto sería interesante estudiar el caso de los individuos insomnes para determinar si la fracción de tiempo de sueño durante la que padecen ensoñaciones es más dilatada que la de aquellos otros que necesitan dormir un número de horas normal, así como establecer si el tiempo de sueño y de ensoñación aumenta en función de la calidad y cantidad de sus experiencias de aprendizaje en estado de vigilia.

Michel Jouvet, neurólogo francés que profesa en la Universidad de Lyon, ha descubierto que el sueño acompañado de ensoñaciones se genera en el pons, que si bien está ubicado en el cerebro posterior, constituye un aporte evolutivo característico de los mamíferos y acaecido en una fase tardía. Por otra parte, Penfield ha descubierto que la estimulación eléctrica de la parte interna y zona subyacente del lóbulo temporal comprendida en los límites del neocórtex y del complejo límbico, puede llegar a producir en los epilépticos un estado consciente muy similar al de unos sueños despojados de sus aspectos simbólicos y fantásticos. También puede inducir la experiencia *deja vu*. Muchos de los sentimientos que acompañan a los sueños, incluido el temor, pueden ser provocados mediante una estimulación eléctrica de este género.

En cierta ocasión tuve un sueño que desde entonces no ha dejado de atormentarme. Soñé que estaba hojeando distraídamente un voluminoso texto de historia. Juzgando por las ilustraciones puedo asegurar que el libro analizaba con parsimonia y método, como suele ocurrir con este tipo de obras, el decurso de los siglos: época clásica, edad media, renacimiento y demás, acercándose de manera gradual a la era moderna. Pero, casi sin darme cuenta, allí estaba la segunda guerra mundial, a la que se destinaban alrededor de doscientas páginas. Con creciente interés me sumé en el texto hasta tener la completa seguridad de que había ido más allá de la época en que vivía. Era, en fin, un libro de historia que comprendía el futuro, como si al girar la página del calendario cósmico correspondiente al 31 de diciembre me encontrara ante una crónica detallada de los sucesos acaecidos el 1 de enero. Conteniendo la respiración traté —así literalmente— de leer el futuro. Pero todo fue en vano, pues sólo conseguía descifrar términos aislados. Ciertamente es, pude discernir trozos o letras sueltas, pero sin conseguir jamás aglutinarlas en palabras ni las palabras en frases. Sufría de alexia.

Tal vez se trate de una simple metáfora sobre la imprevisibilidad del futuro, pero siempre que retorna el sueño, invariablemente, siento que soy incapaz de leer. Puedo reconocer, por ejemplo, una señal de tráfico con el stop por el color y la forma octogonal, pero no leer la palabra STOP, por más que sepa que está escrita allí. Asimismo, tengo la sensación de que comprendo el sentido de una página impresa, pero no porque haya leído palabra por palabra o frase por frase. En estado de ensoñación ni siquiera soy capaz de efectuar las más sencillas operaciones aritméticas con un mínimo de garantías. Por otra parte, cometo una buena gama de confusiones verbales sin aparente significado simbólico, como pueda ser el hecho de mezclar Schumann con Schubert. En suma, padezco un poco de afasia y estoy completamente aléxico. No toda la gente que conozco sufre este mismo deterioro cognoscitivo en estado de ensoñación, pero con frecuencia muchos individuos experimentan algún tipo de menoscabo. (Digamos de paso que los ciegos de nacimiento tienen sueños auditivos, no visuales.) Mientras uno sueña no puede decirse en modo alguno que el neocórtex permanezca inactivo, pero sí que parece sufrir importantes desajustes.

Seguramente tiene su importancia resaltar el hecho evidente de que tanto los mamíferos como las aves sueñan, pero no los reptiles, su antepasado común. Siempre que se ha producido un suceso evolutivo importante, superada la fase reptilica, se ha visto acompañado por el surgimiento de sueños, que tal vez constituyan una exigencia inherente a este cambio evolutivo. Las fluctuaciones eléctricas que se detectan en los sueños de las aves son episódicas y de corta duración. Cuando sueñan, lo hacen por espacio de un segundo, poco más o menos, en cada ocasión. Sin embargo, desde un punto de vista evolutivo, las aves guardan una más estrecha relación con los reptiles que los mamíferos. Si sólo dispusiéramos de pruebas concernientes a estos últimos, el argumento sería menos consistente, pero dado que ambos importantes grupos taxonómicos, evolucionados a partir de los reptiles, se ven competidos a soñar, debemos considerar con atención esta coincidencia. ¿Por qué un animal que ha evolucionado de un reptil se ve competido a soñar en tanto que otros animales no lo hacen? ¿Cabría explicarlo, quizás, por el hecho de que el cerebro reptiliano todavía subsiste y sigue funcionando?

En estado de ensoñación es muy raro que cortemos por lo sano y nos digamos: «Se trata sólo de un sueño». Por regla general le damos al sueño un barniz de realidad. Los sueños no se atienen a norma alguna de consistencia interna; son un mundo de magia y de ritual, de pasión y de rebeldía, pero muy raras veces de escepticismo y frío razonamiento. Acudiendo a la metáfora del cerebro trino, los sueños vendrían a ser hasta cierto punto una función del complejo R y de la corteza límbica, pero no de la parte racional del neocórtex.

Experimentos llevados a cabo demuestran que mientras transcurre la noche nuestros sueños se adentran más y más en el pasado, hasta el punto de utilizar ingredientes de nuestra infancia y niñez. Al propio tiempo, aumentan también los procesos primarios y el contenido emocional del sueño. Existe mayor probabilidad de que evoquemos sensaciones de nuestra infancia poco antes de despertarnos que no después de dormirnos. Parece realmente como si la integración de la experiencia de la jornada en nuestra memoria, la construcción de nuevas conexiones neurales, sea bien una tarea más fácil bien una labor más urgente. Conforme discurre la noche y se completa dicha función emergen los sueños con mayor carga afectiva, los recuerdos más extravagantes, el temor, la libidinosidad y otras emociones intensas que pueblan el mundo onírico. Avanzada la noche, cuando todo está en calma y han sobrevenido ya las ensoñaciones obligadas en torno al acontecer cotidiano, empiezan a revolverse las gacelas y los dragones de nuestra mente.

Uno de los medios más eficaces para el estudio de los estados de ensoñación corresponde a la iniciativa de William Dement, psiquiatra de la Universidad de Stanford, hombre mentalmente sano donde los haya, pero que ostenta un nombre chocante habida cuenta de su profesión. *Dement*, en inglés «loco», «demente». (N. del t.)

El estado de ensoñación va acompañado por rápidos movimientos conjugados de los ojos, los llamados REM (*rapid eye movements*), que es posible detectar mediante unos electrodos que se aplican suavemente a los párpados durante el sueño y, también, mediante una onda cerebral característica que se observa en el electroencefalograma. Dement ha descubierto que todo el mundo sueña numerosas veces al cabo de la noche. Al despertar, cuando el individuo se halla sumido en la bruma de este sueño que hemos dicho va acompañado de rápidos movimientos conjugados de los ojos, recuerda por lo general el contenido de su ensoñación. Ateniéndonos a las pautas del REM y del electroencefalograma se ha podido determinar que gran número de individuos que alegan no tener nunca ensoñaciones sueñan como el que más; la prueba está en que cuando se les despierta en el momento oportuno admiten con cierta sorpresa que han estado soñando. Durante el estado onírico el cerebro humano se halla en un estado fisiológico característico, y hay que decir que soñamos con bastante frecuencia. Aun cuando tal vez un 20 por 100 de los individuos despertados durante la fase de sueño REM no recuerdan sus fantasías nocturnas, y alrededor de un 10 por 100 despertados en otra fase distinta dicen haber estado soñando, nosotros, por razones de conveniencia, equipararemos el sueño en la fase REM y las consiguientes ondas cerebrales registradas en el electroencefalograma con el estado de ensoñación.

Existen indicios de que soñar es necesario. Cuando el hombre u otros mamíferos se ven privados del sueño REM (siendo despertados tan pronto aparecen los registros característicos del REM y del electro), aumenta el número de iniciaciones del estado de ensoñación por noche y, en los casos graves, las alucinaciones durante el día, esto es, sueños en estado de vigilia. He dicho ya que los registros de ensoñaciones por el REM y el electroencefalograma son breves en las aves y no aparecen en los reptiles. Al parecer, los sueños son básicamente una función de los mamíferos y, lo que es más, en el hombre el reposo nocturno acompañado de sueños es más intenso durante el periodo posnatal. Aristóteles afirmó con bastante contundencia que los lactantes no sueñan. Por el contrario, se ha comprobado que en muchos casos pasan soñando la mayor parte del tiempo. Los neonatos alumbrados dentro del plazo de gestación normal sueñan, por lo que toca al estado de ensoñación REM, durante más de la mitad del tiempo en que están dormidos. Los lactantes nacidos con unas pocas semanas de antelación sueñan durante las tres cuartas partes o más del tiempo total dedicado al sueño, y en la fase intrauterina, es muy probable que el feto esté soñando todo el tiempo. (Ciertamente, se ha observado que los gatitos acabados de nacer permanecen mientras duermen sumidos en la fase REM.) En tal caso, la recapitulación vendría a indicar que la ensoñación es, básicamente, una función propia de los mamíferos que se configuró en una etapa primeriza de la evolución.

Existe otra conexión entre la infancia y los sueños y es el hecho de que van seguidos de amnesia. Cuando salimos de uno u otro estado nos cuesta muchísimo recordar las escenas que hemos vivido. Yo diría que en los dos casos, el hemisferio izquierdo del neocórtex, que regula la rememoración analítica, ha funcionado falto de eficacia. Otra posible explicación sería que tanto en sueños como en los primeros meses de nuestra existencia padecemos una especie de amnesia traumática porque nos resulta demasiado doloroso recordar las experiencias. Sin embargo, olvidamos muchísimos sueños francamente agradables y, por otra parte, resulta difícil creer que la infancia sea *tan poco* placentera. Hay que decir también que algunos niños consiguen recordar hechos y sensaciones de las primeras etapas de sus vidas. No son muy raras las evocaciones de experiencias que se remontan al primer año de existencia, y seguramente incluso más tempranas. Cuando mi hijo Nicolás tenía tres años se le pidió que hablara del suceso o sensación más lejanos que pudiera recordar. Con tono sosegado y la mirada fija en un punto intermedio de la estancia respondió: «Recuerdo que era rojo y que hacía mucho frío». El chico había nacido tras serle practicada a la madre una cesárea. Aunque improbable, me pregunto si esta respuesta entraña una efectiva recordación del momento del parto. En cualquier caso, pienso que la explicación más probable a la amnesia que acompaña a los sueños, especialmente a los de infancia, deriva del hecho de que en dichos estados nuestra vida mental viene regida casi enteramente por el complejo R, el sistema límbico y el hemisferio cerebral derecho. Durante la primera infancia el neocórtex está insuficientemente desarrollado; en caso de amnesia, ha sufrido menoscabo.

Existe una sorprendente correlación entre las erecciones de pene o de clítoris y el sueño REM, incluso cuando las ensoñaciones no tengan un manifiesto contenido erótico. En los primates, como no, estas erecciones están relacionadas con el apetito sexual y también con la agresividad y el mantenimiento de las jerarquías sociales. Pienso que, cuando soñamos, una parte de nosotros participa en actividades bastante similares a las de los titís que tuve ocasión de ver en los sueños de los humanos; pueden oírse los resoplidos y sacudidas de los dragones y, también, el tonante aullido de los dinosaurios.

Una excelente demostración del crédito que puedan merecer las ideas científicas es su subsiguiente confirmación. Se postula una teoría sobre la base de ciertos indicios, y luego se lleva a cabo un experimento en relación con la misma cuyo resultado no puede conocerse con antelación por parte de quien lo ha propuesto. Si el experimento confirma la idea original, se considera que se trata de una teoría consistente y merecedora de apoyo. Freud estimó que buena parte, si no toda, la «energía psíquica» de las emociones afectas por los procesos primarios y los ingredientes que componen los sueños tienen originariamente una raíz sexual. El papel absolutamente esencial que desempeña la atracción sexual de cara a la propagación de las especies hace que esta idea no sea disparatada ni corrupta, como opinaban muchos de los bienpensantes y Victorianos contemporáneos de Freud. Por su parte, Carl Gustav Jung sostuvo que Freud había concedido desmesurada primacía al sexo en las cuestiones del inconsciente. Sin embargo, hoy, transcurridos tres cuartos de siglo, los experimentos de laboratorio efectuados por Dement y otros psicólogos han dado la razón a Freud. Creo que habría que ser un recalitrante puritano para negar la existencia de un nexo entre la erección del pene o del clítoris y el instinto sexual. De ello parece deducirse que sueños y sexualidad no están vinculados de manera fortuita o incidental, sino unidos por estrechos lazos, si bien no cabe negar que aquéllos guardan también concomitancia con los

componentes ritualistas, agresivos y jerárquicos de la conducta animal. Teniendo en cuenta la represión sexual que se daba en el siglo XIX en el seno de la sociedad vienesa, muchas de las percepciones de Freud nos parecen no sólo válidas, sino también valerosas y mantenidas a costa de mucho esfuerzo.

Se han llevado a cabo estudios estadísticos de las categorías más comunes de sueños, estudios que, por lo menos hasta cierto punto, deberían aclarar la naturaleza de los mismos. En el curso de una encuesta llevada a cabo entre estudiantes universitarios en torno al contenido de los sueños, el orden resultante, tomando como base las cinco temáticas más frecuentes, fue el siguiente: 1) caídas; 2) ataques o persecuciones; 3) repetidos y frustrados intentos de llevar a cabo una tarea o una empresa; 4) sueños relacionados de una manera u otra con los estudios; 5) experiencias sexuales diversas. El sueño reseñado con el número cuatro parece guardar relación específica, justificada por demás, con el grupo objeto del muestreo. En cuanto a los restantes, si bien forman parte de la experiencia vital de los estudiantes, por lo general se aplican también a muchas personas que no lo son.

El temor a las caídas guarda clara relación con nuestros orígenes arbóreos y sin duda es un temor que compartimos con el que sienten otros primates. En efecto, para el que vive en un árbol el modo más simple de morir es, sencillamente, olvidar el riesgo que corre de caerse. Por lo que toca a las otras tres categorías de sueños más corrientes, ofrecen especial interés, por cuanto corresponden a funciones agresivas, jerárquicas, ritualísticas y sexuales; en suma, todo lo que es dominio del complejo R. Otro dato significativo de la encuesta mencionada es que casi la mitad de los individuos interpelados dijeron haber soñado con serpientes, el único animal, aparte del hombre, que goza de categoría propia en la lista de los veinte tipos de sueños más comunes. Ciertamente, es posible que muchos sueños relacionados con ofidios puedan interpretarse sin más en función de las tesis freudianas. Sin embargo, dos tercios de los encuestados mencionaron de manera explícita que habían tenido sueños relacionados con la experiencia sexual. Habida cuenta de que, según Washburn, los primates no adultos muestran un miedo congénito a las serpientes, parece lógico preguntarse si el mundo de la ensoñación no proyecta directa e indirectamente, la antigua hostilidad entre reptiles y mamíferos.

Existe a mi modo de ver una hipótesis que casa con las verdades científicas que acabo de exponer, y es que la evolución del sistema límbico significó una manera radicalmente nueva de contemplar el mundo. La supervivencia de los primeros mamíferos dependía de su inteligencia, de peligros que sortearon durante el día y de la devoción hacia los especímenes más jóvenes. El mundo percibido a través del complejo R era un mundo muy distinto. En razón a la naturaleza acumulativa del proceso de cerebración, las funciones del complejo R podían ser utilizadas o desechadas en parte, pero no ignoradas. De esta manera, surgió un centro de inhibición localizado debajo de lo que en el hombre es el lóbulo temporal, con objeto de atenuar la acción del cerebro reptílico, al tiempo que en el pons aparecía un centro de activación cuya misión era impulsar el funcionamiento del complejo R, pero de una manera inocua, durante el sueño. Esta consideración tiene, por supuesto, notables puntos de semejanza con las tesis de Freud acerca de la represión del *ello* por parte del *superego* (o del inconsciente por parte de la conciencia moral), en las que el papel del *ello* se ponía claramente de manifiesto en fenómenos tales como los *lapses lingue* la libre asociación de ideas, ensoñaciones, etc., es decir, en los intersticios de la represión ejercida por parte del *superego*.

Al producirse el notable desarrollo del neocórtex en los mamíferos superiores y en los primates, tuvo lugar una cierta participación neocortical en el estado onírico, y es que un lenguaje simbólico es, a fin de cuentas, eso, un lenguaje. (Esta circunstancia se relaciona con las diferentes funciones de los dos hemisferios del neocórtex que mencionaremos en el siguiente capítulo.) Pero la filigrana de los sueños contenía elementos sexuales, agresivos, jerárquicos y ritualistas significativos. Los ingredientes fantásticos que pueblan el mundo de los sueños tal vez tengan que ver con la casi total ausencia de estimulación sensorial directa durante las ensoñaciones. En el estado onírico apenas si existe un análisis de la realidad. Desde este ángulo, la frecuencia de sueños en los niños se explicaría por el hecho de que durante la infancia la parte analítica del neocórtex no tiene intervención apreciable. La carencia de ensoñaciones en los reptiles se explicaría por la ausencia de represión del estado de ensoñación. Para expresarlo de la misma forma con que Esquirol describió a nuestros antecesores, diremos que los reptiles «sueñan» despiertos. Creo que esta idea sirve para explicar la peculiaridad —por contraste con la conciencia verbal que exhibimos en estado de vigilia— del estado de ensoñación; su localización en los mamíferos y, preferentemente, en el ser humano durante el periodo subsiguiente al parto; su fisiología, y su penetración en el hombre.

El hombre desciende de los reptiles y de los mamíferos. Es muy probable que al reprimir durante el día la acción del complejo R y al liberar por la noche los dragones de nuestra ensoñación estemos reviviendo los cien millones de años de lucha en que reptiles y mamíferos se enfrentaron, con la salvedad de que se ha invertido el momento del día en que tiene lugar la vampírica caza. Con todo, hay en la conducta del ser humano suficientes rasgos reptílicos. Si liberásemos por completo los aspectos reptílicos de nuestra naturaleza, disminuiría considerablemente nuestra capacidad de supervivencia. Puesto que el complejo R se halla muy profundamente engarzado en la fábrica del cerebro, no cabe soslayar por mucho tiempo y de forma absoluta sus funciones. Quizá el estado de ensoñación permite, en nuestra fantasía y en su realidad, que el complejo R funcione regularmente, como si todavía controlase la situación.

En el supuesto de que esto sea verdad, me pregunto con Esquirol si el estado de vigilia de otros mamíferos se asemeja mucho al estado de ensoñación de los humanos, donde podemos reconocer *signos*, como el contacto con el agua de un arroyuelo o el olor de la madre selva, al tiempo que un limitadísimo repertorio de *símbolos*, tales como las palabras; un estado en el que hallamos vividas imágenes sensoriales y emocionales y un conocimiento intuitivo operante, pero un mínimo de análisis racional; un estado en el que somos incapaces de llevar a cabo tareas que exijan una profunda concentración y en el que experimentamos frecuentes lapsos de atención, numerosos intervalos neutros y, por encima de todo, un endeble sentido de nuestra individualidad o de nuestro yo que da paso a un intenso fatalismo, a

una sensación de imprevisible zarandeo por parte de acontecimientos sobre los que no ejercemos control alguno. Si este es nuestro punto de origen ciertamente hemos recorrido un largo trecho.

Amantes y locos

Amantes y locos tienen la mente tan arrebatada, tan poblada de fantasías, que perciben más de lo que la pura razón es capaz de aprehender. El orate, el que pena de amor y el poeta destilan imaginación ...

W. SHAKESPEARE, *El sueño de una noche de verano*

Los *simples* poetas tienen la mente tan embotada como la de un sujeto ebrio, sumida siempre en la bruma, incapaces de ver o de juzgar las cosas con claridad. Para ser un eximio y cabal poeta todo hombre necesitaría estar versado en varias ciencias, poseer una mente lógica, analítica y, en cierta medida, matemática ...

JOHN DRYDEN, *Notas y observaciones sobre la emperatriz de Marruecos, 1674*

Los sabuesos tienen fama de ser formidables rastreadores. Se les deja olfatear una «pista» —un trozo de ropa perteneciente al sujeto buscado, sea un niño perdido o un recluso fugado de la cárcel— y luego, ladrando, toman alegre y decididamente la senda que corresponde. Los perros y muchos otros animales de caza tienen esta aptitud natural extraordinariamente desarrollada. El rastro propiamente dicho contiene una huella olfativa, un olor. Éste no es más que la percepción de una determinada molécula, en el caso que nos ocupa una molécula orgánica. Para poder seguir un rastro, el sabueso debe percibir la diferencia de olor —olor contenido, como hemos dicho, en una determinada molécula del organismo— entre el sujeto objeto de búsqueda y un vastísimo y activo tras fondo de otras moléculas, algunas pertenecientes a otros individuos que han seguido idéntica senda (a los que hay que sumar los componentes de la propia expedición de rastreo) y otras de diversos animales (entre los que debe incluirse el propio sabueso). El número de moléculas que desprende un hombre que camina es relativamente pequeño, lo que no impide que incluso cuando el rastro se ha «enfriado» —como es el caso cuando han transcurrido varias horas desde la desaparición del sujeto buscado— el sabueso pueda seguir la pista sin dificultad.

Esta formidable aptitud de ciertos canes implica una detección olfativa extremadamente sensible, función que, como vimos con anterioridad, también los insectos llevan a cabo con notable eficacia. Pero lo que más asombra en el perro sabueso, y lo que al mismo tiempo le confiere peculiaridad frente al insecto, es la amplitud de su gama olfativa, su aptitud para identificar un olor entre muchos, cada uno de ellos sumido en un mar de múltiples aromas. El sabueso lleva a efecto una compleja catalogación de la estructura molecular; selecciona la molécula de que se trata entre un riquísimo muestrario molecular previamente olfateado, y, lo que es más, apenas necesita un minuto para registrar el olor en cuestión, que luego recordará por un largo periodo de tiempo.

Al parecer, la identificación olfativa de cada molécula la llevan a cabo unos receptores nasales sensibles a determinados grupos funcionales, o partes, de moléculas orgánicas. Un receptor puede ser sensible al COOH, otro al NH₂, etcétera. (C es el símbolo del carbono, H del hidrógeno, O del oxígeno y N del nitrógeno.) Según parece, las diferentes cadenas secundarias y elementos accesorios de las moléculas compuestas se adhieren a diferentes receptores moleculares de la mucosa nasal, y los detectores correspondientes a todos los grupos funcionales se combinan para conformar una especie de imagen olfativa global de la molécula. Se trata de un mecanismo sensorial en extremo perfeccionado. A este respecto, cabe decir que el más avanzado dispositivo de esta especie concebido por el hombre, o sea el cromatógrafo de gases/espectrógrafo de masas, carece, por regla general, de la sensibilidad y la capacidad selectiva del sabueso, por más que se hayan dado notables avances en este campo tecnológico. El sistema olfativo de los animales ha llegado a su actual grado de perfeccionamiento merced a una serie de exigencias del proceso de selección. La rápida detección de un espécimen del mismo grupo, de un depredador o de una presa es cuestión de vida o muerte para la especie. El sentido del olfato emerge en una fase temprana y, ciertamente, es muy posible que buena parte de la evolución primigenia por encima del nivel del armazón neural se viera espoleada por las demandas del proceso selectivo con objeto de facilitar la detección molecular a que hemos aludido. Así, los característicos bulbos olfativos del cerebro (véase la figura de la página 56) se cuentan entre los primeros componentes del neocórtex que registra la historia de la vida del planeta. Herrick, con buen criterio, llamó al sistema límbico «rinencéfalo» o cerebro olfativo.

El sentido del olfato no está, ni con mucho, tan desarrollado en los hombres como en los sabuesos. A pesar de nuestra masa cerebral, poseemos unos bulbos olfativos más pequeños que los de muchos animales. Por otra parte, es obvio que el olfato desempeña un papel de poco relieve en nuestra vida cotidiana. Un individuo corriente sólo alcanza a distinguir una menguada gama de olores. Pese al reducido número de olores que forman el repertorio olfativo del hombre, nuestras descripciones verbales y conocimiento analítico del olfato son en extremo pobres. Nuestra respuesta ante un olor determinado poco tiene que ver, a tenor de nuestra propia percepción, con la estructura tridimensional de la molécula causante de dicho olor. La olfacción es una compleja labor cognoscitiva que nos es dado realizar, dentro de unos límites, con notable precisión, pero que en el mejor de los casos no acertamos a describir más que muy

someramente y de forma insuficiente. Y pienso que si el perro sabueso pudiera hablar, pasaría por el mismo apurado trance que nosotros para describir los detalles de una tarea que lleva a cabo con suma perfección.

De la misma manera que los perros y muchos otros animales se valen primordialmente del olfato para penetrar en su entorno físico, en el hombre es la vista el conducto básico por el que nos llega la información del exterior. La sensibilidad y capacidad diferenciadora del ojo humano son por lo menos tan asombrosas como las facultades olfativas de los lebres. Podemos, por ejemplo, distinguir una cara de otra. Las personas observadoras son capaces de diferenciar decenas, centenares y hasta miles de rostros. Por ejemplo, el *identikit*, muy utilizado por la Interpol y la policía de muchos países de Occidente, es capaz de reconstruir más de diez mil millones de rostros distintos. El valor de esta aptitud de cara a la supervivencia es evidente, en especial referida a nuestros antecesores. Pero pensemos por un instante cuan difícil nos resulta proceder a la descripción verbal de unas caras que reconoceríamos sin dificultad. Por lo común, los testigos procesales suelen ofrecer pésimas descripciones de un individuo al que vieron o conocieron fugazmente; en cambio, cuando se lo ponen delante, lo identifican con singular facilidad. El hecho es que, a pesar de los errores de identificación que sin duda se han dado, los tribunales aceptan de mil amores el testimonio de una persona adulta acerca de los rasgos físicos de un sujeto dado. Para comprobar esta facilidad innata basta pensar en la presteza con que reconocemos a una «celebridad» entre un tropel de gente, o en la manera en que salta a la vista nuestro nombre cuando aparece reseñado en una nutrida lista no ordenada por orden alfabético.

El hombre y otros animales poseen notables facultades cognitivas y un elevado índice de percepción de datos que, sencillamente, superan la conciencia verbal y analítica que tantos de nosotros consideramos como el único patrimonio digno de ser tenido en cuenta. A menudo se alude a esta clase de conocimiento integrado por nuestras percepciones y cogniciones no verbales con el término de «intuitivo», que no es lo mismo que «innato», pues nadie nace con un repertorio de rostros impreso en el cerebro. En mi opinión, dicho vocablo refleja una ambigua irritación ante la incapacidad de comprender de qué forma accedemos a este conocimiento. Pero lo cierto es que la historia del conocimiento intuitivo es sumamente dilatada, y si tomamos en cuenta la información contenida en el material genético, se remonta nada menos que al origen de la vida. El otro modo de conocimiento de que disponemos, y que con tan malos ojos contempla en Occidente la existencia del conocimiento intuitivo, es una adición evolutiva muy moderna. El discurso racional que formulamos sólo de palabra (y que entraña, por ejemplo, el uso de oraciones completas) no tiene probablemente más que unas decenas o centenares de miles de años. Muchas personas son, en su vida consciente, casi completamente racionales, y otras muchas casi del todo intuitivas. Unos y otros se denostan sin reparar apenas en el valor recíproco de ambas clases de conocimiento.

Vista esquematizada de la parte superior del cerebro humano con los dos hemisferios separados por neurocirujanos en un logrado intento de dominar los ataques epilépticos. Por lo general, la separación se lleva a efecto seccionando el cuerpo calloso. A veces también se procede al seccionamiento de las conexiones secundarias entre ambos hemisferios, es decir, de la comisura anterior y de la comisura del hipocampo.

Calificativos como «embrollado» o «amoral» constituyen, tal vez, las más ponderadas y corteses de tales recriminaciones. ¿Por qué dos modos de pensamiento precisos y complementarios tienen tan pocas concomitancias entre sí?

Los primeros indicios de que ambos se hallan localizados en la corteza cerebral nos vienen dados por el estudio de las lesiones cerebrales a consecuencia de heridas o golpes fortísimos en los lóbulos temporal y parietal del hemisferio izquierdo del neocórtex. La víctima suele tener dificultades para leer, escribir, hablar y realizar operaciones aritméticas. Las mismas o parecidas lesiones en el hemisferio derecho mermarían la visión tridimensional, el reconocimiento de formas y contornos, las facultades musicales, el razonamiento holístico.

Aquel que subraya la relación orgánica y funcional de las partes con el todo. (N. del t.)

La identificación facial reside básicamente en el hemisferio derecho, y quienes afirman «jamás olvido una cara» realizan un reconocimiento de configuración sobre el lado derecho. En la práctica, las lesiones del lóbulo parietal derecho en ciertos casos incapacitan al paciente para reconocer su propia imagen en el espejo o en una fotografía. Estas observaciones indican de forma inequívoca, o poco menos, que las funciones que llamamos «racionales» se localizan principalmente en el hemisferio izquierdo, y las que consideramos «intuitivas» en el derecho.

Los últimos y más significativos experimentos llevados a cabo en este contexto son obra de Roger Sperry y su equipo de colaboradores del Instituto Tecnológico de California. De cara al tratamiento de los casos agudos de epilepsia *gran mal*, en la que el paciente sufre ataques prácticamente ininterrumpidos (tanto como dos por hora), procedieron al seccionamiento del cuerpo calloso, el principal haz de fibras nerviosas que comunican los hemisferios derecho e izquierdo del neocórtex (véase figura en página anterior). La operación quirúrgica se llevó a cabo con la intención de evitar que lo que podríamos llamar la «tormenta neuroeléctrica» de un hemisferio se propagara, lejos del foco inicial, al otro. Los neurocirujanos confiaban en que después de la operación los ataques no afectarían más que a un hemisferio. Pero el desenlace, inesperado y positivo, fue un muy acentuado descenso tanto de la frecuencia como de la intensidad de los accesos en ambos hemisferios, como si previamente, por decirlo en términos de informática, se hubiera dado una *realimentación positiva* a tenor de la cual la actividad eléctrica de la crisis epiléptica en cada

hemisferio estimulara al otro por conducto del cuerpo calloso.

En apariencia, después de la intervención quirúrgica los pacientes con un «cerebro partido» se comportan con absoluta normalidad. Algunos aseguran que han cesado de todas las vividas ensoñaciones que experimentaban antes de la operación. El primero de este grupo de enfermos estuvo un mes sin poder hablar después de la operación; pero la afasia que padecía terminó por desaparecer. La conducta y aspecto normales de los pacientes con un «cerebro partido» constituyen en sí una demostración de que el cuerpo calloso actúa de manera imperceptible. Teniendo en cuenta que nos estamos refiriendo a un haz de doscientos millones de fibras neurales que procesan nada menos que varios miles de millones de bits por segundo entre los dos hemisferios cerebrales, y que contiene alrededor del 2 por 100 de las neuronas del neocórtex, ¿debemos creer que al seccionar el cuerpo calloso el individuo sigue tan campante? Obviamente, deberían producirse alteraciones importantes, cambios que es preciso analizar con más detenimiento de lo normal.

Cuando examinamos un objeto situado a nuestra derecha, ambos ojos miran hacia lo que se denomina el campo visual derecho, y si hacemos lo propio con los objetos a nuestra izquierda, acotamos con la vista el campo visual izquierdo. Sin embargo, y debido al tipo de conexión existente entre los nervios ópticos, el campo visual derecho es procesado en el hemisferio izquierdo, y el campo visual izquierdo en el hemisferio derecho. Asimismo, el hemisferio izquierdo procesa buena parte de los sonidos que capta el oído derecho, y a la inversa, aun cuando parte de la información auditiva es tratada en el mismo lado de recepción, o sea, sonidos que, por ejemplo, capta el oído izquierdo y que son procesados en el hemisferio izquierdo. El sentido del olfato, surgido en una fase evolutiva anterior, no presenta este entrecruzamiento funcional; así, el olor que detecta la fosa nasal izquierda es procesado en su totalidad por el hemisferio correspondiente. En cambio, la información entre el cerebro y los miembros *es* de tipo cruzado. Los objetos que palpa la mano izquierda se perciben básicamente en el hemisferio derecho, y las instrucciones a la mano derecha para que escriba determinada frase se procesan en el hemisferio izquierdo.

Sperry y su equipo de colaboradores han llevado a cabo una serie de brillantes experimentos consistentes en la estimulación por separado de los hemisferios derecho e izquierdo en pacientes que han sufrido el seccionamiento del cuerpo calloso. Uno de los experimentos tipo consiste en proyectar en una pantalla la palabra *hatband* (cinta del sombrero), de forma que *hat* se halle en el campo visual izquierdo y *band* en el derecho. El paciente manifiesta que ha visto escrita la palabra *band*, siendo evidente que, por lo menos en función de su capacidad para expresarse verbalmente, no tiene idea de que el hemisferio derecho ha recibido la impresión visual del término *hat*. Cuando se le pidió que especificase de qué *band* (cinta, banda) se trataba, el paciente conjeturó que podía tratarse de una *outlaw band* (banda de forajidos), de una *rubber band* (liga elástica o cinta de goma) o de una *jazz band* (banda de jazz). Pero si en el curso de un experimento comparable se pide al enfermo que escriba con la mano izquierda oculta en el interior de una caja la palabra que ha visto en la pantalla, traza sobre el papel la palabra *hat*. Por el movimiento de la mano el paciente sabe que ha escrito algo, pero como no puede leerlo, la información no llega al hemisferio izquierdo, que es el que regula la facultad del habla. Así, curiosamente, puede escribir la respuesta, pero no darla de viva voz.

Muchos otros experimentos arrojan resultados similares. En uno de ellos el paciente puede palpar con la mano izquierda unas letras sueltas de material plástico ocultas a la vista. Dichas letras sólo permiten construir correctamente una palabra inglesa, como *love* o *cup*, que el paciente compone sin dificultad. El hemisferio derecho posee escasa capacidad verbal, más o menos la misma que en sueños. Así, el paciente, tras haber compuesto correctamente la palabra de referencia, no consigue indicar de palabra cuál es el término que ha formado. De ello parece deducirse que, en los pacientes de «cerebro partido», cada hemisferio ignora por completo la información que el otro obtiene por separado.

La inoperancia del hemisferio izquierdo en el plano de la representación geométrica es realmente asombrosa, como muestra claramente la ilustración de la página 171. Un paciente del tipo mencionado y que escribía con la derecha, sólo pudo trazar correctamente unas sencillas figuras geométricas utilizando la izquierda, o sea la mano inexperimentada. Parece que en el ámbito de la representación espacial o geométrica el hemisferio derecho solamente prevalece sobre el izquierdo en las tareas de tipo manual, dominio que desaparece cuando se trata de funciones geométricas que no requieren una coordinación entre mano, ojos y cerebro. Estas actividades manipulativas en el plano geométrico parecen localizarse en el lóbulo parietal del hemisferio derecho, en una región que, trasladada al hemisferio izquierdo, regula el uso del lenguaje. M. S. Gazzaniga, de la Universidad Estatal de Stony Brook (Nueva York) sugiere que esta especialización hemisférica acaece porque el lenguaje se desarrolla en el hemisferio izquierdo antes de que el niño adquiera suficiente pericia en las tareas manipulativas y en la visualización geométrica. Según este punto de vista, la especialización del hemisferio derecho en cuanto a competencia geométrica constituye una especialización por omisión, es decir, que la competencia del hemisferio izquierdo ha sido encauzada o desviada hacia el lenguaje.

Representación esquemática, según Sperry, de la proyección del mundo exterior en los dos hemisferios del neocórtex. Los campos visuales derecho e izquierdo se proyectan, respectivamente, en los lóbulos occipitales izquierdo y derecho. La regulación del lado derecho y del lado izquierdo del cuerpo es también de tipo cruzado, como lo es en buena parte el oído. Los olores se dirigen a los hemisferios del mismo lado, al igual que la fosa nasal que vehicula la olfacción.

El sujeto sólo lee y da cuenta verbalmente de la palabra proyectada en su campo visual derecho. No se da ningún tipo de asociación, ni siquiera inconsciente, entre las palabras de los campos visuales derecho e izquierdo. (Según Sperry.)

Un paciente al que le ha sido seccionado el cuerpo calloso escribe correctamente —mejor con trazo normal que con letra de palo—, utilizando la mano oculta, una palabra proyectada a su campo visual izquierdo. Pero al ser interpelado para que diga lo que ha escrito con la mano izquierda, da una respuesta totalmente incorrecta (*cup*). (Según Nebes y Sperry.)

Según se dice, poco después de que Sperry llevase a término uno de sus más convincentes experimentos, ofreció una fiesta en su casa a la que fue invitado un reputado físico teórico con el cuerpo calloso intacto. El científico, hombre notorio por su sentido del humor, permaneció todo el tiempo escuchando atenta y calladamente las explicaciones de Sperry sobre los hallazgos obtenidos a raíz de los experimentos con los pacientes a que nos hemos referido. Al término de la velada los invitados empezaron a desfilarse, y Sperry se situó junto a la puerta para despedir al último grupo. El físico tendió la mano derecha a Sperry y le dijo que había pasado una velada deliciosa. Luego, efectuando una especie de paso de baile, intercambió la posición de ambos pies, extendió la mano izquierda hacia el anfitrión y apostilló con voz reprimida y estridente: «Y también quiero que sepa que he estado aterrorizado por unas horas».

Cuando se dificulta la comunicación entre los dos hemisferios cerebrales, el propio paciente suele no hallar explicación a su proceder, evidenciándose aquello de que incluso si el sujeto «habla con propiedad» puede muy bien ignorar «la sustancia del tema de que trata». (Compárese esta afirmación con la cita de *Fedro* transcrita en la página 13.) La relativa independencia de actuación de los dos hemisferios se manifiesta en la vida cotidiana. Hemos hablado ya de la dificultad que entraña la descripción verbal de las complejas percepciones del hemisferio derecho. Al parecer, muchas actividades físicas complejas, como puede ser la práctica de un deporte, cuentan con una participación proporcionalmente exigua del hemisferio izquierdo. Por ejemplo, en el tenis, un buen «truco» para desbaratar el juego del contrario consiste en preguntarle en qué parte del mango de la raqueta coloca el pulgar. A menudo, la atención que el hemisferio izquierdo presta a dicha pregunta, aunque sea por un corto periodo de tiempo, consigue el objetivo buscado. Buena parte de las facultades musicales se regulan en el hemisferio derecho. Es de sobras conocido que hay individuos capaces de aprender de memoria una canción o una melodía musical sin tener idea alguna de cómo transcribirlas al papel pautado. Aplicando el caso al piano, podríamos aludir a este fenómeno diciendo que nuestros dedos (no nosotros) han «aprendido de memoria» la melodía en cuestión.

Incapacidad relativa del hemisferio izquierdo para reproducir figuras geométricas. (Según Gazzaniga.)

A veces esta memorización reviste gran complejidad. No hace mucho tuve el placer de asistir al ensayo de un concierto para piano aún no estrenado, interpretado por una importante orquesta sinfónica. En este tipo de ensayos, el director no suele tomar la partitura desde el primer compás para proceder luego hasta el final de la composición, sino que, tanto por la pérdida de tiempo de ensayo que ello supondría como por la competencia profesional de los profesores de la orquesta, se concentra en los pasajes más difíciles. Una de las cosas que más me impresionó fue no sólo que la solista se supiese de memoria toda la partitura, sino que además pudiese tocar a partir del compás que se le indicara con sólo echar un rápido vistazo a la partitura. Esta envidiable retentiva es función conjunta de los dos hemisferios cerebrales. Es sumamente difícil memorizar una pieza musical nunca escuchada hasta el punto de poder acometer su ejecución a partir de un fragmento cual quiera de la composición. Para decirlo con la jerga utilizada en informática, la pianista tenía acceso aleatorio —como contrapuesto al secuencial— a la partitura musical.

Este ejemplo es ilustrativo de la cooperación entre uno y otro hemisferio en buen número de las más complejas y trascendentes actividades humanas. Es muy importante no exagerar la separación de funciones que corresponden a cada uno de los hemisferios contiguos al cuerpo calloso en un hombre normal. Es conveniente reiterar que la existencia de un haz de conexiones o fibras nerviosas tan complejo supone que la interacción de los dos hemisferios es una función de vital importancia en el hombre.

Además del cuerpo calloso existe entre ambos hemisferios una conexión llamada comisura anterior, mucho más pequeña que aquélla (véase la figura de la página 163) y que a diferencia de este último se halla también en el cerebro de los peces. En los casos de pacientes a los que se ha seccionado el cuerpo calloso, respetando en cambio la comisura anterior, la información olfativa se transfiere siempre de un hemisferio al otro. Al parecer, ocasionalmente se produce un trasvase de cierta clase de información visual y auditiva a través de la comisura anterior, pero de forma imprevisible en cada paciente. Los hallazgos derivados de tales experimentos están en sincronía con la anatomía y la evolución; la comisura anterior (y también la comisura del hipocampo [véase la figura de la página 163]) ocupa una zona más interior que el cuerpo calloso y transfiere información a la corteza límbica y, quizá, a otros componentes más primitivos del cerebro.

En el hombre se da una interesante disociación entre las facultades musicales y las facultades de expresión oral. Los enfermos que padecen lesiones del lóbulo temporal derecho, o que han sufrido hemisferiotomías del lado derecho,

tienen muy limitadas sus facultades musicales, pero no así su capacidad verbal, sobre todo cuando se trata de identificar y recordar melodías. De todos modos, su dolencia no les impide leer una partitura, lo cual es perfectamente congruente con la separación de funciones antes señalada. La memorización y captación de la música presupone el reconocimiento de ciertas configuraciones auditivas y una disposición de tipo holístico más que analítico. Existen indicios de que la poesía es, en parte, una función del hemisferio derecho. Se han dado casos en que el paciente ha empezado a escribir poemas por vez primera a raíz de la afasia provocada por una lesión del hemisferio cerebral izquierdo. Pero, a buen seguro, ello no pasaría de ser, en palabras de Dryden, más que «mera poesía». Por otro lado, parece que el hemisferio derecho es incapaz de componer rimas.

La separación ó lateralización de la función cortical fue un hallazgo que siguió a una serie de experimentos con pacientes que padecían lesiones cerebrales. Sin embargo, es importante demostrar que las conclusiones derivadas de estos casos también son aplicables a las personas normales. Gazzaniga ha llevado a cabo experimentos con individuos que no padecen lesiones cerebrales, a los que se proyecta una palabra, la mitad en el campo visual derecho y la otra mitad en el izquierdo, como en el caso de los pacientes con el cerebro «partido», y luego se supervisa la reconstrucción de la misma. Los resultados obtenidos indican que en el cerebro normal el hemisferio derecho apenas interviene en el procesamiento del lenguaje, pero a través del cuerpo calloso transmite lo que observa al hemisferio izquierdo, donde se recompone la palabra completa. Gazzaniga halló también que un paciente con el cuerpo calloso seccionado poseía un hemisferio derecho asombrosamente dotado en materia lingüística. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que este enfermo había padecido de muy niño un trastorno cerebral orgánico en la región temporalparietal del hemisferio izquierdo, y ya hemos dicho que las lesiones cerebrales acaecidas durante los dos primeros años de vida del individuo, pero no más allá de este lapso, pueden provocar una redistribución de las funciones cerebrales.

Robert Ornstein y David Galin, del Instituto Neuropsiquiátrico Langley Porter de San Francisco, afirman que a medida que los individuos normales pasan de una actividad intelectual analítica a otra sintética, la actividad cerebral que registra el electroencefalograma de los hemisferios cerebrales correspondientes varía en concordancia con las previsiones; o sea, que cuando un sujeto realiza, por ejemplo, operaciones aritméticas de memoria, el hemisferio derecho exhibe el ritmo alfa, característico de un hemisferio cerebral «inactivo». En el caso de que este resultado se confirmase, estaríamos frente a un notable hallazgo.

Ornstein ofrece una interesante analogía para explicar por qué motivo, por lo menos en Occidente, hemos establecido tantos contactos con las funciones del hemisferio izquierdo y tan pocas con el derecho. Según indica, nuestro conocimiento de la función que corresponde al hemisferio derecho viene a ser algo así como nuestra capacidad para observar las estrellas con luz diurna. El fulgor del sol es tal que las estrellas son invisibles, pese al hecho de que permanecen día y noche en el firmamento. Sólo cuando se pone el sol podemos vislumbrarlas. Asimismo, el fulgor de nuestras adquisiciones evolutivas más recientes, es decir, de las facultades verbales reguladas por el hemisferio izquierdo, empaña el conocimiento de las funciones del hemisferio derecho, donde se localiza el pensamiento intuitivo, que a buen seguro constituyó para nuestros antepasados el principal instrumento de percepción externa.

1. Suele decirse de la marihuana que potencia nuestra apreciación y facultades en el orden musical, de la danza, el arte, el reconocimiento de configuraciones y signos y receptividad de la comunicación de carácter no verbal. Que yo sepa, nunca se ha dicho de esta droga que mejore la capacidad para leer y comprender a Ludwig Wittgenstein o Emmanuel Kant, calcular la resistencia de los puentes o computar las transformaciones de Laplace. A menudo, el sujeto incluso tiene dificultades para plasmar sus ideas por escrito de una manera coherente. Me pregunto si, más que intensificar, los cannabinoles (ingredientes activos de la marihuana) no se limitan a anular la actividad del hemisferio derecho y permitir el encendido de las luces de la imaginación. Puede que este sea, también, el objetivo de los estados de meditación que preconizan muchas religiones orientales.

El hemisferio izquierdo procesa la información de forma secuencial, mientras que el hemisferio derecho lo hace simultáneamente, conectando con diversas fuentes de información a la vez. Por decirlo en el lenguaje de los computadores, el hemisferio izquierdo funciona en un régimen de transferencia *en serie*, y el derecho lo hace *en paralelo*. El hemisferio izquierdo viene a ser un computador digital y el derecho un ordenador analógico. Sperry indicó que la separación de funciones en los dos hemisferios es consecuencia de una «incompatibilidad básica». Es posible que en la actualidad seamos capaces de percibir directamente las operaciones del hemisferio derecho, sobre todo cuando el hemisferio izquierdo ha quedado «desactivado», es decir, ha entrado en el estado de ensoñación.

En el capítulo anterior indicaba que un aspecto primordial del estado de ensoñación podía ser la liberación, durante la noche, de procesos del complejo R fuertemente reprimidos por el neocórtex durante el día. Pero dije también que el notable contenido simbólico de los sueños acreditaba una ostensible participación neocortical a pesar de las marcadas dificultades que señalaban con frecuencia los individuos investigados para leer, escribir y formular operaciones aritméticas y evocaciones verbales en sueños.

Además del contenido simbólico de los sueños, hay en la filigrana de la ensoñación otros aspectos que señalan la intervención del neocórtex. Por ejemplo, muchas veces he tenido sueños en los que el desenlace o «sorprendente final de la trama» sólo era posible gracias a cierto número de indicios en apariencia banales e insertos con mucha anterioridad en el contenido del sueño. No me cabe duda de que al iniciarse éste, la trama completa del sueño estaba ya presente en mi mente. (Digamos de pasada que, según ha demostrado Dement, el tiempo de ejecución requerido por los sucesos del sueño corresponde aproximadamente a la duración que tienen en la realidad.) En tanto que muchas ensoñaciones se desarrollan improvisadamente, otras responden a una perfecta estructura argumental, y en este sentido se asemejan en gran manera al desarrollo de una pieza escénica.

Hoy se acepta la sugestiva posibilidad de que el hemisferio izquierdo del neocórtex no actúa durante el estado de ensoñación, en tanto que el hemisferio derecho —muy familiarizado con todo lo que sean símbolos, pero carente de una fluida expresión verbal— funciona sin dificultades. Bien puede ocurrir que el hemisferio izquierdo no quede del todo desactivado por la noche y que lleve a cabo tareas que lo hacen inaccesible a nuestro conocimiento. En tales momentos trabaja laboriosamente evacuando la información acumulada en el registro de la memoria efímera y determinando qué datos deben conservarse y ser transferidos a la memoria duradera.

A veces, pocas, llegan a nuestros oídos noticias fidedignas de complejos problemas intelectuales que han sido resueltos en estado de ensoñación. Tal vez el más conocido sea el sueño del químico alemán Friedrich Kekulé von Stradonitz. En 1865 la cuestión más acuciante e impenetrable dentro de la química orgánica estructural era determinar la naturaleza de la molécula del benceno. Partiendo de sus propiedades, se había llegado a deducir la estructura de diversas moléculas orgánicas simples, que en todos los casos resultó ser lineal, es decir, formada por cadenas de átomos dispuestos en sentido rectilíneo. Según cuenta el propio Kekulé, un día en que viajaba adormilado en un tranvía tirado por caballos tuvo como un sueño en el que aparecían tiras de átomos moviéndose al ritmo de una danza. De repente, la cola de la cadena de átomos se unió por sí sola a la cabeza y dibujó un círculo que giraba lentamente. Al despertar y rememorar lo que había soñado, Kekulé se dio cuenta instantáneamente de que la solución al problema del benceno era un anillo hexagonal de átomos de carbono y no una cadena rectilínea. Obsérvese, no obstante, que nos hallamos ante un caso de identificación de formas y no de una actividad analítica, rasgo característico de casi todas las inspiraciones científicas notables surgidas en estado de ensoñación. Los actos creativos son obra del hemisferio derecho y no del izquierdo.

El psicoanalista norteamericano Erich Fromm ha escrito: «¿No es lógico suponer que al hallarnos desconectados de nuestro mundo exterior retornemos temporalmente a un estado mental primitivo, irracional como el de los animales? Mucho puede decirse en favor de esta presunción y muchos son los estudiosos de los sueños, desde Platón a Freud, que han sostenido la teoría de que esta regresión es el rasgo esencial del reposo nocturno, y, por ello mismo, de la actividad de ensoñación». Fromm prosigue diciendo que a veces, durante el estado de ensoñación, tenemos percepciones que escapan a nuestra mente estando despiertos. Por mi parte, creo que estas percepciones tienen siempre un carácter intuitivo o responden a un proceso de identificación de configuraciones. El aspecto «de similitud con los animales» del estado de ensoñación puede interpretarse como una función conjugada del complejo R y del sistema límbico, y la percepción intuitiva ocasionalmente iluminadora, como una actividad del hemisferio derecho del neocórtex. Ello es así porque en uno y otro caso se han sofocado en buena medida las funciones represivas del hemisferio izquierdo. Fromm llama a estas percepciones del hemisferio izquierdo «el lenguaje olvidado», y arguye con fundamento que constituyen el origen común de los sueños, de los relatos fantásticos y de los mitos.

A veces, mientras soñamos, tenemos la clara sensación de que una parte de nosotros permanece observando la escena plácidamente, de que con frecuencia hay en el trasfondo del sueño una especie de observador. Es esta parte de nuestra mente, que actúa de «centinela» —en ocasiones en mitad de una pesadilla—, la que nos dice: «No es más que un sueño». Es precisamente ese observador el que aprecia la unidad dramática de un sueño con una trama perfectamente estructurada. Pero la mayor parte del tiempo el «centinela» permanece mudo. Muchos de los que fuman o ingieren drogas psicodélicas —marihuana y LSD, pongamos por caso— suelen señalar la presencia de este «centinela». Las experiencias con LSD pueden ser pavorosas, y varios comunicantes me han asegurado que en el caso del LSD la diferencia entre la cordura y la insania depende por completo de la presencia continuada de este «centinela», una pequeña y silenciosa porción de la mente en estado consciente.

Uno de mis informantes me contó una vez que mientras fuma ba marihuana reparó en la presencia y, cosa rara, en la «foraneidad», de este silencioso «centinela» que responde con interés, y a veces con palabras de censura, a la caleidoscópica y rica filigrana de ensoñaciones que experimenta el fumador de marihuana, pero sin formar parte de aquéllas. «¿Quién eres?», preguntó mi informante en silencio, dirigiéndose al observador; «¿Quién pregunta?», contestó éste, como si se tratara de una enseñanza moral sufista o zen. Sin embargo, la pregunta formulada por mi informante tiene su miga. Yo me atrevería a indicar que el pretendido observador es un reflejo de las facultades críticas asentadas en el hemisferio izquierdo, y que si bien se manifiesta con mucha más intensidad en las fantasías psicodélicas que en los sueños, está presente hasta cierto punto en ambos. Sin embargo, la primitiva réplica del observador al interpelante —«¿Quién pregunta?»— sigue sin hallar respuesta. Tal vez se trate de otro componente del hemisferio cerebral izquierdo.

Los lóbulos temporales de los hemisferios izquierdo y derecho del hombre y de los chimpancés presentan una asimetría; una parte del lóbulo izquierdo está notablemente más desarrollada que el resto de la zona. Esta asimetría es congénita (apreciable ya en la vigesimonovena semana del embarazo), lo que sugiere una marca de predisposición genética al control del habla por parte del lóbulo temporal izquierdo. (Sin embargo, los niños que padecen lesiones en dicho lóbulo pueden, en el primero y segundo año de vida, transferir sin menoscabo todas las funciones del habla a la porción equivalente del hemisferio derecho. En una edad más avanzada, esta sustitución de funciones es imposible.) Por otro lado, se observa en los niños de corta edad una lateralización de la conducta. El oído derecho capta mejor la palabra viva, y el izquierdo aquello que no se expresa oralmente, constante que se da también en el adulto. Asimismo, por término medio, los niños de corta edad suelen dedicar más tiempo a contemplar los objetos situados a su derecha que los mismos objetos colocados a su izquierda. Asimismo, para obtener una respuesta precisamos elevar más la voz si le hablamos al oído izquierdo que si lo hacemos al derecho. Si bien hasta el momento no se ha detectado esta ni parecida asimetría en el cerebro o en la conducta de los simios, los resultados obtenidos por Dewson (véanse páginas

120-122) sugieren que en los primates superiores se da, probablemente, un cierto grado de lateralización, en tanto que los lóbulos del mono común (*Rhesus*) no presentan vestigio alguno de asimetría. Uno se siente inclinado a pensar que, como en el hombre, las facultades lingüísticas del chimpancé se regulan en el lóbulo temporal izquierdo.

Según parece, el reducido inventario de gritos de carácter sim bólico que utilizan los primates no humanos se gobierna desde el sistema límbico; prácticamente todo el repertorio vocal de la ardilla o del mono común puede ser evocado por estimulación eléctrica del sistema límbico. El habla humana se regula en el neocórtex. De ahí se infiere que uno de los pasos esenciales en la evolución del hombre debió ser el trasvase del control del habla desde el sistema límbico a los lóbulos temporales del neocórtex, transición de la comunicación a través del instinto a la comunicación por conducto de un proceso analítico. Con todo, la notable capacidad de los simios para acrecentar su repertorio gestual, así como los indicios de lateralización detectados en el cerebro del chimpancé, denotan que la adquisición voluntaria de un lenguaje simbólico por parte de los primates no es una innovación moderna, sino que, antes bien, se remonta a muchos millones de años atrás, en sincronía con los indicios que aporta el examen de los moldes de la cara interna de los cráneos fósiles sobre la existencia del área de Broca en los especímenes de *Homo habilis*.

Las lesiones que sufre el cerebro del mono, concretamente las partes que regulan el habla en el hombre, no menoscaban las vocalizaciones instintivas de estos animales. Por todo ello parece lógico concluir que el surgimiento del lenguaje humano presupone la formación de un conglomerado cerebral enteramente nuevo más que un mero reajuste de los dispositivos del sistema límbico que generan los gritos y llamadas. Algunos expertos en el tema de la evolución humana han manifestado que el lenguaje apareció en una fase tardía —puede que en las últimas decenas de millares de años— como respuesta a las exigencias del último periodo glacial. Sin embargo, la información de que disponemos no parece abonar esta teoría. Por otra parte, los centros del habla en el cerebro humano revisten tal complejidad que resulta difícil imaginar cuál haya sido su evolución a lo largo de los miles de generaciones que probablemente se han sucedido desde el periodo culminante de la última glaciación.

Los indicios de que disponemos parecen indicar que los antepasados del hombre en la Tierra hace varias decenas de millones de años poseían un neocórtex, con la salvedad de que los hemisferios derecho e izquierdo llevaban a cabo funciones comparables y redundantes. Desde entonces, la postura erecta, el uso de herramientas y el lenguaje han sido factores que se han dado impulso mutuo. Así, un pequeño progreso en la facultad de expresión oral se traducía en una mejora progresiva de las hachas de mano, y a la inversa. Parece que el correspondiente proceso de cerebración se ha producido previa especialización de uno de los dos hemisferios en el pensamiento analítico.

Dicho sea de paso, la primitiva redundancia o duplicación funcional ha sido aplicada con sutileza al diseño de computadores. Así, los técnicos que proyectaron la memoria electrónica a bordo del módulo de descenso (*lander*) del *Viking*, sin tener idea de la neuroanatomía de la corteza cerebral, acoplaron dos computadores iguales y programados exactamente del mismo modo. Sin embargo, en razón a su complejidad, no tardaron en emerger las diferencias entre uno y otro. Antes de que tuviera lugar la toma de contacto con la superficie de Marte, los computadores fueron sometidos desde la Tierra a un test de inteligencia (para ello se utilizó un computador mejor «dotado»). Después del mismo, se procedió a inutilizar al ordenador con un coeficiente más bajo. Pues bien, tal vez el proceso evolutivo del hombre haya discurrido por cauces similares y nuestras tan preciadas facultades analíticas se hallen localizadas en el «otro» cerebro, aquel no del todo competente en la generación de pensamiento intuitivo. La evolución se vale a menudo de esta estrategia. En todo caso, la práctica evolutiva normal de incrementar la cantidad de información genética a medida que los organismos ganan en complejidad, se manifiesta en la duplicación de parte del material genético, dejando que proceda luego la lenta especialización de funciones de los componentes redundantes.

Casi todas las lenguas muestran una polaridad, una marcada preferencia por todo lo relacionado con el costado derecho. El término «derecho» se equipara a la legalidad, conducta correcta, elevados principios morales, energía y masculinidad, mientras que la palabra «izquierda» es sinónimo de cobardía, debilidad, objetivos turbios, malevolencia y feminidad. En inglés, por ejemplo, abundan los términos relacionados con *right*, como *rectitude* (rectitud, corrección, prioridad), *rectify* (rectificar, enderezar, enmendar), *righteous* (recto, probo, virtuoso, honrado, justo), *right-hand man* (ser el brazo derecho de alguien), *dexterity* (destreza, maña, habilidad), *adroit* (diestro, hábil, listo; voz derivada del francés *à droite*), *rights* (derechos, como en «derechos del hombre») y la expresión *to be in his right mind* (estar en sus cabales o en su sano juicio). Incluso el vocablo *ambidextrous*, significa, apurando el sentido, dos manos derechas.

En el otro lado, y en sentido literal, tenemos el término *sinister* (casi la misma palabra latina que traduce «izquierda», aunque con significado primordial de siniestro, funesto, aciago), *gauche* (torpe, desmañado, que en francés significa exactamente «izquierda»), *gawky* (desgarbado, desmañado, torpe), *gawk* (palurdo, bobo) y *left-handed compliment* (falso halago). En ruso, la palabra «izquierda» se traduce por *na lev o*, que además significa «furtivo», «subrepticio» o «clan destino»; en italiano, *mañana*, uno de los vocablos que significa izquierda, significa también «engñoso», «falso», «falaz». Tampoco hablamos de una «Declaración de izquierdos» en el sentido con que aludimos a una «Declaración de derechos».

Según una versión etimológica, *left* derivaría de *lygt*, término anglosajón que significa «débil», «endeble», «enclenque», «enfermizo», y también «sin valor», «inútil», «inservible». *Right* en sentido legal, como un acto concorde con las normas sociales (legítimo, justo), y *right* en un sentido lógico, como contrapuesto a erróneo (exacto, acertado, correcto), son también dos acepciones harto comunes en muchas lenguas. El empleo que en política se hace de los términos «derechas» e «izquierdas» parece remontarse al momento histórico en que surge una fuerza política popular como contrapeso al estamento nobiliario. Los nobles se situaban a la derecha del rey y los advenedizos del otro extremo —los capitalistas— a su izquierda. Los nobles se situaban a la derecha del monarca porque éste, a su vez, era el noble más encumbrado y porque su lado derecho era la posición de privilegio. En la teología ocurre lo que en política,

como evidencia la frase: «A la derecha de Dios Padre».

Podría aducirse multitud de ejemplos que demuestran la existencia de un nexo entre *right* y *straight* (derecho, recto, seguido).

Me pregunto si tendrá algún relieve el hecho de que, por ejemplo, el latín, el alemán y las lenguas eslavas se escriban de izquierda a derecha. Los habitantes de la antigua Grecia escribían en bustrófedon («imitando los surcos del arado», es decir, de derecha a izquierda, con el siguiente renglón de izquierda a derecha).

En el español hablado en México no se dice «todo seguido» (*straight anead*) sino «todo derecho» o «siempre recto» (*right right*). Los negros norteamericanos usan del *right on* (adelante) para significar aprobación, a menudo en conexión con sentimientos de exaltación o apasionamiento por una idea. En la actualidad, dentro del inglés coloquial, el término *straight* se emplea con el significado de «con vencional», «correcto» o «apropiado». En ruso, *right* (derecho, recto, correcto, etc.) se traduce por *pravo*, palabra emparentada con *pravda* que significa «auténtico», «verdadero» (*true*). En muchos idiomas la palabra *true* tiene una segunda acepción como «certero», «preciso». Así, se dice en inglés: *his aim was true* (tenía buena puntería).

El test Stanford-Binet, que mide el coeficiente intelectual de un individuo, trata hasta cierto punto de calibrar la función tanto del hemisferio derecho como del izquierdo. Para determinar el valor de las funciones del hemisferio derecho en algunos tests, se pide al sujeto que adivine la figura que resulta de desplegar una hoja de papel que ha sido doblada varias veces y recortada con unas tijeras, o bien se le pide que calcule a ojo el número de unidades que integran un montón de piezas de madera, algunas de las cuales están ocultas a la vista. Aunque los creadores del test Stanford-Binet consideran que estas cuestiones de concepción espacial son muy útiles para determinar la «inteligencia» de los niños, parece que su valor disminuye progresivamente cuando se trata de fijar el coeficiente intelectual de adolescentes y adultos. Desde luego, en estas evaluaciones es escaso el margen que se reserva al calibrado de los elementos intuitivos. Tampoco nos sorprende que los tests de inteligencia se polaricen marcadamente hacia el hemisferio izquierdo.

La intensidad de los prejuicios en favor del hemisferio izquierdo y de la mano derecha se me antoja una especie de guerra en la que el bando que ha vencido por estrecho margen rebautiza las partes contendientes y los temas candentes de la vida nacional de forma que las generaciones futuras no vacilen un solo instante a la hora de decidir dónde radica la lealtad bien entendida. Cuando el partido de Lenin no era más que un grupúsculo en el panorama político de su país, él lo llamó «partido bolchevique», que en ruso significa «partido de la mayoría». La oposición, dócilmente y dando pruebas de soberana estupidez, aceptó para sí la denominación de mencheviques o «partido de la minoría», y en el lapso de un decenio llegó a ser, efectivamente, minoritario. Asimismo, en las asociaciones que por doquier suscitan los términos «derecha» e «izquierda» apunta un rencoroso antagonismo que tuvo su origen en los albores de la historia de la humanidad.

Otro par de vocablos antitéticos del habla humana —los términos «blanco» (*white*) y «negro» (*black*)— revelan un conjunto muy diferente de circunstancias. Pese a las expresiones del tipo «tan dispares como el blanco y el negro», ambas palabras —*black* and *white*— parecen tener un mismo origen. El término *black* proviene de la voz anglosajona *blæce*, y el vocablo *white*, del anglosajón *blac*, que todavía está en vigor en las voces emparentadas *blanch*, *blank* *bleak* y en el francés *blanc*. Uno y otro término tienen como rasgo principal la ausencia de color, y el empleo de la misma palabra para ambas voces se me antoja una muy sutil intuición por parte del lexicógrafo del rey Arturo.

En el combate con armas de filo, es decir, capaces de cercenar un miembro o de traspasar un órgano —y también en deportes tales como el boxeo, el béisbol y el tenis—, un contendiente acostumbrado al uso de la mano derecha se encontrará en desventaja si se enfrenta inopinadamente con un adversario zurdo. Asimismo, un esgrimista malintencionado que maneja el florete con la izquierda puede tocar con facilidad a su oponente porque mantiene la mano derecha levantada en un gesto en apariencia amigable y conciliador. Sin embargo, no creemos que esta serie de circunstancias justifiquen ni expliquen el profundo rechazo de que es objeto la mano izquierda, ni tampoco la amplitud del chovinismo derechista entre muchas mujeres, tradicionales enemigas de la violencia. Quizás un atisbo de explicación, aunque remoto, tenga que ver con la carencia de papel higiénico en las sociedades preindustriales. Durante buena parte de nuestra historia pasada, y también hoy, en muchas parte del mundo después de excrementar se utiliza la mano izquierda para la higiene personal, un hecho perfectamente normal y generalizado en las culturas pretecnológicas. De ello no se desprende que los que siguen esta costumbre se complazcan en ella. No sólo resulta vulgar desde un punto de vista estético, sino que se corre el riesgo de contraer graves infecciones y de contagiar también a los demás. La precaución más elemental es la de saludar y comer con la otra mano. En las sociedades pretecnológicas la mano izquierda se utilizaba casi sin excepción para los susodichos menesteres higiénicos, y la derecha para el saludo y la ingestión de alimentos. El quebrantamiento ocasional de esta convención social se miraba —cosa comprensible— con verdadero horror y, así, los niños que contravenían la norma acuñada respecto al recto uso de las manos eran severamente castigados. En los países occidentales son muchas las personas de edad que todavía recuerdan las rígidas prohibiciones que limitaban el uso de la mano izquierda, aunque sólo fuera para coger un objeto. Pienso que esta explicación puede servir para aclarar el porqué de la virulencia contra todo lo que guarde relación con la «izquierda», así como la autocomplaciente ampulosidad de que se dota, a modo de mecanismo defensivo, a todo lo vinculado con la «derecha», actitud generalizada en una sociedad donde la mayoría de sus componentes se valen de la mano diestra.

Dos australopitecos robustos. Es posible que la mayoría de estos animales fueran predominantemente diestros, así como también el *astrolopitecus* grácil.

Con todo, la explicación no aclara por qué inicialmente se prefirió la mano derecha a la izquierda para el desempeño de estas funciones concretas. Cubría argüir que, estadísticamente, hay una probabilidad sobre dos de que las funciones higiénicas sean relegadas a la mano izquierda. Pero en tal caso parece obligado inferir que una sociedad de cada dos debería mostrar una actitud ponderada hacia todo lo que guarde relación con la izquierda, y, sin embargo, este tipo de sociedades parecen ser, de hecho, inexistentes. En una sociedad donde la mayoría de la gente utiliza la mano derecha, las tareas que exigen cierta precisión, como la ingestión de alimentos o el manejo de un arma en combate, se encomendarían a la mano favorita, y, por exclusión, las funciones de tipo higiénico se abandonarían a la mano zurda. Sin embargo, ello tampoco explica por qué la sociedad se decanta por el uso de la mano derecha. En su más estricto sentido, hay que buscar la explicación en otra parte.

No existe una relación directa entre la mano que uno prefiere utilizar para la mayoría de las tareas y el hemisferio cerebral que regula el habla, lo que no impide que buen número de los que utilizan la mano izquierda puedan tener los centros de expresión oral en el hemisferio izquierdo, extremo este muy controvertido. Sin embargo, se estima que la predisposición al uso de una mano determinada tiene que ver con la lateralización cerebral. Existen indicios de que los zurdos experimentan más dificultades que los que utilizan la derecha en ciertas funciones privativas del hemisferio izquierdo, tales como la lectura, la escritura, el habla y la realización de operaciones aritméticas. Por el contrario, suelen mostrar mayor aptitud en lo que concierne a determinadas funciones del hemisferio derecho, como la imaginación, el reconocimiento de configuraciones y la creatividad en sentido genérico.

Según parece, los únicos presidentes zurdos que ha tenido Estados Unidos han sido Harry Truman y Gerald Ford. No estoy seguro de si ello se corresponde o no con la (débil) correlación que se ha querido ver entre la predisposición al uso de una determinada mano y la función hemisférica. Tal vez sea Leonardo da Vinci el ejemplo más preclaro de genio creativo entre los zurdos.

Algunos indicios sugieren que tal vez se da en el ser humano una polarización de *índole genética* que predispone al uso de la mano derecha. Así, el número de cordoncillos que se observan en las huellas digitales de los fetos durante el tercero y cuarto mes del embarazo es mayor en la mano derecha que en la izquierda, y esta preponderancia persiste a lo largo de la vida intrauterina y en la fase posnatal.

Se ha podido obtener información sobre la tendencia en el uso de las manos por parte de los australopitecos mediante el análisis de cráneos fósiles de babuinos que fueron fracturados con palos de hueso o con garrotes por estos primeros parientes del hombre. Raymond Dart, descubridor de los fósiles de australopitecos, llegó a la conclusión de que alrededor del 20 por 100 de ellos utilizaban la mano izquierda, porcentaje que se corresponde, poco más o menos, con el que se observa en el hombre actual. Por el contrario, mientras que otras especies animales suelen mostrar preferencia por una u otra pata, los australopitecos no se decantan específicamente ni por la derecha ni por la izquierda.

Por lo que atañe al hombre, la diferenciación en el uso de la mano se remonta a un pasado muy lejano. Me pregunto si esta polaridad entre palabras etimológicamente relacionadas con las voces «derecha» e «izquierda» no es reflejo de la pugna entre lo racional y lo intuitivo, entre uno y otro hemisferio. El hemisferio verbal es el que controla el lado derecho, y aunque tal vez no posea tanta sutileza como el izquierdo, sí tiene, ciertamente, mejor prensa. El hemisferio izquierdo, se muestra muy a la defensiva, por no decir extrañamente inseguro, en su relación con el hemisferio derecho, y si ello es así sospechamos que el criticismo verbal del pensamiento intuitivo se asienta en dudosas motivaciones. Por desdicha, todo induce a pensar que también el hemisferio derecho se muestra igualmente receloso hacia el izquierdo, recelos que, por supuesto, no expresa por la vía verbal.

Admitiendo la validez de ambos métodos de pensamiento, el del hemisferio izquierdo y el del hemisferio derecho, debemos preguntarnos si resultan igualmente eficaces y útiles ante un cambio de circunstancias. No cabe duda de que el pensamiento intuitivo propio del hemisferio derecho es capaz de percibir configuraciones y nexos demasiado complejos para el hemisferio izquierdo, pero también puede detectar configuraciones donde no las hay. El pensamiento crítico y escéptico no es un rasgo distintivo del hemisferio derecho, y puede resultar que las teorías elaboradas exclusivamente por él, particularmente en circunstancias nuevas y difíciles, sean erróneas o paranoides.

En una serie de experimentos llevados a cabo recientemente por Stuart Dimond, psicólogo del Colegio Universitario de Cardiff (Gales), se emplearon lentes de contacto especiales para proyectar películas a uno u otro hemisferio por separado. No hace falta decir que en un individuo normal la información recogida por un hemisferio se transmite al otro por conducto del cuerpo caloso. Los sujetos sometidos a experimentación tuvieron que clasificar diversas películas atendiendo al contenido emocional. Con ello se demostró que el hemisferio derecho tiene una tendencia manifiesta a ver el lado hostil, desagradable y hasta repelente de la vida. Los psicólogos de Cardiff descubrieron también que estando ambos hemisferios en actividad, nuestras respuestas emocionales se asemejan en gran manera a las que ofrece el hemisferio izquierdo aisladamente. Parece que en la vida cotidiana el negativismo del hemisferio derecho se ve fuertemente compensado por el hemisferio izquierdo, que tiende a ver la vida de forma más despreocupada. De todos modos, una oscura y sospechosa inflexión emotiva parece ocultarse en

el hemisferio derecho, lo que podría explicar hasta cierto punto el repudio que la parte de nuestra individualidad contenida en el hemisferio izquierdo manifiesta hacia la «sinistra» condición atribuida a la mano izquierda y al hemisferio derecho.

Un paranoico puede llegar a pensar que existe una conspiración en su contra, o sea, que vislumbra ocultas y malévolas intenciones en sus amigos, socios o en el propio gobierno, cuando en realidad dicha actitud antagónica es inexistente. Si realmente hubiera conspiración, el sujeto tal vez se mostraría angustiado en extremo, pero no por ello podría ser tachado de paranoico. A este respecto la historia nos presenta el caso de James Forrestal, primer secretario de Defensa de los Estados Unidos. Concluida la segunda guerra mundial, Forrestal tenía el convencimiento de que agentes secretos israelíes le seguían a todas partes. Los médicos, convencidos de lo absurdo de esta fijación, le declararon paranoico y le confinaron en la planta superior del hospital militar Walter Reed. Un buen día se arrojó al vacío y encontró la muerte, en parte debido a la inadecuada vigilancia del personal médico que le atendía, excesivamente respetuoso con uno de sus más prominentes conciudadanos. Más tarde se supo que, en efecto, Forrestal estaba sometido a vigilancia por agentes israelíes, a quienes preocupaba que el secretario de Estado pudiera suscribir un acuerdo secreto con los representantes de los países árabes. Aun cuando Forrestal estaba mentalmente enfermo, es indudable que la diagnosis de paranoia no contribuyó a mejorar su condición.

En épocas de rápida transformación social aumenta el número de conspiraciones, tanto por parte de los que desean impulsar el cambio como por los defensores del *statu quo* (más por parte de los últimos que de los primeros, al menos en la historia política norteamericana de los últimos años). Creer en la existencia de una conspiración cuando no la hay es un síntoma de paranoia; detectarla cuando existe realmente es prueba de salud mental. Un amigo mío suele decir: «Hoy, en Estados Unidos, si no estás un poco paranoico es que andas mal de la cabeza». Esta observación tiene valor universal.

Es imposible determinar si las configuraciones detectadas por el hemisferio derecho son reales o imaginarias sin someterlas al escrutinio del hemisferio izquierdo. De otro lado, el pensamiento meramente crítico, sin percepciones creativas e intuitivas, sin la búsqueda de nuevas pautas, es completamente estéril y está condenado al fracaso. Para poder resolver problemas complejos en circunstancias cambiantes es preciso la actividad conjunta de los dos hemisferios cerebrales. La senda hacia el futuro pasa por el cuerpo calloso.

Uno entre los muchos ejemplos de comportamiento diferenciado, producto de unas funciones cognoscitivas que también lo están, es la reacción normal ante la vista de la sangre. Muchos de nosotros nos sentimos afectados de alguna manera viendo a una persona sangrar copiosamente, e incluso los hay que pierden el conocimiento. Creo que la razón está muy clara. A lo largo del tiempo, hemos asociado nuestra propia pérdida de sangre con el dolor, el daño y la violación de nuestra integridad corporal, de aquí que nos sintamos condolidos o afectados al ver sangrar a otra persona. Nos hacemos solidarios de su dolor. Probablemente este sea el motivo de que en muchas sociedades humanas el color rojo se utilice para indicar peligro o en las señales de *stop*.

O dirección hacia abajo, como en las luces del tablero indicador de los ascensores. Nuestros antepasados arbóreos tenían que andar con sumo cuidado en eso del descenso.

(Si el pigmento portador de oxígeno que tenemos en la sangre fuera de color verde —cosa no imposible desde el punto de vista bioquímico— todos consideraríamos que el verde es un indicador natural de peligro y nos sonreiríamos ante la idea de utilizar el rojo.) Por otra parte, el médico reacciona de muy distinta manera a la vista de la sangre y se pregunta cuál es el órgano dañado, si hay hemorragia, si la sangre que fluye es venosa o arterial y si conviene o no aplicar un torniquete. Son estas funciones analíticas que competen al hemisferio izquierdo y que requieren procesos cognitivos analíticos más complejos que la mera asociación de la sangre con el dolor, y, por supuesto, de valor mucho más práctico. Si yo sufriera algún daño, preferiría tener a mi lado un médico competente al que una larga experiencia ha familiarizado con la vista de la sangre que estar en compañía de un amigo que siente en el alma lo ocurrido pero que sufre un desmayo viendo cómo me desangro. No cabe duda de que este último tendrá poderosas motivaciones para no causar daño a otra persona, pero será el médico quien preste ayuda eficaz en caso de que sobrevenga el daño. En una especie animal idealmente estructurada, estas diferentes actitudes coincidirían simultáneamente en un solo individuo, como de hecho sucede con muchos de nosotros. Por más que uno y otro modo de pensamiento posean un grado muy diverso de complejidad, tienen un valor complementario de cara a la supervivencia.

Un ejemplo característico de la resistencia que a veces opone el pensamiento intuitivo a las netas conclusiones del pensamiento analítico lo tenemos en la opinión de H. Lawrence sobre la naturaleza de la Luna: «Me da lo mismo que me digan que la Luna es una roca inerte en el firmamento. Yo sé *positivamente* que no lo es». Por supuesto, la Luna es más que una roca inerte en el firmamento. Es hermosa, tiene connotaciones románticas, es causa de mareas y hasta puede que, en última instancia, sea el factor que condiciona el ciclo menstrual de la mujer. Pero es innegable que uno de sus rasgos es, precisamente, el ser una roca inerte en el cielo. El pensamiento intuitivo se desenvuelve a sus anchas en los dominios en los que hemos tenido experiencia personal de tipo evolucionista, pero en parcelas tan nuevas como la determinación de la naturaleza de los objetos celestes más cercanos a la Tierra, el razonamiento intuitivo debe mostrarse más cauto en sus aserciones y dispuesto a acomodarse a las percepciones que el pensamiento racional arrebató a la naturaleza. Por la misma razón, los procesos del pensamiento racional no constituyen fines en sí mismos, sino que deben entenderse en el contexto más amplio del bienestar humano. La naturaleza y la orientación del empeño racional y analítico deberían estar determinados en buena parte por las implicaciones humanas fundamentales tal como nos son reveladas por el conocimiento intuitivo.

En cierto modo, la ciencia puede ser definida como el pensamiento paranoico aplicado a la naturaleza. En efecto, andamos a la búsqueda de conspiraciones naturales, de nexos entre hechos aparentemente dispares. Nuestro objetivo no

es otro que abstraer configuraciones o modelos de la naturaleza (pensamiento del hemisferio derecho), pero muchas de las pautas propuestas no se corresponden en la práctica con la realidad de estos hechos. De aquí la conveniencia de someter todos los criterios avanzados al cedazo del análisis crítico (pensamiento del hemisferio izquierdo). La búsqueda de configuraciones sin análisis crítico y la ostentación de un rígido escepticismo sin la búsqueda de configuraciones son las antípodas de una ciencia incompleta. La búsqueda efectiva del saber requiere la concurrencia de ambas funciones.

En la actualidad, el cálculo matemático, la física newtoniana y la óptica geométrica —todos ellos inferidos de argumentos esencialmente geométricos— se enseñan y demuestran en gran parte en base a razonamientos analíticos; el hemisferio derecho interviene más en el aspecto creativo de la física y de la matemática que en la enseñanza de dichas disciplinas. Lo mismo ocurre hoy en el terreno de las grandes formulaciones científicas, generalmente intuitivas y expuestas en los artículos científicos, también por norma, mediante argumentos analíticos lineales. Nada anómalo hay en ello. Por el contrario, así es como debe ser. Los actos creativos son en buena medida resultado de los componentes del hemisferio derecho, pero los razonamientos sobre la validez del resultado son, primordialmente, funciones del hemisferio izquierdo.

Una de las más formidables intuiciones de Albert Einstein, de capital importancia para la teoría de la relatividad general, fue la de que la gravitación podía ser entendida asignando el valor cero al tensor contraído de Riemann-Christoffel. Pero este argumento sólo fue aceptado porque era posible determinar con detalle las consecuencias matemáticas de la ecuación, ver si sus predicciones diferían de las de la gravitación newtoniana y recurrir luego a la experimentación para observar de qué lado se inclinaba la naturaleza. En tres notables experimentos —la desviación de la luz estelar en las proximidades del sol; el movimiento de la órbita de Mercurio, el planeta más cercano al astro; el corrimiento hacia el rojo (*red shift*) de las líneas espectrales por acción de un intenso campo gravitatorio estelar—, la naturaleza se inclinó a favor de las teorías de Einstein. Pero de no haber mediado estos ensayos experimentales muy pocos físicos hubiesen dado por buena la teoría de la relatividad general. Existen en el campo de la física numerosas hipótesis de valor y nivel intelectual comparables a las formuladas por Einstein que han sido rechazadas porque no consiguieron salir airoso de la confrontación con la vía experimental. Por mi parte, creo que la condición humana se vería muy beneficiada si esta pugna y afán de poner a prueba las hipótesis científicas y de otro género fuera una constante de nuestra vida social, política, económica, religiosa y cultural.

No sé de ningún progreso científico notable que no requiera un gran acopio de datos de ambos hemisferios cerebrales. No puede decirse otro tanto del arte, campo en el que, manifiestamente, ningún observador, por capacitado, entregado y objetivo que sea, puede llevar a cabo experimentos que determinen a satisfacción de todos qué muestras artísticas deben ser consideradas como obras maestras. Entre los centenares de ejemplos que se podrían aducir, cabe resaltar que los más destacados críticos, revistas y museos de arte de finales del siglo XIX y primeros del XX rechazaron de plano la corriente impresionista francesa. Pues bien, hoy estas mismas instituciones consideran a los artistas de esta tendencia auténticos maestros de la pintura. Tal vez dentro de un siglo el péndulo vuelva a oscilar hacia el otro lado.

Este mismo libro, del que soy autor, viene a ser un ejercicio de reconocimiento de configuraciones, de modelos, una tentativa para llegar a una mínima comprensión de la naturaleza y evolución del intelecto humano a partir de los indicios que proporcionan una amplia variedad de disciplinas científicas y mitos. En buena medida es obra del hemisferio derecho, y durante su elaboración me he despertado muchas veces en mitad de la noche, o de madrugada, desasosegado por el júbilo contenido de una intuición que me había venido a la mente. Pero la autenticidad de estas intuiciones —y confío en que muchas de ellas exijan una revisión sustancial— dependerá de la eficiencia con que haya trabajado mi hemisferio *izquierdo* (y, tam bién, de si he mantenido determinadas formulaciones, por cuanto ignoro las pruebas que las contradicen). En el curso de la redacción de este libro me he visto frecuentemente sorprendido al constatar su carácter de metaejemplo, en el sentido de que tanto su concepción como su ejecución ilustran el tema de que trata.

En el siglo xvn la relación entre cantidades matemáticas podía expresarse de dos maneras: mediante una ecuación algebraica o tra zando una curva. Rene Descartes demostró la identidad formal de estas dos estimaciones del mundo matemático al inventar la geometría analítica, que permite la representación gráfica de las ecuaciones algebraicas. (Digamos de paso que Descartes era, también, un anatomista interesado en la localización de las funciones del cerebro.) En la actualidad, la geometría analítica es una asignatura que se estudia en el bachillerato, pero en la época de referencia supuso una brillante aportación. Sin embargo, una ecuación algebraica es una construcción prototípica del hemisferio izquierdo, en tanto que una curva geométrica regular, es decir, la resultante gráfica obtenida mediante la unión de diversos puntos en el espacio, es una elaboración característica del hemisferio derecho. En cierto sentido, cabe afirmar que la geometría analítica es el cuerpo calloso de las matemáticas. En la actualidad observamos que gran número de teorizaciones, o bien se muestran antagónicas, o bien acusan una evidente falta de interacción. En algunas importantes instancias suponen un enfrentamiento entre consideraciones o perspectivas del hemisferio izquierdo y del hemisferio derecho. Una vez más se echa desesperadamente en falta un nexo que, como en el caso de Descartes, relacione teorías en apariencia inconexas o antitéticas.

Pienso que las actividades creativas más notables surgidas en nuestra cultura o en cualquier otra cultura humana anterior —códigos legales y éticos, arte y música, ciencia y técnica— fueron posibles merced a la acción conjunta de los hemisferios cerebrales derecho e izquierdo. Esos actos creativos, aun cuando se produzcan raras veces o correspondan sólo al empeño de unos pocos, han contribuido a transformar el hombre y el mundo. Bien podría decirse que la cultura humana es la función por excelencia del cuerpo calloso.

La evolución futura del cerebro

La peligrosidad es cosa del futuro ... Los más notables avances de la civilización son procesos que casi aniquilan a las sociedades en cuyo seno se producen.

ALFRED NORTH WHITEHEAD, *Adventures in ideas*

La voz del intelecto es callada, pero no cesa hasta con quistar una audiencia y, en última instancia, después de interminables repudios, consigue su objetivo. Es este uno de los pocos aspectos en los que cabe un cierto optimismo sobre el futuro de la humanidad.

SIGMUND FREUD, *El futuro de una ilusión*

La mente del hombre es capaz de todo, porque todo está contenido en ella, tanto el pasado como el futuro.

JOSEPH CONRAD, *Heart of Darkness*

El cerebro humano parece hallarse en una fase de inestable tregua, con esporádicas escaramuzas y raros combates.

La existencia de componentes cerebrales con predisposición hacia un tipo de conducta no es una invitación al fatalismo ni a la angustia, puesto que ejercemos un control sustancial sobre el grado de intervención de cada uno de estos componentes. La anatomía no es determinismo, pero tampoco un factor irrelevante. Hay por lo menos algunas enfermedades mentales que pueden interpretarse en base a la existencia de un conflicto entre las partes neurales concurrentes. La mutua represión entre los componentes cerebrales se pola riza en múltiples direcciones. Hemos mencionado ya la represión que ejercen el sistema límbico y el neocórtex sobre el complejo R, pero puede darse también a través de la propia comunidad social una represión del complejo R sobre el neocórtex y de un hemisferio cerebral sobre otro.

El hombre examinándose a sí mismo Ohra de Vesalio, madre de la anatomía moderna.

Por regla general, las sociedades humanas no son innovadoras, sino más bien jerárquicas y ritualistas. Cualquier sugerencia de cambio se acoge con recelo, ya que implica la incómoda transformación futura del ritual y la jerarquía imperantes, es decir, la sustitución de una serie de rituales por otra o, tal vez, por una sociedad menos estructurada y regida por un número inferior de rituales. Sin embargo, llega un momento en que es preciso que las sociedades cambien. «Los dogmas de un pasado tranquilo son insuficientes para un presente tumultuoso», aseveró Abraham Lincoln. Buena parte de las dificultades que surgen al intentar reestructurar las sociedades norteamericanas y de otros pueblos arrancan de la resistencia que oponen los grupos que tienen intereses creados en el *statu quo*. Es probable que una transformación profunda de la sociedad obligue a los que ocupan el pináculo de la jerarquía a descender muchos peldaños, lo cual les irrita y les mueve a ofrecer resistencia.

Sin embargo, se observa en la sociedad occidental algún cambio, incluso cambios de consideración, aunque a todas luces insuficientes. Pero en todo caso, las mutaciones son ahí más evidentes que en ninguna otra sociedad. En efecto, las culturas más arcaicas y estáticas se muestran mucho más reticentes ante cualquier transformación. En *The forest people* (Los habitantes de la selva), Colin Turnbull nos ofrece una conmovedora descripción de una muchacha pigmea tullida a la que unos antropólogos que visitaron la tribu proporcionaron lo que en aquel momento constituía una asombrosa innovación: un par de muletas. A pesar de que sirvieron para paliar en gran manera los sufrimientos de la muchachita, los adultos de la tribu, sin excluir a los padres, se mostraron indiferentes ante esta invención.

Quizá deba hacer notar, en defensa de los pigmeos, que un amigo mío que ha pasado tiempo entre ellos señala que en actividades tales como el paciente acecho y caza de mamíferos y peces el pigmeo se prepara intoxicándose con marihuana, que ayuda a soportar la larga espera, tediosa para cualquier especie más evolucionada que el dragón de Komodo. Según dice mi amigo, los nativos sólo cultivan la *cannabis sativa*. Sería irónicamente interesante que el cultivo de la marihuana a lo largo de la historia humana hubiera conducido como norma a la invención de la agricultura y, por esta vía, a la civilización. (Una parodia burlesca del pigmeo intoxicado con marihuana, apostado pacientemente en solitario durante una hora con la caña de pescar en la mano, podría ser la figura del cazador saturado de cerveza, camuflado protectoramente en un rojo tartán, que todos los años, al llegar el día de Acción de Gracias, merodea con paso tambaleante por los bosques aledaños a los barrios

Existen muchos otros ejemplos de desapego hacia todo lo nuevo en las sociedades de corte tradicional, y podrían abstraerse numerosos casos ilustrativos repasando las vidas de personajes como Leonardo, Galileo, Erasmo, Darwin o Freud.

Por regla general, el tradicionalismo que exhiben muchas sociedades estáticas tiene una misión adaptativa. Las formas culturales que rigen en ella se han desarrollado trabajosamente a lo largo de muchas generaciones, y se sabe que cumplen a satisfacción sus propósitos. Al igual que ocurre en las mutaciones, un cambio fortuito puede interferir esta dinámica. Pero también como aquéllas, los cambios son necesarios para conseguir la adaptación a nuevas circunstancias ambientales. La tensión entre estas dos tendencias puntea gran parte de las pugnas políticas de nuestra era. En las épocas caracterizadas por una rápida transformación del medio físico y social, como ocurre en nuestros días, la acomodación al cambio y la aceptación del mismo tienen un fin adaptativo, pero no así en las sociedades que habitan en un entorno estático. Las formas de vida de los pueblos cazadores-recolectores han sido de utilidad al hombre durante un largo periodo de nuestra historia, y creo que existen pruebas irrefutables de que en cierto sentido la evolución nos ha configurado para que nos desenvolvamos en una cultura de este tipo. Al abandonar la vida del cazador-recolector abandonamos la infancia de nuestra especie. Tanto la cultura primitiva como la cultura de la era tecnológica son productos del neocórtex. A la sazón, nos encaminamos irreversiblemente por esta última senda, pero necesitaremos algún tiempo para acoplarnos a sus exigencias.

Gran Bretaña ha dado al mundo una serie de eruditos y científicos muy versados en varias disciplinas, algunas veces en posesión de un conocimiento enciclopédico. Por lo que atañe a nuestra época podemos citar los nombres de Bertrand Russell, A. N. Whitehead, J. B. S. Haldane, J. D. Bernal y Jacob Bronowski. Según Russell, para que surjan individuos tan dotados es preciso que su infancia haya discurrido sin apenas presiones y lejos de todo conformismo, que el muchacho o muchacha haya podido cultivar y acrecentar sus intereses por peculiares y extravagantes que pudieran parecer. Debido a las fuertes presiones que el Estado y el propio entorno ejercen en los muchachos dotados para someterlos a las exigencias sociales, no es extraño que ni en Estados Unidos, ni menos aún en la Unión Soviética, Japón o la República Popular China, surja un número proporcional de individuos en posesión de conocimientos enciclopédicos. Creo, por lo demás, que existen indicios de que también Gran Bretaña conoce en la actualidad un manifiesto declive en este aspecto.

Hoy más que nunca, cuando tantos y tan complejos problemas asaltan a la especie humana, es necesaria la presencia de individuos con un alto coeficiente intelectual y un amplísimo campo de intereses. Habría que encontrar la fórmula, compatible con los ideales democráticos que pregonan estos países, para estimular, sin deshumanizar la tarea, el desarrollo intelectual de aquellos adolescentes especialmente dotados. Sin embargo, el panorama es desalentador, ya que tanto los sistemas docentes como los métodos de examen que rigen en la mayoría de estos países adolecen de una ritualización casi reptilica del proceso educacional. En ocasiones me pregunto si la carga agresiva y sexual de los productos televisivos y fílmicos que ofrecen las productoras norteamericanas refleja el hecho de que el complejo R se halla bien afirmado en todos nosotros, en tanto que muchas funciones neocorticales se expresan más raramente porque estamos menos familiarizados con ellas y no las apreciamos en su justo valor, debido, en parte, a la naturaleza represiva de las instituciones docentes y de la propia comunidad nacional.

Un cazador-recolector acecha a su presa y, a la vez, educa al muchacho. Esta forma de vida, que durante millones de años ha sido característica de nuestra especie, se halla a la sazón casi extinta.

Como resultado de los profundos cambios sociales y tecnológicos acaecidos en los últimos siglos, el mundo no marcha como es debido. Resulta que no vivimos en sociedades tradicionales estáticas, pero nuestros gobiernos, opuestos al cambio, actúan como si así fuera. Si antes no nos destruimos a nosotros mismos, el futuro pertenece a las comunidades sociales que, sin ignorar las partes reptílicas y los componentes propios de los mamíferos, permitan el florecimiento de los rasgos genuinamente humanos de nuestra naturaleza, a las sociedades dispuestas a invertir recursos en una multiplicidad de experimentos de orden social, político, económico y cultural, y que estén dispuestas a sacrificar ventajas inmediatas por beneficios a largo plazo. El futuro pertenece, en fin, a las sociedades que consideran las ideas innovadoras como delicadas, frágiles y preciosas vías hacia el futuro.

Un mejor conocimiento del cerebro puede influir también algún día en cuestiones sociales tan delicadas como son la definición de la muerte y la aceptabilidad del aborto. Por regla general, en los países de Occidente priva el criterio ético de que, si las circunstancias lo justifican, es permisible dar muerte a primates distintos del hombre y, con mayor motivo, a otros mamíferos. Sin embargo, un individuo no puede, en las mismas circunstancias, matar a otro ser humano. De ello se infiere que la diferencia entre una y otra actitud se explica por las cualidades específicamente humanas del cerebro. De la misma manera, cuando funcionan partes sustanciales del neocórtex, debe considerarse que el paciente en estado de coma está ciertamente vivo en un sentido humano, a pesar del grave deterioro de otras funciones físicas y neurológicas. Por el contrario, un paciente vivo pero que no presente indicios de actividad neocortical (ni siquiera la que se da durante el sueño) debe conceptuarse, en un sentido humano, como muerto. En muchos de estos casos el neocórtex ha dejado fatalmente de funcionar, mientras que el sistema límbico, el complejo R y los componentes cerebrales inferiores siguen operantes, a la par que funciones básicas como la respiración y la circulación sanguínea no se ven afectadas. En mi opinión hace falta profundizar más en el conocimiento de la fisiología del cerebro humano antes de poder dar una definición genérica y bien fundamentada de la muerte, pero lo más probable es que la senda que conduce a esta definición nos lleve a contraponer el neocórtex a los restantes componentes del cerebro.

Ideas similares podrían ayudar a resolver el apasionado debate sobre el aborto surgido en los Estados Unidos

mediado el actual decenio, una controversia en extremo vehemente caracterizada por el rechazo rotundo de los puntos de vista de la otra parte. Por un lado están los que sostienen el derecho innato de la mujer al «control de su propio cuerpo», lo cual incluye, según los que defienden esta tesis, el poder provocar la muerte del feto en base a diversos motivos, entre los que destacan la aversión psicológica a engendrar un hijo y la falta de medios para educarlo. En el otro extremo están los que defienden la idea del «derecho a la vida», la aserción de que la muerte de un simple cigoto, de un óvulo fertilizado antes de la primera etapa embrionaria, equivale a un asesinato, por cuanto el cigoto lleva en sí la capacidad de dar vida a un ser humano. Soy perfectamente consciente de que en un tema en el que concurren sentimientos tan apasionados toda solución que se proponga no satisfará a ninguna de las dos partes, y en ocasiones el corazón y la mente nos llevan a diferentes conclusiones. Sin embargo, retomando algunas ideas avanzadas en capítulos anteriores de este libro, quisiera ofrecer aunque sólo fuera una tentativa de compromiso razonable.

En indiscutible que legalizando el aborto se evita el drama y la carnicería a que conduce muchas veces el aborto clandestino realizado por manos incompetentes, y que en una civilización cuya supervivencia se ve amenazada por el espectro de un crecimiento demográfico sin control alguno, el aborto médico puede redundar en beneficio de la sociedad. Por otro lado, el infanticidio a secas resuelve de golpe ambos problemas y de hecho se ha empleado de manera generalizada en el seno de numerosas comunidades humanas, entre ellas determinados sectores sociales de la antigua Grecia, país que suele considerarse como la cuna de nuestra cultura. En la actualidad sigue practicándose en gran medida; en muchas partes del mundo uno de cada cuatro recién nacidos no vive más allá de un año. Sin embargo, y con arreglo a las leyes que rigen en la sociedad occidental, no cabe la menor duda de que el infanticidio constituye un asesinato. Teniendo en cuenta que un sietemesino, es decir, un niño nacido prematuramente en el séptimo mes del embarazo, no se diferencia en nada fundamental del feto que lleva siete meses en el útero, me parece lógico concluir que el aborto, por lo menos en los últimos tres meses, ronda el asesinato. Las objeciones de que el feto durante el tercer trimestre todavía no respira me parecen un tanto equívocas, y, así, cabría preguntarse si es permisible cometer infanticidio inmediatamente después de que la criatura haya nacido, cuando todavía no se ha cortado el cordón umbilical ni el niño ha aspirado la primera bocanada de aire. En una línea discursiva similar, si yo no estoy psicológicamente preparado para convivir con un extraño, por ejemplo, en un cuartel o en una residencia universitaria, no por ello tengo derecho a darle muerte, y, de la misma manera, la irritación que pueda producirme el destino que se da al dinero que pago en concepto de impuestos no debe llevarme al extremo de exterminar a los recipiendarios de los mismos. Con frecuencia suele entremezclarse en estos debates la cuestión de las libertades civiles. ¿Por qué se me han de imponer las convicciones de otros sobre esta cuestión?, se preguntan algunos. Con todo, aquellos que personalmente no suscriben el concepto convencional de asesinato, se ven constreñidos por la sociedad a someterse a lo dispuesto en el código penal.

En el polo opuesto de la discusión, la frase «derecho a la vida» constituye un ejemplo claro de expresión altisonante concebida para impresionar más que para aclarar las cosas. Ni hoy ni nunca ha existido en ningún país de la tierra el derecho a la vida (tal vez haya alguna excepción, como los jainís de la India). Criamos animales domésticos para luego darles muerte, destruimos los bosques, contaminamos ríos y lagos hasta causar la muerte de toda la fauna piscícola, cazamos venados por deporte, leopardos por la piel y ballenas para preparar comida para los perros, atrapamos a los delfines, boqueantes y semiasfixiados, con grandes redes del tipo utilizado para la pesca del atún, y sentenciamos a muerte a los perros cachorros para «equilibrar la población». Todos estos animales y vegetales están tan vivos como nosotros. Lo que muchas sociedades humanas protegen no es la vida, sino la vida del hombre, y aun así desencadenamos guerras con medios «modernos» que causan estragos en la población civil y que suponen un tributo tan escandaloso que muchos de nosotros ni siquiera nos atrevemos a entrar en su consideración. A menudo se intenta justificar este genocidio acudiendo a una redefinición racista o nacionalista de nuestros oponentes que no les reconoce siquiera la condición de hombres.

Debo decir, también, que el argumento acerca de la capacidad del cigoto para dar vida a un ser humano me parece sumamente endeble. En circunstancias propias cualquier óvulo o esperma tiene este mismo potencial. Con todo, ni la masturbación ni las poluciones nocturnas del varón suelen conceptuarse como actos antinaturales merecedores de una condena por asesinato. Una sola eyaculación contiene suficiente número de espermatozoos para generar centenares de millones de seres humanos. Por si esto fuera poco, es posible que en un futuro no muy lejano podamos dar vida a un ser humano a partir de una simple célula tomada prácticamente de cualquier parte del cuerpo del donante. Si ello es así, cualquier célula del organismo debidamente preservada hasta el momento en que la gestación extracorpórea se lleva a la práctica con garantías puede llegar a convertirse en un ser vivo. Por lo demás, ¿cometo un genocidio si me pincho un dedo y vierto una gota de sangre? Como puede observarse, se trata de cuestiones muy complejas. Asimismo, me parece evidente que la solución debe entrañar un compromiso entre un número de valores muy preciados pero antagonicos. La cuestión clave del dilema radica en poder determinar en qué momento el feto puede considerarse un ser humano, dilema que a su vez depende de lo que se entienda por humano. Desde luego, no el hecho de tener una configuración humana, porque una masa de material orgánico que se asemejara a un hombre pero que fuera elaborada con tal fin no podría considerarse propiamente humana. Asimismo, un hipotético ser extraterrestre dotado de inteligencia que no se asemejara a nosotros pero que poseyera unas cualidades éticas, intelectuales y artísticas superiores a las del hombre debería entrar en nuestro cuadro de prohibiciones contra el asesinato. Lo que acredita nuestra condición humana no es lo que parecemos, sino lo que somos. La razón por la que prohibimos dar muerte a otro ser humano debe sustentarse en alguna cualidad peculiar del hombre, cualidad a la que conferimos especial valor y que pocos o ningún otro organismo de la Tierra posee. Es indudable que la humanidad de un ser no viene determinada por el hecho de que sea capaz de sentir dolor o emociones intensas, ya que entonces deberíamos extender este criterio a los animales a los que damos muerte gratuitamente.

Creo que la cualidad humana básica no puede ser otra que nuestra inteligencia. Si lo consideramos así, la inapelable inviolabilidad de la vida humana puede identificarse con la evolución y la presencia del neocórtex. No podemos exigir que se trate de una evolución plena porque ésta no se produce hasta muchos años después del nacimiento, pero tal vez podríamos determinar que el tránsito a la fase humana acaece en el momento en que se inicia la actividad neocortical tal como viene registrada por la electroencefalografía del feto. La observación de algunas funciones biológicas muy simples nos ofrece indicativos del momento en que el cerebro cobra un carácter específicamente humano (véase la figura de la página siguiente). Hasta la fecha se ha investigado muy poco dicha cuestión, y estoy convencido de que los estudios en este terreno desempeñarían un papel determinante en la consecución de un compromiso aceptable que zanjara los debates sobre el aborto. Indudablemente, habría diferencias de un feto a otro en cuanto al momento de iniciación de las primeras señales electroencefalográficas del neocórtex, y todo intento de formular una definición legal del momento en que comienza la vida propiamente humana debería adoptar una pauta de prudencia, es decir, en favor del feto menos desarrollado capaz de exhibir tal actividad. Tal vez el momento de transición habría que fijarlo hacia el término del primer trimestre o próximo al inicio del segundo trimestre del embarazo. (Estamos hablando aquí de lo que, en una sociedad de seres racionales, debería estar prohibido por la ley. O sea, que todo aquel que piense que el aborto de un feto menos desarrollado que el propuesto como base constituye un asesinato, no tiene por qué verse obligado a llevar a cabo ni aceptar el aborto en cuestión.)

Pero una aplicación consecuente de las ideas expuestas ha de rehuir todo intento de chovinismo humano. Si existen otros organismos cuya inteligencia, aunque de grado inferior, corresponda a la de un ser humano completamente desarrollado, habría que ofrecerles por lo menos la misma protección contra el asesinato que deseamos hacer extensiva al ser humano ya en los comienzos de su vida uterina. Por todo ello, habida cuenta de que existen cuando menos pruebas suficientes que abonan la creencia de que los delfines, ballenas y simios de toda especie son criaturas inteligentes, estimo que toda postura moral sobre el aborto que sea un poco consistente ha de contener severas disposiciones contra, por lo menos, la matanza injustificada de estos animales. Pero creo que la clave última de la solución a la controversia sobre el aborto debe dársela la investigación de la actividad neocortical del feto.

¿Qué decir de la evolución futura del cerebro humano? Cada vez se amplía más el ya numeroso cúmulo de pruebas de que muchas enfermedades mentales son consecuencia de alteraciones químicas o de la red neural del cerebro. Dado que muchas enfermedades mentales presentan los mismos síntomas, cabe pensar que tienen un mismo origen y que, por lo tanto, deben ser tratadas con arreglo a una misma terapéutica.

Cuatro fases del proceso embrionario del cerebro humano: A) después de tres semanas de embarazo; B) transcurridas siete semanas; C) después de cuatro meses, y D) en un recién nacido. En las fases A y B el cerebro se asemeja en gran manera al de los peces y anfibios.

Hughlings Jackson, pionero de la neurología en el siglo XIX, observó: «Averigua el contenido de los sueños y conocerás la causa de la insania». Los individuos que no pueden soñar a menudo o tienen dificultades para hacerlo sufren alucinaciones durante el día. La esquizofrenia, por ejemplo, suele llevar aparejado insomnio nocturno, aunque no ha podido determinarse si se trata de una causa o de un efecto. Uno de los aspectos más conmovedores de la esquizofrenia es la infelicidad y la angustia que provoca en sus víctimas. ¿No es posible que la esquizofrenia sea la situación resultante ante la imposibilidad de mantener encadenados a nuestros dragones, cuando éstos han roto los grillos que les sujetaban al hemisferio izquierdo y salen bruscamente a la luz del día? Tal vez otras dolencias sean consecuencia de un menoscabo de la función del hemisferio derecho. Así, pocas veces se observan flujos intuitivos en los enfermos obsesivo-compulsivos.

A mediados de los sesenta, Lester Grinspoon y sus colegas de la Facultad de Medicina de Harvard llevaron a cabo una serie de experimentos controlados sobre el valor relativo de distintas técnicas terapéuticas en el tratamiento de la esquizofrenia. Por el hecho de ser psiquiatras, si alguna deformación profesional podía imputárseles era su preferencia por las técnicas de comunicación frente a los tratamientos farmacológicos. Pero con gran sorpresa por su parte descubrieron que la tioridacina (medicamento perteneciente a un grupo de drogas antipsicóticas que producen aproximadamente el mismo efecto y que se conocen como fenotiacinas), tranquilizante recién descubierto, resultaba mucho más eficaz para dominar la enfermedad que para sanarla. Lo cierto es que, al decir de los propios enfermos, psiquiatras y familiares, la tioridacina era por sí sola tan eficaz, al menos, como el medicamento más la psicoterapia. Sorprende la integridad de los investigadores ante el imprevisto resultado de sus experimentos. (Es poco probable que haya un sólo experimento capaz de convencer a los jefes de fila de muchas doctrinas políticas o religiosas de la superioridad de una doctrina antagonista.)

Una serie de investigaciones llevadas a cabo recientemente muestra que las endorfinas, moléculas proteínicas de escaso volumen que se forman por generación espontánea en el cerebro de las ratas y otros mamíferos, pueden provocar en estos animales una marcada rigidez muscular y sumirlos en un torpor que recuerda el estado catatónico del esquizofrénico. Todavía desconocemos si la esquizofrenia, antaño padecida por uno de cada diez enfermos internados en los hospitales estadounidenses, tiene un origen molecular o neurológico, pero no es improbable que algún día podamos determinar con exactitud qué componentes o qué sustancias neuroquímicas son causantes de este desarreglo mental.

Los experimentos llevados a cabo por Grinspoon y colaboradores han suscitado un singular dilema en el campo de la ética profesional. En la actualidad los sedantes que se administran a los esquizofrénicos son de tal eficacia que, por norma, se considera inmoral retirárselos al paciente. De ello se sigue que los experimentos realizados para demostrar la

eficacia de un sedante no pueden repetirse, pues se considera una crueldad innecesaria negar al paciente el tratamiento que más contribuye a mejorar su condición y, en consecuencia, es difícil poder experimentar con un grupo de esquizofrénicos privado de dichos medicamentos. Si los experimentos críticos de la quimioterapia de los desórdenes cerebrales sólo pueden realizarse una sola vez, es obvio que deberán hacerse tomando toda clase de garantías para no cometer equivocaciones.

Un ejemplo todavía más sorprendente de este tipo de quimioterapia es el uso del carbonato de litio en el tratamiento de los maníaco-depresivos. La ingestión de dosis de litio cuidadosamente controladas —el litio es el metal más simple y de menor peso específico que se conoce— alivia considerablemente los síntomas de esta terrible enfermedad, siempre según el testimonio del paciente y de los que cuidan de él. Se ignoran los motivos con los cuales una terapia tan sencilla produce efectos tan contundentes, pero lo más probable es que tenga que ver con la química enzimática del cerebro.

Una de las más raras dolencias mentales es la llamada enfermedad de Gilles de la Tourette (que toma el nombre, como es habitual, no del personaje más célebre que la padeció, sino del médico que la identificó como tal). Uno de los muchos trastornos motores y del lenguaje que componen los síntomas de esta dolencia es una manifiesta compulsión a proferir —en el idioma en que el paciente se exprese con más fluidez— una sarta ininterrumpida de imprecaciones y obscenidades. Los médicos aluden a la identificación de esta enfermedad como la «diagnos del pasillo». No sin grandes dificultades el paciente logra dominar su compulsión durante el intervalo de una corta visita médica, pero tan pronto abandona el consultorio y sale al pasillo prorrumpe en un torrente de palabrotas. Sin duda existe en el cerebro un componente que genera las palabras «feas», y es posible que también los simios lo posean.

El hemisferio derecho sólo puede despachar con éxito muy con todas palabras; expresiones de salutación como «hola», «adiós» y... unas cuantas obscenidades selectas. Tal vez la enfermedad de Tourette afecta solamente al hemisferio izquierdo. El antropólogo británico Bernard Campbell, de la Universidad de Cambridge, manifiesta que el sistema límbico está bien acoplado con el hemisferio cerebral derecho, que, como hemos visto, regula mucho mejor las emociones que el hemisferio izquierdo. Aparte de otros contenidos, las palabras soeces implican emociones intensas. Sin embargo, y a pesar de su complejidad, la enfermedad de Gilles de la Tourette parece ser una deficiencia específica de una sustancia química que actúa de transmisor de neuronas y puede aliviarse en gran manera mediante dosis cuidadosamente reguladas de haloperidol.

Según se desprende de las más recientes investigaciones, las hormonas límbicas como el ACTH y la vasopresina pueden incrementar grandemente la capacidad de retención y evocación en los animales. Estos y otros experimentos parecidos apuntan la posibilidad, ya que no del perfeccionamiento integral del cerebro, sí, por lo menos, de unas perspectivas de mejora sustanciales, tal vez modificando la abundancia o regulando la producción de pequeñas proteínas cerebrales. De los ejemplos mencionados se desprende también que los pacientes experimentan una notable disminución del sentimiento de culpa que suele acompañar a una enfermedad mental, carga que rara vez encontramos, pongamos por caso, en los enfermos de sarampión.

La notable fisuración, las circunvoluciones y pliegues corticales del cerebro, así como el hecho de que encaje tan ajustadamente en el cráneo, hacen altamente improbable un aumento suplementario de la masa cerebral. La masa cerebral y la bóveda craneal sólo sufrieron un aumento en fase evolutiva reciente dadas las limitaciones que imponía la pelvis y el canal del parto. Con todo, la práctica de la cesárea, muy rara hace dos mil años, pero muy común en nuestros días, permite que nazcan individuos con mayor volumen cerebral. Otra posibilidad radica en el perfeccionamiento de una tecnología médica que permita el desarrollo integral del feto fuera del útero materno. Sin embargo, el ritmo del cambio evolutivo es tan lento que no cabe pensar en la superación de los problemas que hoy nos asaltan mediante un incremento notable del neocórtex que, consiguientemente, se tradujera en la generación de individuos dotados de un mayor grado de inteligencia. Pero antes de que llegue este momento, aunque no en un futuro inmediato, cabe dentro de lo posible que la neurocirugía potencie aquellos componentes cerebrales que nos parezcan más idóneos e inhiba la acción de aquellos otros que tal vez son causa de algunos de los peligros y contradicciones con que se enfrenta la humanidad. De todos modos, la complejidad y la redundancia de las funciones cerebrales imposibilitan que todo ello se lleve a la práctica en un corto lapso de tiempo, aun en el supuesto de que fuera socialmente apetecible. Lo más probable es que lleguemos antes a elaborar los genes que a remodelar el cerebro.

A veces se indica que este género de experimentos ponen en manos de gobernantes poco escrupulosos, y los hay en cantidad, instrumentos que les permiten oprimir todavía más a sus subditos. No es difícil, por ejemplo, pensar en un gobierno que aplique por sistema cientos de pequeños electrodos a los centros del «placer» y del «dolor» en el cerebro de los neonatos, electrodos capaces de ser estimulados por radio y a gran distancia, quizá utilizando frecuencias de onda o códigos de acceso sólo conocidos por las autoridades del país en cuestión. Cuando el niño fuera ya un adulto el gobierno estaría en condiciones de estimular, si así lo deseara, sus centros de placer caso de haber cumplido con la porción de trabajo asignada sin desviacionismos ideológicos, en caso contrario, podría optar por estimular sus centros de dolor. Aun cuando se trata de una visión dantesca, no creo que sea un argumento contra los experimentos en torno a la estimulación eléctrica del cerebro; más bien constituye un argumento en contra de la gestión estatal de los hospitales. En el momento en que la comunidad social permitiera a sus gobernantes implantar el uso de estos electrodos puede decirse que tendría la batalla perdida y tal vez, incluso, que merece lo que le viene encima. Como siempre que entran en juego este tipo de pesadillas tecnológicas hay que intentar, ante todo, anticiparse lo más posible a los acontecimientos, educar a la ciudadanía en el buen uso de estos medios e impedir su empleo desorbitado por parte de las autoridades o el lastre de un exceso de organización y de burocracia en su utilización.

Existe ya una amplia gama de drogas psicotrópicas que inciden en el estado de ánimo del individuo y que son, en diverso grado, peligrosas o beneficiosas (el alcohol etílico es quizás una de las más usadas y una de las más peligrosas). Al parecer actúan en áreas específicas del complejo R, del sistema límbico y del neocórtex. Si continúa la actual tendencia, aunque no exista incitación gubernamental, la gente proseguirá sintetizando estas drogas en laboratorios caseros y experimentando por su cuenta con ellas, hecho que representa un pequeño paso adelante en nuestro conocimiento del cerebro, de sus disfunciones y de sus posibilidades latentes.

Existen motivos para creer que muchos alcaloides y otros medicamentos afectan a nuestros actos en razón de su semejanza química con pequeñas proteínas naturales del cerebro como las endorfinas. Muchas de estas proteínas actúan sobre el sistema límbico e interesan a nuestro estado emocional. En la actualidad es posible sintetizar pequeñas proteínas compuestas por una secuencia cualquiera de aminoácidos. Así, es probable que en breve se pueda sintetizar una gran variedad de moléculas capaces de inducir en el hombre múltiples estados emocionales, incluso aquellos que se dan raras veces. Por ejemplo, existen indicios de que la atropina —uno de los principales ingredientes activos de la cicuta, el digital, la belladona y ciertas plantas de agua dulce— produce la sensación de estar volando, y de hecho estas plantas sirvieron en su día a las brujas medievales para preparar ungüentos que luego se aplicaban a la mucosa genital y que lejos de permitirles volar en sus escobas, como decían, se limitaban a sumirlas en alucinaciones inducidas por la atropina. Sin embargo, la vívida alucinación de estar volando es una sensación muy específica causada por una molécula relativamente simple. Tal vez llegue a sintetizarse una gama de pequeñas proteínas que susciten en el individuo estados emocionales nunca experimentados con anterioridad. Es esta una de las múltiples expectativas a corto plazo en el ámbito de la química cerebral, llena de promesas tanto en lo positivo como en los aspectos negativos. Todo dependerá del buen criterio que demuestren los que dirigen, controlan y aplican esta investigación.

Cuando salgo de la oficina y me siento al volante, me doy cuenta de que a menos que realice un esfuerzo consciente lo más probable es que me encamine en derechura a casa, y a la inversa, cuando salgo de casa y me subo al coche, si no realizo un esfuerzo similar, una parte de mi cerebro ordena los acontecimientos de forma que acabe dirigiéndome a la oficina. Si cambio de residencia o de lugar de trabajo, tras un corto periodo de aprendizaje las nuevas ubicaciones sustituyen a las anteriores, y sea cual fuere el mecanismo cerebral que regula mis actos, el caso es que se ha adaptado fácilmente a las nuevas coordenadas. Estos hechos equivalen a la autoprogramación de una parte del cerebro que funciona como un computador digital. La comparación cobra aún mayor realce en el momento en que nos damos cuenta de que los epilépticos a los que sobreviene un trastorno psicomotor se comportan exactamente igual, tal vez con la única diferencia de que se saltan unos cuantos semáforos rojos más que yo, pero de modo que al remitir el ataque no conservan un recuerdo consciente de sus actos. Este género de automatismos es un síntoma típico de la epilepsia del lóbulo temporal y, también, un rasgo característico de mi primera media hora de vigilia por las mañanas. A decir verdad no todas las partes del cerebro funcionan como un simple computador digital. Por ejemplo, la parte que realiza la reprogramación es bastante diferente. Sin embargo, existen suficientes similitudes para pensar que es posible arbitrar constructivamente un arreglo eficaz y compatible entre los computadores electrónicos y, por lo menos, algunos componentes cerebrales unidos en una estrecha asociación neurofisiológica.

El neurofisiólogo español José Rodríguez Delgado ha ideado una serie de bucles de realimentación idóneos entre electrodos implantados en cerebros de chimpancé y computadores electrónicos situados a gran distancia. La comunicación entre el cerebro y el computador se logra mediante una conexión por radio. Hoy en día la miniaturización de los computadores electrónicos ha llegado a un punto en que este tipo de bucles de realimentación pueden ser *hardwired*, y no se precisa de conexión por radio con una alejada terminal de computador. Por ejemplo, es enteramente posible proyectar un bucle de realimentación autónomo que permita detectar la inminencia de un ataque epiléptico y estimular automáticamente los centros cerebrales correspondientes para prevenir o atemperar el ataque. Todavía no hemos llegado al punto de poder recurrir a este método con plenas garantías, pero todo parece indicar que estamos camino de conseguirlo.

Tal vez algún día sea posible añadir al cerebro una variedad de artilugios protéticos cognoscitivos e intelectuales, calar una especie de gafas a la mente. Ello estaría en la línea de la evolución por acrecentamiento que ha conocido el proceso de cerebración, y con toda seguridad es más factible que intentar reestructurar el cerebro tal como está conformado actualmente. Es posible que algún día puedan implantarse quirúrgicamente en el cerebro pequeños módulos intercambiables de computador o terminales de radio que nos enseñen a hablar rápida y fluidamente vasco, urdú, amárico, ainú, albano, nu, hopi, kung o el lenguaje de los delfines; que nos dé a conocer los valores numéricos de la función gamma incompleta o de los polinomios de Tchebycheff; que nos muestre la historia natural relativa a las facultades rastreadoras de los animales, que dictamine cuáles son los precedentes legales sobre la propiedad de las islas flotantes, o que facilite, aunque sea temporalmente, la telepatía por ondas radioeléctricas entre varios individuos en una forma de asociación simbiótica antes desconocida para nuestra especie.

Sin embargo, la prolongación real de las facultades de nuestro cerebro, en especial de aquellos aspectos genuinamente humanos regulados por el neocórtex, está ya a punto de consumarse. Algunos de ellos son tan antiguos que ni siquiera recordamos que se hayan configurado. La existencia de un entorno cultural estimulante y no represivo para los niños representa un instrumento educativo muy eficiente y prometedor. El lenguaje escrito es un notable invento que en esencia no es otra cosa que un simple mecanismo para la acumulación y recuperación de una muy compleja información. La cantidad de información contenida en una biblioteca de grandes proporciones supera con mucho el volumen de información que contienen el genoma o el cerebro humanos. Desde luego, los datos no están tan eficazmente almacenados como en los órganos biológicos, pero a pesar de todo su condensación se mantiene dentro de

unos márgenes útiles, y los avances en el campo del microfilm, las microfichas y otros elementos auxiliares por el estilo han ampliado en gran manera la capacidad de almacenamiento de información por parte del hombre. Si trasladamos al gráfico de la página 32 el número de bits de información contenidos en las bibliotecas, museos y otras instituciones culturales, éstos se plasmarían en un punto situado muchas potencias de 10 más allá del margen derecho del gráfico.

Con todo, la escritura es un elemento mecánico *muy* simple. El computador electrónico es mucho más perfecto y ofrece muchísimas y más prometedoras posibilidades de almacenamiento y procesamiento de información extrasomática. Para hacernos una idea del nivel de perfección alcanzado por tales computadores y los programas con que operan, baste decir que en la actualidad juegan inmejorablemente al tres en raya, emulan a los mejores jugadores de damas, son expertos ajedrecistas y conducen una sesión de psicoterapia de manera aceptable. En la actualidad existe un nuevo computador capaz de transcribir al papel pautado una partitura clásica o una melodía cualquiera interpretada en directo. Ni que decir tiene que la capacidad de almacenaje y velocidad de procesamiento de la información mediante computador es realmente portentosa.

Un buen ejemplo del servicio que hoy puede prestar un ordenador programado con fines psicoterapéuticos (téngase presente que hay todavía cantidad de programas mucho más complejos y mejor estructurados), lo constituye un programa de psicoterapia no dirigida elaborado por Joseph Weizenbaum, del Instituto Tecnológico de Massachusetts. Concluida la confección del programa psicoterapéutico el ordenador fue confrontado a un psiquiatra que se relacionaba con aquél mediante el teclado de una consola conectada al computador. Las palabras del psiquiatra aparecen transcritas en letras de caja baja y los del ordenador-terapeuta en caracteres de caja alta. Probablemente la idea era que el diálogo tuviera un carácter heurístico, pero la cosa seguramente se frustró por culpa del... psiquiatra. La conversación entre el psiquiatra-paciente y el computador-terapeuta se inicia del siguiente modo:

doctor, tengo algo terrible que contarle.

DICE USTED QUE TIENE ALGO TERRIBLE QUE CONTARME.

sí, en el M.I.T. *Massachusetts Institute of Technology* hay un computador con un programa que va a terminar con nosotros.

¿POR QUÉ DICE USTED ESO?

porque lo he visto actuar.

DICE USTED QUE LO HA VISTO ACTUAR.

es espantoso; debería verlo.

CREE USTED QUE DEBO VERLO.

tengo la sensación de que está usted deprimido.

QUIZÁS EN SU IMAGINACIÓN LE PAREZCA QUE CADA UNO DE NOSOTROS ENCUENTRA DEPRIMIDO AL OTRO.

sí; puede ser.

COMPREENDO.

también yo.

DICE USTED QUE TAMBIÉN.

a los dos nos afecta por igual lo de ese computador.

BIEN, SIGAMOS HABLANDO DE USTED, ¿LE PARECE?

me reconforta usted.

¿QUÉ LE HACE PENSAR QUE YO LE CONFORTO?

pues que en los tiempos que corren quiera usted hablar conmigo.

¿QUÉ LE HACE PENSAR QUE QUIERO HABLAR CON USTED?

pues el hecho de que comparta usted mi opinión respecto a ese maldito computador.

¿QUÉ CONCLUSIÓN SACA DE ELLO?

que, por supuesto, también usted detesta a los computadores.

PIENSA USTED QUE YO DETESTO TAMBIÉN A LOS COMPUTADORES.

y por qué no sí, a fin de cuentas, no son humanos, ¿no le parece?

QUIZÁ SEA ESTE EL MOTIVO POR EL QUE ESTAMOS AQUÍ, PARA AVERIGUARLO.

por ejemplo, ningún computador podría conversar como usted lo

hace.

¡OH!

no entiendo cómo una persona puede dejarse embaucar por una

simple máquina.

¿DE VERAS?

no, después de todo, un programa de computador no es creativo.

ADOPTA USTED UNA ACTITUD PESIMISTA.

estoy convencido de que tengo razón.

¿LE PREOCUPA A USTED HABERSE DEJADO CONVENCER DE QUE TIENE RAZÓN?

no, en absoluto, de ninguna manera, ni en lo más mínimo.

ESTÁ USTED ADOPTANDO UNA ACTITUD PESIMISTA.

dijo usted que estaba de acuerdo conmigo, ¿no es cierto?

ES REALMENTE ESO LO QUE ME OYÓ DECIR.

¿por qué no trata de disuadirme? los computadores manejan números y nada más.

QUIERE USTED QUE TRATE DE DISUADIRLE.

no puede.

CREE USTED QUE NO PUEDO.

por ejemplo, ¿cómo podría un computador en una conversación como esta plantear un nuevo tema?

AL PARECER HA OLVIDADO POR COMPLETO HABLARME DE SUS PADRES.

exactamente lo mismo que usted.

CREE USTED QUE LO MISMO QUE YO.

sí; y eso demuestra la diferencia que hay entre un hombre y un computador.
COMPRENDO.

El computador-psiquiatra carece de erudición, de una formación profesional, de sensibilidad y de la intuición propia del hombre; es un artefacto inerte (¿cómo no!), prácticamente insensible a los matices emocionales y a las formas de expresión no verbales. Pese a ello ha sido capaz de sostener una conversación más inteligente de lo que serían capaces muchos individuos. Su respuesta cuando se le habla de introducir «un nuevo tema» en la conversación es realmente asombrosa, pero muy probablemente se trate de una respuesta casual. Sin duda el programa ha sido proyectado para poner atención a palabras tales como «madre», «padre», etc. Si transcurrido un cierto intervalo en el reloj del computador estas palabras no han sido pronunciadas, el programa está concebido para iniciar la frase con el «parece que ha olvidado usted...». El hecho de que apareciera en un momento oportuno induce en cierto modo a pensar que el computador es capaz de adentrarse y de profundizar en las cuestiones.

Pero ¿qué otra cosa es el juego de la psicoterapia sino una muy compleja y estudiada serie de respuestas ante múltiples situaciones humanas? ¿Acaso el psiquiatra no está también preprogramado para emitir ciertas respuestas? Es obvio que la psicoterapia no dirigida requiere programas de computador muy sencillos y que darles una apariencia de sutileza exige tan sólo programas un poco más estudiados. Con ello no pretendo en modo alguno desacreditar a la profesión psiquiátrica, sino más bien augurar el advenimiento de la inteligencia mecánica. De todos modos, los computadores todavía no han alcanzado, ni con mucho, el nivel de desarrollo adecuado para proceder al empleo generalizado de la psicoterapia computadorizada. Por otra parte, no me parece utópico pensar que el día de mañana contaremos con terapeutas computadorizados en extremo pacientes, fácilmente asequibles y, al menos en lo que respecta a ciertas cuestiones, suficientemente preparados para resolverlas. Existen ya algunos programas que gozan de gran estima entre los pacientes porque éstos se han dado cuenta de que el psicoterapeuta mecánico es objetivo y en extremo pródigo con su tiempo.

Actualmente se están construyendo en los Estados Unidos computadores capaces de detectar y diagnosticar sus propios desajustes. Tan pronto se aprecien errores operativos con carácter sistemático, los componentes causantes de los mismos serán automáticamente sustituidos o inutilizados. La congruencia interna se verificará mediante operaciones reiteradas a través de programas normalizados cuyos resultados son previamente conocidos; las reparaciones correrán a cargo principalmente de componentes redundantes. Existen ya algunos programas —por ejemplo, en los computadores que juegan al ajedrez— capaces de aprender de la experiencia y de otros computadores. Conforme pasa el tiempo los ordenadores electrónicos ganan en inteligencia, y cuando los programas sean tan complejos que sus inventores no estén en condiciones de anticipar con rapidez toda la gama de posibles respuestas, las máquinas tendrán la apariencia, si no del discurso racional, sí por lo menos del libre albedrío. El computador del módulo de descenso del *Viking* que alcanzó la superficie de Marte, con una memoria de únicamente 18000 palabras, revestía ya este nivel de complejidad, es decir, que no siempre sabemos cuál va a ser la respuesta del computador a una instrucción concreta. Si lo supiéramos, entonces sí cabría afirmar que se trata «solamente» o «simplemente» de un computador. Pero en caso contrario, empezamos a preguntarnos si realmente se trata de un artefacto inteligente.

La situación guarda relación con la glosa de una fábula de la que se hicieron eco Plutarco y Plinio y que se ha transmitido con el correr de los siglos. En ella se habla de un perro que husmeando en busca del rastro de su amo llegó a un punto del camino que se bifurcaba en tres ramales. El can se dirigió primero a la senda de la izquierda y olfateó en vano; se detuvo y enfiló luego el camino de en medio, recorriendo un corto trecho, para regresar, siempre husmeando, al punto de partida. Finalmente, sin olfatear siquiera, emprendió veloz y jubilosa carrera por el ramal de la derecha.

Comentando esta fábula, Montaigne arguye que muestra clara mente la capacidad del perro para razonar silogísticamente: Mi amo ha tomado por una de estas sendas; no es la de la izquierda ni la del centro; luego debe ser la de la derecha. No necesito corroborar esta conclusión mediante el olfato, sino que la deduzco directamente por la vía de la lógica.

La posibilidad de que los animales pudieran ser capaces de razonar de este modo, aunque quizá de forma no tan coherente, llegó a inquietar a muchos estudiosos. Incluso mucho antes que Montaigne, santo Tomás de Aquino intentó sin éxito resolver el dilema y citó el ejemplo del perro con tono admonitorio, como demostración de que a veces no hay inteligencia pura, sino sólo la apariencia de ella. Santo Tomás de Aquino, sin embargo, no ofreció una alternativa satisfactoria que explicase la conducta del perro. Es obvio que en los pacientes con el cerebro «seccionado» puede darse un análisis lógico realmente profundo acompañado de la incapacidad de expresarse verbalmente.

Al considerar la inteligencia de la máquina nos hallamos en una situación parecida. A la sazón, las máquinas están traspasando un importante umbral, el que les permite, al menos hasta cierto punto, presentarse ante el hombre, objetivamente, como artefactos provistos de inteligencia. Bien sea por una especie de chovinismo humano, bien por un antropocentrismo mal entendido, muchos sujetos no acaban de aceptar esta posibilidad. Pero a mí me parece inevitable. Personalmente no considero en modo alguno degradante que el conocimiento y la inteligencia sean resultado de la «simple» materia suficiente y diversamente ordenada. Por el contrario, entiendo que ello es un tributo a la sutileza de la materia y a las leyes de la naturaleza.

En modo alguno se deduce de ello que en un futuro cercano los computadores vayan a exhibir las mismas dotes creativas, la misma sutileza, sensibilidad y erudición que el hombre. Un ejemplo clásico y probablemente equívoco es el de la traducción mecánica. Se introduce en la unidad de entrada un texto en una lengua determinada y el computador ofrece la transcripción en otro idioma; en chino, pongamos por caso. Se dice que al término de la elaboración de un complejo programa de traducción los responsables, orgullosos de su labor, invitaron a una delegación en la que figuraba un senador del congreso federal de los Estados Unidos para que presenciara una demostración. Se pidió al

senador que enunciase un dicho popular en inglés, y éste, sin pensarlo dos veces, largó la cita de «ojos que no ven, corazón que no siente» (*out of sight, out of mind*). Dócilmente, entre el chasquido de los discos y el parpadeo de las luces del panel de mando, la máquina liberó una hoja en la que aparecían impresos unos pocos caracteres chinos. Pero como el senador no podía leer chino, con objeto de completar la prueba se procedió a invertir el programa introduciendo primero el texto redactado en chino, que apareció tras unos instantes en la unidad de salida traducido al inglés. Los componentes de la delegación se apretujaron de nuevo en torno a la hoja de papel para leer la transcripción, que en un principio les sumió en la perplejidad. En efecto, el texto decía escuetamente: «invisible, idiota».

Traducción literal de *out of sight, out of mind*. (N. del t.)

Los programas de que disponemos en la actualidad son tan sólo relativamente competentes, incluso en cuestiones que, como el ejemplo aducido, no demandan demasiada sutileza. Sería un desatino dejar que los computadores, en su presente estadio tecnológico, tomaran las decisiones importantes, y no porque no pueda reconocérseles cierto grado de inteligencia, sino porque siendo a veces los problemas muy complejos, no se les facilita toda la información pertinente. Ejemplo ilustrativo del abuso flagrante que se ha hecho de los computadores lo tenemos en el papel que se les asignó tanto en la conducción de la política como de las operaciones militares durante la guerra de Vietnam. Pero en contextos razonablemente restringidos, el uso de la inteligencia artificial por parte del hombre parece erigirse en uno de los dos principales y viables progresos que en materia de inteligencia humana conoceremos en un futuro cercano. (El otro es un mayor enriquecimiento del medio cultural en que se mueve el niño antes y durante la etapa de formación escolar.)

Aquellos no familiarizados desde niños con los computadores suelen sentir cierto recelo hacia ellos. El archidivulgado caso del computador maniaco encargado de la facturación, que no acepta ni el «sí» ni el «no» como respuesta y que sólo se daba por satisfecho cuando recibía un cheque por valor de cero dólares y cero centavos, no puede convertirse en símbolo representativo de toda la gama de ordenadores. Para empezar se trata de un computador poco «dotado» y sus errores son, en realidad, los errores de los hombres que lo programaron. El uso creciente que se observa en Norteamérica de los circuitos integrados y de los computadores de pequeño tamaño para incrementar la seguridad de los vuelos aeronáuticos, en la enseñanza programada, en los marcapasos para enfermos cardíacos, en los juegos electrónicos, las alarmas contra incendios estimuladas por el humo y las fábricas totalmente automatizadas, para referirnos tan sólo a unas cuantas de sus aplicaciones, ha contribuido en gran manera a paliar la aprensión que hasta el momento rodeaba a tan moderna innovación. En la actualidad hay en el mundo unos doscientos mil computadores digitales, y dentro de una década habrá muy probablemente decenas de millones. Estoy convencido de que en el lapso de una generación se hablará de los computadores con absoluta naturalidad o, por lo menos, como de un aspecto común de nuestra vida cotidiana. Tómese en cuenta, por ejemplo, la aparición de los llamados computadores de bolsillo. En mi laboratorio tengo un computador del tamaño de una mesa escritorio que compré con los fondos de una beca de ayuda a la investigación concedida a finales de los sesenta y que salió por un precio de 4.900 dólares. Tengo, también, otro producto del mismo fabricante; se trata de un computador que cabe en la palma de la mano y que compré en 1975. Realiza todas las funciones del anterior; cabe destacar en él la posibilidad de programar los datos y sus diversas memorias dirigibles. La diferencia estriba en que este último sólo cuesta 145 dólares, y los precios van disminuyendo a un ritmo que le deja a uno pasmado. El hecho representa un avance espectacular en materia de miniaturización y reducción de costos, y todo ello en un periodo de seis o siete años solamente. A decir verdad, actualmente el tamaño de los computadores no conoce más límites que los derivados de tener que adaptarse a la torpe pulsación de los dedos del hombre. De no ser por esa circunstancia podrían fabricarse computadores del tamaño de la uña de un dedo. El ENIAC, el primer computador digital de gran tamaño, construido en 1946, comprendía 18.000 tubos de vacío y llenaba toda una estancia. Hoy, empero, un microcomputador constituido por una laminilla de sílice del tamaño de la falange más pequeña del dedo meñique posee la misma capacidad funcional.

Los circuitos de dichos computadores transmiten la información a la velocidad de la luz. En el hombre, la transmisión neuronal es un millón de veces más lenta. El hecho de que en las operaciones no aritméticas el cerebro humano, más pequeño y menos rápido, opere con mayor eficacia que los grandes y rapidísimos computadores electrónicos constituye un formidable tributo a la sutileza con que ha sido circuitado y programado nuestro cerebro, dos rasgos que, evidentemente, hay que atribuir al proceso de selección natural. Los especímenes que poseían cerebros deficientemente programados no vivieron lo suficiente para poder reproducirse.

Las representaciones gráficas obtenidas mediante computador han alcanzado hoy en día un grado tal de perfección que se abre ante nosotros toda una nueva e importante perspectiva de aprendizajes en el campo de las artes y de las ciencias, así como en lo tocante a los dos hemisferios cerebrales. Mucha gente, por lo demás bien dotada para realizar funciones analíticas, posee una muy pobre percepción e imaginación de las relaciones espaciales, sobre todo en el ámbito de la geometría tridimensional. Pues bien, hoy disponemos de programas para ordenador que pueden componer de forma gradual complejas formas geométricas ante nuestros ojos y hacerlas rotar sobre una pantalla de televisión conectada al computador.

En el caso concreto de la Universidad de Cornell, ha sido Donald Greenberg, de la Facultad de Arquitectura, quien ha proyectado uno de estos sistemas. El programa que ha elaborado permite trazar una serie de líneas equidistantes que el computador traduce en gradientes de nivel. Luego, pulsando una de las múltiples instrucciones posibles señalizadas en la pantalla, ordenamos la composición de complicadas figuras tridimensionales que podemos agrandar o empequeñecer, prolongar en una dirección dada, girar, aproximar a otros objetos o borrar en alguna de sus partes

(véanse las figuras de las páginas 220-221). Es este un instrumento de extrema eficacia para incrementar la visualización de las formas tridimensionales, factor de suma utilidad en las artes gráficas, la ciencia y la técnica. También constituye un excelente ejemplo de cooperación entre los dos hemisferios cerebrales. En efecto, el computador, que es una construcción suprema del hemisferio izquierdo, nos enseña cómo proceder al reconocimiento de configuraciones, función característica del hemisferio derecho.

Ejemplo de una sencilla representación gráfica computerizada. Las figuras son resultado exclusivo del trazado a pulso de curvas equidistantes sobre una pantalla de televisión. El computador convierte estos trazos en imágenes tridimensionales alzadas desde cualquier ángulo, directamente de la composición abstracta en la figura de la izquierda, formando ángulo en la imagen de la derecha. La torre ha sido «entretejida» automáticamente; en el diagrama de la derecha se desplaza hacia el lector. El observador, además de poder girar la imagen a su antojo y de acercarla o alejarla a placer, puede requerir el trazado de imágenes dinámicas ortogonales, en perspectiva o estereoscópicas. (Programa WIRE ideado por Marc Levoy, Laboratorio de Diagramación Computerizada de la Universidad de Cornell.)

Otros programas de computador presentan proyecciones bidimensionales (planas) y tridimensionales (en perspectiva) de objetos cuatridimensionales. Conforme éstos van girando o a medida que cambia la perspectiva desde la que visualizamos el objeto, no sólo lo contemplamos desde otros ángulos, sino que tenemos la sensación de estar asistiendo a la síntesis y destrucción de subunidades geométricas en su integridad. El efecto que ello produce es misterioso e instructivo a la vez, y ayuda a desentrañar algunos de los misterios de la geometría cuatridimensional. Pienso que nuestro aturdimiento es inferior al que experimentaría una supuesta criatura plana al toparse con una típica proyección (dos cuadrados uni dos por uno de sus ángulos) de un cubo tridimensional sobre una superficie plana. Las dificultades con que el artista viene tropezando desde siempre para plasmar el sentido de la perspectiva —es decir, la proyección de objetos tridimensionales sobre la superficie plana del lienzo— se clarifican enormemente con los diagramas trazados por el computador. Es obvio que constituye, también, un instrumento de la mayor importancia para resolver los problemas eminentemente prácticos que plantea la representación gráfica tridimensional de los planos de edificios —que el arquitecto proyecta en dos dimensiones— desde los ángulos y perspectivas más ventajosos.

La diagramación computerizada comienza a extenderse al terreno recreativo. Existe ya un juego muy popular que simula, en el marco de una pantalla de televisión, el bote de una pelota perfectamente elástica entre dos superficies o demarcaciones. Cada jugador dispone de un mando que le permite interceptar la pelota con una «raqueta» móvil. Si aquél no intercepta la pelota suma un cierto número de puntos negativos. Se trata de un juego muy interesante y su práctica entraña el aprendizaje de la segunda ley de Newton sobre el movimiento lineal. Jugando al «tenis», el sujeto obtiene un profundo conocimiento intuitivo de la más simple física newtoniana, un conocimiento superior incluso al que proporciona el clásico ejemplo de la carambola de billar, puesto que en ella los choques distan mucho de tener una elasticidad perfecta y el efecto que se imprime a la bola implica otras nociones físicas más complicadas.

Esta especie de acumulación de información es precisamente lo que llamamos juego, con lo que se nos revela la importante función que éste desempeña: la obtención, ajena a toda consideración de índole práctica, desuna visión global del mundo que es a la vez complemento y preparación para ulteriores actividades de orden analítico. Los computadores permiten el juego y el recreo en medios que de otra manera serían completamente inaccesibles a la mayoría de estudiantes.

Un ejemplo todavía más interesante lo constituye el juego llamado «guerra en el espacio», cuyas excelencias y modalidades tan bien ha narrado Stuart Brand en los periódicos. En él, cada bando controla uno o más «vehículos espaciales» que se disparan misiles recíprocamente. Tanto los movimientos de las naves como de los proyectiles se rigen por determinadas normas, como, por ejemplo, un campo gravitatorio generado por un «planeta» cercano proporcional al inverso del cuadrado de la distancia al mismo. Para destruir el vehículo espacial del contrario es preciso demostrar un conocimiento de la gravitación newtoniana al mismo tiempo intuitivo y concreto. Aquellos de nosotros que no tenemos oportunidad de participar en vuelos interplanetarios encontramos dificultades para que el hemisferio derecho asimile la idea de gravitación newtoniana. El juego en cuestión puede suplir esta deficiencia.

Ambos pasatiempos, el «tenis» y la «guerra en el espacio», sugieren una elaboración gradual de diagramas computerizados, con lo que se obtiene un conocimiento experimental e intuitivo de las leyes de la física. Éstas se formulan casi siempre en términos analíticos y algebraicos, es decir, con intervención del hemisferio izquierdo. Por ejemplo, la segunda ley de Newton se escribiría $F = Ma$, y la ley de gravitación $F = GMm/r^2$. Estas representaciones analíticas son de extrema utilidad y es realmente notable que el universo esté concebido de tal forma que el movimiento de los objetos pueda definirse mediante leyes relativamente sencillas. Sin embargo, estas leyes no son más que abstracciones de la experiencia. En esencia, no pasan de ser simples ardidés nemotécnicos para recordar con facilidad un gran número de casos que sería muy difícil retener uno por uno, por lo menos tal como el hemisferio izquierdo concibe la memoria. Los diagramas de computador proporcionan al físico o al biólogo un amplio campo de experiencias respecto de los casos recapitulados por las leyes de la naturaleza, pero tal vez su función más importante sea la de permitir el profano captar de manera intuitiva, aunque no por ello menos profunda, el contenido de las mismas.

Existen muchos programas interactivos de computador que no tienen carácter diagramático y que constituyen un excelente instrumento de aprendizaje. Estos programas pueden ser elaborados por un profesorado competente y, cosa sorprendente, el estudiante mantiene con el «profesor» una relación mucho más individualizada, mucho más personal, que en el marco convencional de una clase. Por otra parte, puede estudiar al ritmo que le convenga sin sentirse incómodo por ello. El Dartmouth College emplea en numerosos cursos la enseñanza programada. Así, un estudiante asimila mejor las estadísticas de la genética mendeliana con una hora de computador que en todo un año de laboratorio realizando cruces con las moscas de las frutas, y una universitaria puede, por ejemplo, investigar qué probabilidades tiene de quedar preñada según los métodos de control que utilice. (El programa conlleva una posibilidad sobre diez mil

millones de que la mujer quede embarazada si permanece estrictamente célibe, con lo cual incluso toma en cuenta las contingencias que rebasan el nivel actual de los conocimientos médicos.)

En el recinto universitario de Darmouth, la terminal del computador es un instrumento didáctico más entre muchos. Un elevado porcentaje de alumnos aprenden no sólo a utilizar estos programas, sino también a elaborar los que mejor se adapten a sus conveniencias. Los estudiantes ven el trabajo con el computador como un esparcimiento y no como una obligación impuesta, y son muchos los colegios universitarios y las universidades en trance de imitar, e incluso ampliar, la práctica seguida en Darmouth. El hecho de que este colegio universitario marche en cabeza de la iniciativa se debe a la circunstancia de que su presidente, John G. Kemeny, es un destacado especialista en informática, inventor de un sencillísimo lenguaje para computadores denominado BASIC.

El Lawrence Hall of Science es una especie de museo dependiente de la Universidad de Berkeley, California. En el sótano del edificio hay una estancia bastante modesta con alrededor de una docena de terminales de computador, cada una de las cuales está acoplada a un minicomputador de uso compartido situado en otro lugar del edificio. La utilización de estas terminales se alquila por una módica cuota y pueden obtenerse con sólo una hora de anticipación. La clientela está integrada básicamente por adolescentes, algunos de los cuales tienen menos de diez años. Uno de los sencillísimos programas interactivos que el alumno puede utilizar es el juego conocido como «Hang-man» (juego del ahorcado). Para ello basta componer en un muy sencillo teclado el código «XEQ-SHANG». El computador transcribe:

(VERDUGO)

¿QUIERES SABER LAS REGLAS?

Si el jugador mecanografía «sí», la máquina prosigue:

ADIVINA UNA LETRA DE LA PALABRA QUE ESTOY PENSANDO. SI ACIERTAS
TE LO INDICARÉ, PERO SI FALLAS (JA, JA) JESTARÁS MÁS CERCA (JI, JI)
DE MORIR COLGADO!
LA PALABRA CONSTA DE OCHO LETRAS
¿YES?...

Supongamos que el jugador compone la respuesta: «E». El computador imprime:

-----E

Si el jugador falla en la respuesta, el computador imprime un llamativo grafismo (dentro de las limitaciones que impone la gama de signos disponibles) que representa una cabeza humana. En adelante el juego se convierte en una carrera entre la palabra, que se va completando progresivamente, y la figura cada vez más perfilada de un hombre en trance de ser ahorcado.

En las dos partidas de «Hangman» que recientemente tuve ocasión de presenciar las respuestas correctas eran «VARIABLE» y «THOUGHT». Si el jugador gana la partida, el programa, fiel a su papel de villano de mentirijillas, imprime en la hoja de respuesta una serie de caracteres no alfabéticos como los que suelen aparecer en las historietas cómicas para indicar una maldición o juramento y, acto seguido, teclea:

CANALLAS, ME HABÉIS VENCIDO.

¿DESEAS OTRA OPORTUNIDAD PARA MORIR?

Algunos programas están redactados en un tono menos familiar, como, por ejemplo, el «XEQ-SKING», que empieza con esta perorata:

ESTAMOS EN EL ANTIGUO REINO DE SUMERIA Y TÚ ERES SU VENERABLE GOBERNANTE. LA SUERTE DE LA ECONOMÍA DE SUMERIA Y DE SUS LEALES SUBDITOS ESTÁ ENTERAMENTE EN TUS MANOS. TODOS LOS AÑOS TU GRAN MINISTRO, HAMMURABI, TE INFORMARÁ SOBRE EL MOVIMIENTO DE POBLACIÓN Y LA ECONOMÍA. SI UTILIZAS LOS DATOS QUE TE SUMINISTRA PODRÁS DISTRIBUIR CON SABIDURÍA LOS RECURSOS QUE PRECISA TU REINO. ALGUIEN HA ENTRADO EN LA CÁMARA DEL CONSEJO...

Acto seguido, Hammurabi suministra al jugador estadísticas pertinentes sobre el número de hectáreas de terrenos comunales, fanegas por hectárea recolectadas el pasado año, número de las que se perdieron por causa de las ratas, cantidad de cereal almacenado, censo actual de la población, habitantes que murieron de inanición el último año y cifras sobre la emigración del campo a la ciudad. Muy amablemente le facilita a uno datos sobre la tasa de intercambio de tierras por alimentos y se interesa por el número de hectáreas de terreno que el jugador desea adquirir. Si la cifra resulta excesiva, el programa advierte:

HAMMURABI: TE RUEGO REFLEXIONES, SOLAMENTE TIENES ALMACENA DAS SESENTA FANEGAS.

Hammurabi se acredita como un gran visir sumamente cortés y paciente. A medida que el computador aumenta la cuenta de los años, el jugador termina por convencerse de que realmente es muy difícil, por lo menos en determinadas economías de mercado, incrementar la población y el número de propiedades agrícolas de un Estado y eliminar a la vez la pobreza y la indigencia.

Entre los muchos programas existentes hay uno, el llamado «Grand Prix Racing», que da opción al jugador a elegir entre una serie de marcas de automóviles, desde el primer modelo de la Ford hasta un Ferrari modelo 1973. Si en determinados tramos del circuito el jugador no alcanza un mínimo de velocidad o de aceleración, pierde la partida, y si peca por exceso, se estrella. Teniendo en cuenta que es preciso dar explícitamente la distancia, velocidad y aceleración, es imposible participar en el juego si no se poseen ciertas nociones de física. La elaboración de nuevas vías para el aprendizaje mediante computadores interactivos no conoce otros límites que el grado de inventiva de los programadores, y en este terreno es muy difícil avanzar conclusiones.

Estatua de Gudea, gobernador neosumerio de Lagash (alrededor del 2150 a.C). Por esta época (tercera dinastía Ur), la escritura cuneiforme, que cubre la túnica de Gudea, se hallaba muy extendida. Durante este periodo se expandió el comercio marítimo, hubo gran actividad mercantil y se redactó el primer código legal escrito del que se tiene noticia, todo ello en íntima relación con la difusión de la cultura escrita.

Habida cuenta de que la ciencia y la técnica ejercen un considerable influjo en nuestra sociedad y de que ambos campos del saber escapan, o poco menos, a la comprensión de la mayoría de los ciudadanos, el hecho de que tanto los centros de enseñanza como los hogares tengan un acceso poco costoso a los servicios de un computador desempeñará, sin duda, un importante papel de cara a la pervivencia de nuestra civilización.

La única objeción de que tengo constancia acerca del uso generalizado de calculadoras de bolsillo y computadores de pequeño tamaño es la de que, si los niños aprenden a manejarlos a una edad temprana, no asimilan como es debido la aritmética, la trigonometría y otras operaciones matemáticas que la máquina está en condiciones de realizar con mayor rapidez y exactitud que el alumno. Es esta una controversia que se ha suscitado ya en otras épocas.

En el *Fedro* de Platón —y, concretamente, en el diálogo socrático que cito en otra parte del libro relativo a la metáfora del carro, el auriga y los dos caballos— hallamos un delicioso mito sobre el dios Toth, paralelo egipcio de Prometeo. En la lengua del Antiguo Egipto, la frase que designa el lenguaje escrito significa literalmente «la lengua de los dioses».

Según el historiador romano Tácito, los egipcios se jactaban de haber enseñado el alfabeto a los fenicios, «los cuales, siendo señores del mar, lo dieron a conocer a Grecia, con lo que se les otorgó la paternidad de un invento que no era obra suya». Según la leyenda, el alfabeto fue traído a Grecia por Cadmo, príncipe de Tiro, quien andaba en pos de su hermana Europa, raptada por Zeus, padre de los dioses; éste la había raptado bajo la apariencia de un toro para luego conducirla a Creta. Para frustrar toda tentativa de rescate e impedir así que Europa fuese devuelta a Fenicia, Zeus ordenó la construcción de un autómatas de bronce que patrullaba con sigilo la isla y ahuyentaba o hundía todas las naves extranjeras que arribaban a Creta. Pero Cadmo proseguía su búsqueda lejos de allí, en tierras griegas. Un día, un dragón devoró a todos sus hombres. Cadmo dio muerte al animal, y atendiendo los consejos de Atenea, el príncipe fenicio sepultó los dientes del dragón en los surcos de un campo arado y cada uno de ellos se convirtió en guerrero. Cadmo y sus hombres fundaron Tebas (de Beocia), la primera ciudad del mundo civilizado, dándole el nombre de una de las dos capitales del antiguo Egipto. Es curioso que en la misma leyenda se recoja el invento de la escritura, la fundación de la civilización griega, la primera referencia conocida a un ser inteligente artificial y la incesante pugna entre el hombre y el dragón.

En él, Toth discute su invención de la escritura con Amón, el dios-rey, quien le refuta con estas palabras:

Tu hallazgo fomentará la desidia en el ánimo de los que estúdios, porque no usarán de su memoria, sino que se confiarán por entero a la apariencia externa de los caracteres escritos y se olvidarán de sí mismos. Lo que tú has descubierto no es una ayuda para la memoria, sino para la memorización, y lo que das a tus discípulos no es la verdad, sino un reflejo de ella. Serán oyentes de muchas cosas y no habrán aprendido nada; parecerán omniscientes, y por lo común ignorarán todo; será la suya una compañía tediosa porque revestirán la apariencia de hombres sabios sin serlo realmente.

Una muestra de los primitivos jeroglíficos egipcios. (Lápida funeraria de la tumba de Sesostris I, en Karnak.)

No me cabe duda de que hay una parte de verdad en la queja de Amón. En nuestro mundo moderno los iletrados siguen derroteros distintos, poseen otro sentido de la autoconfianza y una visión no menos dispar de la realidad. Sin embargo, antes de la invención de la escritura, el saber humano se reducía a lo que una persona o un reducido grupo de individuos acertaba a recordar. A veces se lograba preservar un sustancial acopio de información, como en los Vedas y en los dos grandes poemas épicos de Homero. Pero, por lo que sabemos, Homeros hubo muy pocos.

Unidad microprocesadora de un microcomputador cuyos lados miden alrededor de medio centímetro. Se trata de un circuito integrado impreso en una sola laminilla de cristal de silicón que contiene aproximadamente 5.400 transistores.

Después de la invención de la escritura se hizo posible reunir, integrar y utilizar la sabiduría acumulada de todas las épocas y de todos los pueblos; el hombre dejó de estar circunscrito a lo que ellos o sus compañeros más allegados eran capaces de recordar. La cultura escrita nos permite entablar contacto con los intelectos más poderosos e influyentes surgidos a lo largo de la historia. Así, Sócrates o Newton han tenido una audiencia de lectores muchísimo más vasta que el total de personas que llegaron a conocer en vida. La transmisión reiterada de la tradición oral en el

marco de múltiples generaciones acaba por engendrar fatalmente errores de transmisión y la pérdida gradual del contenido original del mensaje, degradación mucho más lenta cuando se trata de reeditar un texto escrito.

Los libros se pueden guardar fácilmente; podemos leerlos a nuestro antojo sin importunar a los que nos rodean, y releer las partes más densas o que nos procuran mayor deleite. A mayor abundamiento, el libro se produce masivamente y a precios relativamente asequibles. En cuanto a la lectura en sí, constituye una asombrosa actividad: el sujeto fija la mirada en un objeto plano, no muy grueso, hecho de pulpa de madera, como el lector en este momento, y la voz del autor empieza a resonar en su mente. (¿Qué tal, amigo?!) El incremento del saber humano, así como su capacidad de supervivencia tras la invención de la escritura, han sido inmensos. (También ha aumentado la confianza en uno mismo, pues ahora es posible aprender cuando menos los rudimentos de un arte o de una ciencia recurriendo a un libro, sin depender para ello del afortunado accidente de tener a mano un maestro artesano o un especialista que pueda iniciarnos en una actividad concreta.)

Cuando ya no queda nada por decir ni por hacer, la invención de la escritura debe conceptuarse no sólo como una brillante innovación sino como una formidable aportación en favor de la humanidad. Por otra parte, suponiendo que vivamos lo suficiente como para usar las invenciones de los hombres con sabiduría, creo que se dirá otro tanto de los modernos Toths y Prometeos que hoy proyectan computadores y elaboran programas hurgando en los límites de la inteligencia mecánica. Es probable que el próximo hito estructural del intelecto humano sea la cooperación entre el hombre, ser discursivo, y las máquinas, artefactos pensantes.

Nuestro destino es el conocimiento. Inteligencia terrestre y extraterrestre

Las horas discurren silenciosa y furtivamente...

W. SHAKESPEARE, *Ricardo III*

El dilema fundamental de la humanidad, el problema que subyace a todos los demás y que destaca por encima de ellos, es precisar qué puesto corresponde al hombre en la naturaleza y cuál es su relación con el cosmos. El origen de nuestra especie, los límites que condicionan nuestro influjo sobre la naturaleza y el de ésta sobre nosotros, el objetivo que pugnamos por alcanzar, son problemas que se presentan una y otra vez, con indeclinable vigor, a todos los seres vivos de la Tierra.

T. H. HUXLEY, 1863

He aquí que a punto de culminar esta obra volvemos a uno de los temas con que inicié mi exposición: la búsqueda en pos de seres extraterrestres dotados de inteligencia. Se afirma en ocasiones que en el futuro la comunicación interestelar será predominantemente de orden telepático, afirmación que, en el mejor de los casos, me parece una idea festiva. Por el momento no existe ni el más leve indicio que respalde este aserto y, por otra parte, todavía no sé de un solo experimento de transmisión telepática en *este* planeta que sea medianamente convincente. Por lo demás, todavía no estamos en condiciones de llevar a cabo vuelos espaciales interestelares dignos de este nombre, lo cual no excluye que otras civilizaciones más avanzadas sí sean capaces de ello. A pesar de toda la chachara sobre objetos volantes no identificados y astronautas de remotos tiempos, no existen pruebas concluyentes de que hayamos recibido, o vayamos a recibir, la visita de seres extraterrestres.

Así pues, quedan excluidos de la discusión los artefactos espaciales. La hipotética comunicación con los seres extraterrestres utilizaría, quizás, el espectro electromagnético, y, muy probablemente, la banda que corresponde a las ondas radioeléctricas; o puede que empleara las ondas gravitatorias, los neutrinos, que no son, plausiblemente, sino taquiones (en el supuesto de que existan), o algún nuevo aspecto de la física que no será descubierto hasta que hayan transcurrido otros tres siglos. Pero, sea cual fuere el conducto utilizado para esta comunicación, será preciso disponer de instrumentos y aparatos de detección adecuados, y si hemos de basarnos en la experiencia que nos proporciona la radioastronomía, podemos añadir que serán aparatos regulados por ordenador y con una capacidad analítica muy próxima a lo que llamamos inteligencia. No basta con la mera inspección ocular de los archivos para expurgar entre un montón de datos acumulados a lo largo de muchos días en 1.008 frecuencias distintas y donde la masa informativa puede variar en muy pocos segundos, e incluso fracciones de segundo, sino que se requieren técnicas de autocorrelación y computadores electrónicos de gran tamaño. Por otra parte, esta situación, que rige también para las observaciones que Frank Drake, de la Universidad de Cornell, y yo mismo hemos llevado a cabo recientemente en el observatorio de Arecibo, va a ganar en complejidad —lo que equivale a decir que dependerá en mayor medida de los computadores— cuando entren en funcionamiento los aparatos de escucha que probablemente emplearemos en un futuro próximo. Estamos en condiciones de proyectar programas receptores y transmisores de fabulosa complejidad, y con un poco de suerte emplearemos sutilísimos e ingeniosos ardides; pero ello no impedirá que tengamos que recurrir a las fabulosas dotes de la inteligencia mecánica para proseguir la búsqueda de hipotéticos seres extraterrestres.

El número de avanzadas civilizaciones que hoy puedan existir en la galaxia de la Vía Láctea dependerá de múltiples factores, que van desde el número de planetas que tenga cada estrella hasta la probabilidad de que exista vida en cada uno de ellos. Pero una vez ha surgido la vida en un medio relativamente favorable y han transcurrido miles de millones de años del proceso evolutivo, somos muchos los que creemos en la posibilidad de que en este medio hayan aparecido seres inteligentes. Sin duda, la senda evolutiva sería distinta de la que ha conocido la Tierra. Es muy probable que la secuencia de eventos acaecidos en nuestro planeta —entre ellos la extinción de los dinosaurios y la recesión forestal ocurrida durante el plioceno y el pleistoceno— difiera de la que ha presidido la evolución de la vida en las restantes regiones del universo. Creemos, sin embargo, que han de existir pautas funcionalmente equivalentes que a la postre conduzcan a un resultado parejo. Toda la crónica evolutiva de la Tierra, particularmente la plasmada en la cara interna de los cráneos fósiles, pone de manifiesto esta tendencia progresiva a la formación de organismos inteligentes. Nada misterioso hay en ello, puesto que, por regla general, los seres más inteligentes subsisten en mejores condiciones y dejan más descendencia que los organismos menos dotados. Los detalles dependerán, por supuesto, de las circunstancias, como, por ejemplo, de si el hombre ha exterminado a otros primates en posesión de un lenguaje o de si nuestros antepasados ignoraron a los simios con facultades de comunicación sólo un poco inferiores a las suyas. Pero la

tendencia general parece bastante obvia y debería regir también la evolución de la vida inteligente en otras regiones del universo. Una vez los seres inteligentes han alcanzado un determinado estadio tecnológico y la capacidad de autodestrucción de la especie, los beneficios de la inteligencia en el orden selectivo resultan ya mucho más inciertos.

¿Y qué decir en el supuesto de que recibiésemos un mensaje? ¿Existe algún motivo para pensar que los seres que lo transmiten —evolucionados a lo largo de miles y millones de años de tiempo geológico en un medio completamente distinto del nuestro— se asemejarían lo suficiente a nosotros como para que pudiésemos entenderlo? Creo que la respuesta debe ser afirmativa. Una civilización que transmite mensajes por radio debe tener forzosamente nociones sobre frecuencias, constantes de tiempo y amplitudes de banda, elementos comunes todos ellos a las civilizaciones que transmiten y reciben comunicaciones.

Estrellas, por M. C. Escher.

En cierto modo, la situación es comparable a la comunicación entre los radioaficionados, cuyas conversaciones, salvo ocasionales emergencias, se centran casi de forma exclusiva en la mecánica de sus aparatos, porque saben que es el único aspecto de sus vidas que comparten inequívocamente. Pero yo pienso que la situación da pie a mostrarse mucho más esperanzado que todo esto. Sabemos que las leyes de la naturaleza por lo menos algunas de ellas— rigen en el universo todo. La espectroscopia nos indica que en otros planetas, estrellas y galaxias existen los mismos elementos químicos, las mismas moléculas comunes; y el hecho de que los espectros sean iguales demuestra que en otras regiones del universo se dan los mismos mecanismos para inducir a átomos y moléculas a absorber y emitir radiaciones. Asimismo, podemos observar cómo distantes galaxias se desplazan lentamente en torno a otras conforme a las mismas leyes gravitatorias que rigen la órbita de un pequeño satélite artificial girando alrededor de nuestro tenuemente azulado planeta. Se ha comprobado, también, que la gravedad, la mecánica de los cuantos y el núcleo principal de la física y de la química son los mismos por doquier. Es probable que los supuestos organismos dotados de inteligencia que habitan en otros planetas no tengan la misma estructura bioquímica que nosotros. Lo más seguro es que presenten un muy diferente cuadro de adaptaciones —desde las enzimas hasta los órganos corporales— que les permita afrontar las condiciones específicas de los distintos mundos. Aun así, se ven confrontados con las mismas leyes de la naturaleza. Las leyes que rigen la caída de los cuerpos nos parecen muy sencillas. La velocidad de caída de un objeto sometido a una aceleración constante —producto de la fuerza de atracción gravitatoria— es proporcional al tiempo, y el espacio recorrido es proporcional al cuadrado del tiempo. Se trata de relaciones muy elementales que, por lo menos desde los tiempos de Galileo, vienen gozando de una aceptación general. Con todo, es concebible un universo en el que las leyes de la naturaleza revistan mucha más complejidad. El hecho es, empero, que no habitamos en un universo de este tipo. ¿Por qué no? Pues tal vez porque todos los organismos que hallaban demasiado complejo su universo han terminado por extinguirse. Aquellos de nuestros antepasados arborícolas que tenían dificultades para calcular sus trayectorias mientras avanzaban de rama en rama no dejaron numerosa descendencia. La selección natural ha operado como una especie de cedazo intelectual dando paso a cerebros y a intelectos cada vez mejor dotados para afrontar las leyes de la naturaleza. Esta resonancia entre la mente y el universo, producto de la selección natural, puede ayudarnos a resolver el abstruso dilema planteado por Einstein cuando afirmó que «la propiedad más incomprensible del universo es, precisamente, que sea tan comprensible».

Si ello es así, parece plausible que en otros mundos se haya producido la misma criba que culminó con la aparición de seres inteligentes. Quizá los organismos extraterrestres que carezcan de antepasados en el reino de las aves o de los animales arborícolas no tengan como nosotros la pasión de surcar el espacio. Sin embargo, todas las atmósferas planetarias son relativamente transparentes en las partes visibles y electromagnéticas del espectro, y ello en razón del comportamiento cuántico de los átomos y moléculas que más abundan en el cosmos. En consecuencia, los organismos que pueblan otras regiones del espacio deberían ser sensibles a la radiación óptica y/o a las ondas radioeléctricas. Por lo demás, y tras los avances de la física, la idea de la radiación electromagnética como medio de comunicación interestelar debería ser un hecho corriente a escala cósmica, una noción convergente surgida de manera independiente en incontables mundos de la galaxia después de que cada uno de ellos hubiese cimentado las bases de la astronomía, lo que podríamos llamar «las verdades de la vida». Creo que si tenemos la fortuna de entablar contacto con uno de esos otros seres podremos comprobar cómo su biología, psicología, sociología y concepción política nos resultan extravagantes y misteriosos en grado extremo. Por el contrario, tengo la impresión de que no habría dificultad para una mutua comprensión de los aspectos más simples de la astronomía, la física, la química y, quizás, de la matemática.

Ciertamente, no confío en que los cerebros de estos hipotéticos seres sean anatómica, fisiológica y ni siquiera químicamente iguales a los nuestros. Los cerebros de estos supuestos seres habrían conocido un proceso evolutivo en medios totalmente distintos. No hay más que ver las grandes diferencias orgánicas entre las distintas especies animales que pueblan la Tierra para darse cuenta de las variaciones que admite la fisiología del cerebro. Hay, por ejemplo, un pez africano de agua dulce, el mormírido, que suele vivir en cursos fluviales de aguas turbias, lo que le impide ser visto por los depredadores, por sus presas o por otros peces. El mormírido posee un órgano especial que genera un campo eléctrico y que le permite detectar el paso de cualquier criatura que lo atraviese. Pues bien, esta especie piscícola posee un cerebelo que ocupa toda la parte posterior del cerebro formando una gruesa capa que recuerda el neocórtex de los mamíferos. Pese a que los mormíridos poseen un cerebro tremendamente diferenciado de cualquier otro, desde una perspectiva esencialmente biológica se parecería mucho más al cerebro humano que al de un supuesto ser extraterrestre dotado de inteligencia.

Es probable que, como en nuestro caso, los cerebros de los organismos extraterrestres posean varios o muchos

componentes acrecentados a través de un lento proceso evolutivo. También es posible que, al igual que en el hombre, se dé una tensión entre ellos, por más que el rasgo distintivo de una civilización que ha logrado sobrevivir por largo tiempo y superar los peligros de su entorno radique en la capacidad de arbitrar una paz duradera entre los diversos componentes cerebrales. Muy probablemente, este supuesto organismo extraterrestre habría ampliado también su inteligencia por vía extrasomática, mediante el uso de máquinas capaces de razonar. De todos modos, creo que nuestros cerebros y máquinas acabarán por entenderse y compenetrarse a fondo con los suyos.

Las ventajas de orden práctico y los conocimientos filosóficos que probablemente obtendríamos en el caso de que recibiéramos un largo mensaje de una avanzada civilización, serían sin duda de valor inapreciable. Sin embargo, determinar el alcance de estos beneficios y la rapidez con que lograríamos asimilarlos depende de los detalles contenidos en dicho mensaje, aspecto sobre el que resulta aventurado efectuar predicción alguna. Una cosa, sin embargo, parece obvia, y es que la recepción de un mensaje enviado por una avanzada civilización demostraría, primero, su existencia y, en segundo lugar, que existen métodos para evitar la autodes-trucción, amenaza que tan real se dibuja en nuestra actual fase de adolescencia técnica. De lo dicho se infiere que la recepción de un mensaje interestelar procuraría una ventaja sumamente práctica, que en términos matemáticos se denomina teorema de existencia y que en el caso que nos ocupa consiste en la demostración de que una sociedad puede vivir y progresar en el marco de una avanzada tecnología. La seguridad de que existe una solución ayuda en gran manera a encontrarla. Este es uno de los múltiples y curiosos nexos entre la existencia de vida inteligente en otras regiones del cosmos y la existencia de seres inteligentes en la Tierra.

Aun cuando parece obvio que el incremento del saber y la inteligencia sean el único modo de salir de las dificultades que nos acechan y la única vía de acceso a un futuro halagüeño para la humanidad (o un futuro a secas), en la práctica no siempre se adopta esta postura. A menudo los gobernantes olvidan la diferencia entre beneficios a corto y a largo plazo. Las más trascendentes ventajas prácticas han surgido de los progresos científicos más inverosímiles y en apariencia menos prácticos. Las ondas electromagnéticas son, hoy, el principal conducto en esta búsqueda de comunicación con seres de otros planetas, el medio con que se hace frente a las emergencias, el canal por el que se transmiten las noticias y las llamadas telefónicas y se divulgan por doquier los programas recreativos y de espectáculos. Las ondas electromagnéticas fueron introducidas por el físico escocés James Clerk Maxwell como elemento corrector y complementador del sistema de ecuaciones diferenciales parciales hoy conocidas como las ecuaciones de Maxwell. El nombre que les asignó inicialmente fue el de corriente de desplazamiento, y si propuso su introducción fue, ante todo, porque suponía conferir un mayor atractivo estético a dicho sistema de ecuaciones.

El universo es intrincado y fascinante. Arrancamos secretos a la naturaleza por las sendas más insólitas. Por supuesto, las sociedades deberán adoptar toda clase de precauciones a la hora de decidir qué tecnologías —es decir, qué aplicaciones de la ciencia— deben desarrollarse y cuáles no. Pero si no consolidamos la investigación básica, si no se propicia la adquisición de conocimientos por su valor intrínseco, nuestras opciones de futuro quedarán peligrosamente limitadas. Bastaba con que un físico entre mil diera con algo como la corriente de desplazamiento para convertir el respaldo de este millar en una fabulosa inversión social. Sin una estimulación decidida, continuada y amplia de la investigación básica corremos el riesgo de comernos la simiente que utilizamos para la siembra, es decir, conseguimos atajar el hambre un invierno más, pero renunciamos a la última esperanza de supervivencia de cara al siguiente invierno.

La placa de los *Pioneer 10* y *11*, los primeros vehículos de la humanidad en aventurarse por el espacio interestelar. Las placas de oro y aluminio anodizado contienen información científica sobre los logros del ser humano en el planeta Tierra. Con todo, es indudable que podrían mejorarse estas informaciones a través de mensajes radiados interestelares.

En una época en ciertos aspectos parecida a la nuestra, san Agustín de Hipona, después de una juventud licenciosa y mentalmente expansiva decidió retraerse del mundo de las sensaciones y del intelecto y aconsejó a otros que hicieran lo propio: «Existe otra forma de tentación que entraña incluso mayor peligro. Es la enfermedad de la curiosidad... Ella nos impulsa a querer desentrañar los secretos de la naturaleza, secretos que escapan a nuestra comprensión, que nada pueden reportarnos y a los que los hombres debieran renunciar... En medio de esta inmensa jungla llena de acechanzas y de peligros, he retrocedido y me he apartado de estas espinas. Flota a mi alrededor ese sinnúmero de cosas que nos trae la vida de cada día, pero ni me sorprende ni dejo que me cative el genuino deseo que siento de estudiarlas... He renunciado a soñar en las estrellas». La muerte de san Agustín, acaecida en el año 430 de nuestra era, marca en Europa el comienzo de la larga noche medieval o, dicho de otra manera, de la época del oscuro rantismo.

En el último capítulo de *The ascent of man*, Bronowski se confiesa entristecido «al verme súbitamente rodeado, en Occidente, por un sentimiento de pavoroso achicamiento, de retroceso ante el saber». Supongo que, en parte, Bronowski se refería a la limitada comprensión y escaso valor que se concede a la ciencia y a la técnica —que tanto han contribuido a configurar nuestra existencia y la de múltiples civilizaciones— en el ámbito de las comunidades sociales y políticas; pero también a la creciente popularidad de diversas pseudociencias, de una ciencia marginal y populachera, del misticismo y de la magia.

En la actualidad se observa en Occidente (no así en los países del Este) un renovado interés por doctrinas ambiguas, anecdóticas y a menudo manifiestamente erróneas que, si fueran ciertas, descubrirían cuando menos la

existencia de un universo más sugestivo, pero que no siéndolo, implican una desidia intelectual, una endeblez mental y una dispersión de energías muy poco prometedoras de cara a nuestra supervivencia. Entre dichas doctrinas se cuenta la astrología (según la cual, al nacer yo una serie de astros situados a cien billones de millas de distancia se conjuntan en una *casa* o *morada* que condiciona fatalmente mi destino); está, también, el «misterio» del triángulo de las Bermudas (que en sus varias versiones alude a la existencia de unos objetos volantes no identificados con base en las aguas costeras de dichas islas que engullen buques y aeronaves); los relatos sobre platillos volantes en general; la creencia en astronautas que vivieron en un pasado remoto; la fotografía de espectros; la piramidología (que, entre otras muchas cosas, sostiene la peregrina idea de que si guardo mi hoja de afeitar en el interior de una pirámide de cartón en vez de hacerlo en un estuche rectangular, conservo el filo mucho más cortante); la es-cientología; las auras y la fotografía kirliana; la vida emocional y preferencias musicales de los geranios; la cirugía psíquica; los modernos augures y profetas; el doblamiento a distancia de cuchillos y otros objetos cortantes; las proyecciones astrales; el catastrofismo velikovskiano; Atlantis y Mu; el espiritismo; y la doctrina de la creación específica del hombre, por parte de un dios o dioses, pese a la estrechísima relación que nos une con las restantes especies animales, tanto en el plano de la bioquímica como de la fisiología cerebral. Tal vez exista un atisbo de verdad en alguna de estas doctrinas, pero la amplia aceptación de que gozan trasluce una absoluta falta de rigor intelectual, una grave carencia de escepticismo y la necesidad de sustituir la experimentación por el propio deseo. Por regla general son —excúsenme la expresión— teorías generadas en el sistema límbico y en el hemisferio derecho, filigranas de la ensoñación, respuestas naturales —el término es, indudablemente, muy apropiado al caso— y humanas a la complejidad del medio que nos rodea. Pero son también doctrinas místicas y ocultas, concebidas de tal forma que eluden toda refutación y no pueden ser contrastadas con argumentos racionales. Por contra, estimo que la apertura hacia un futuro esclarecedor sólo puede venir dada a través de la plena operatividad del neocórtex. Debe llegarnos de la razón, entremezclada con la intuición y los componentes del sistema límbico y del complejo R, desde luego, pero de la razón al fin y al cabo, lo que supone una valerosa asunción del mundo tal como es en realidad.

Sólo durante el último día del calendario cósmico aparecen en la Tierra mecanismos intelectuales dignos de mención. El funcionamiento conjuntado de ambos hemisferios cerebrales es el instrumento con que la naturaleza nos ha provisto para que podamos sobrevivir, y no es probable que la especie humana consiga este objetivo sin hacer un uso cabal y creativo de nuestro entendimiento.

«Somos una civilización científica —ha dicho Jacob Bronowski—. Eso significa una civilización en la que el saber y su integridad son factores cruciales. Ciencia no es más que una palabra latina que significa conocimiento... Nuestro destino es el conocimiento.»

Bibliografía

- Allison, T., y D. V. Cicchetti, «Sleep in Mammals: Ecological and Constitutional Correlates», *Science*, vol. 149 (1976), pp. 732-734. Arehart-Treichel, Joan, «Brain Peptides and Psychopharmacology», *Science News*, vol. 110 (1976), pp. 202-206. Aronson, L. R., E. Tobach, D. S. Lehrman y J. S. Rosenblatt, eds., *Development and Evolution of Behavior: Essays in Memory of T. C. Schneirla*, W. H. Freeman, San Francisco, 1970. Bakker, Robert T., «Dinosaur Renaissance», *Scientific American*, vol. 232 (abril de 1975), pp. 58-72 ss. Bitterman, M. E., «Phyletic Differences in Learning», *American Psychologist*, vol. 20 (1965), pp. 396-410. Bloom, F., D. Segal, N. Ling y R. Guillemin, «Endorphins: Profound Behavioral Effects in Rats Suggest New Etiological Factors in Mental Illness», *Science*, vol. 194 (1976), pp. 630-632. Bogen, J. E., «The Other Side of the Brain. II. An Appositional Mind», *Bulletin Los Angeles Neurological Societies*, vol. 34 (1969), pp. 135-162. Bramlette, M. N., «Massive Extinctions in Biota at the End of Mesozoic Time», *Science*, vol. 148 (1965), pp. 1.696-1.699. Brand, Stewart, *Two Cybernetic Frontiers*, Random House, Nueva York, 1974. Brazier, M. A. B., *The Electrical Activity of the Nervous System*, Macmillan, Nueva York, 1960. Bronowski, Jacob, *The Ascent of Man*, Little, Brown, Boston, 1973. Britten, R. J., y E. H. Davidson, «Gene Regulation for Higher Cells: A Theory», *Science*, vol. 165 (1969), pp. 349-357. Clark, W. E. LeGros, *The Antecedents of Man: An Introduction to the Evolution of the Primates*, Edinburgh University Press, Edimburgo, 1959.
- 244 *Los dragones del Edén*
- Colbert, Edwin, *Dinosaurs: Their Discovery and Their World*, E. P. Dutton, Nueva York, 1961. Colé, Sonia, *Leakey's Luck: The Life of Louis S. B. Leakey*, Harcourt Brace Jovanovich, Nueva York, 1975. Coppens, Yves, «The Great East African Adventure», *CNRS Research*, vol. 3, n.º 2 (1976), pp. 2-12. Coppens, Yves, F. Clark Howell, Glynn I. Isaac y Richard E. F. Leakey, eds., *Earliest Man and Environments in the Lake Rudolf Basin: Stratigraphy, Palaeoecology and Evolution*, University of Chicago Press, Chicago, 1976. Culliton, Barbara J., «The Haemmerli Affair: Is Passive Euthanasia Murder?», *Science*, vol. 190 (1975), pp. 1.271-1.275. Cutler, Richard G., «Evolution of Human Longevity and the Genetic Complexity Governing Aging Rate», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 72 (1975), pp. 4.664-4.668. Dement, William C, *Some Must Watch While Some Must Sleep*, W. H. Freeman, San Francisco, 1974. DeRenzi, E., P. Faglioni y H. Spinnler, «The Performance of Patients with Unilateral Brain Damage on Face Recognition Tasks», *Cortex*, vol. 4 (1968), pp. 17-34. Dewson, J. H., «Preliminary Evidence of Hemispheric Asymmetry of Auditory Function in Monkeys», en *Lateralization in the Nervous System*, S. Harnad, ed., Academic Press, Nueva York, 1976. Dimond, Stuart, Linda Farrington y Peter Johnson, «Differing Emotional Responses from Right and Left Hemispheres», *Nature*, vol. 261 (1976), pp. 690-692. Dimond, S. J., y J. G. Beaumont, eds., *Hemisphere Function in the Human Brain*, Wiley, Nueva York, 1974. Dobzhansky, Theodosius, *Mankind Evolving: The Evolution of the Human Species*, Yale University Press, New Haven, Conn., 1962. Doty, Robert W., «The Brain», *Britannica Yearbook of Science and the Future*, Encyclopaedia Britannica, Chicago, 1970, pp. 34-53. Eccles, John C, *The Understanding of the Brain*, McGraw-Hill, Nueva York, 1973. —, ed., *Brain and Conscious Experience*, Springer-Verlag, Nueva York, 1966. Eimerl, Sarel, e Irven DeVore, *The Primates*, Life Nature Library, Time, Inc., Nueva York, 1965. Farb, Peter, *Man's Rise to Civilization as Shown by the Indians of North America from Primeval Times to the Coming of the Industrial State*, E. P. Dutton, Nueva York, 1968.

Bibliografía 245

- Fink, Donald G., *Computers and the Human Mind: An Introduction to Artificial Intelligence*, Doubleday Anchor Books, Nueva York, 1966. Frisen, John H., «Research on Primate Behavior in Japan», *American Anthropologist*, vol. 61 (1959), pp. 584-596. Fromm, Erich, *The Forgotten Language: An Introduction to the Understanding of Dreams, Fairy Tales and Myths*, Grove Press, Nueva York, 1951. Galin, D., y R. Ornstein, «Lateral Specialization of Cognitive Mode: An EEG Study», *Psychophysiology*, vol. 9 (1972), pp. 412-418. Gantt, Elizabeth, «Phycobilisomes: Light-Harvesting Pigment Complexes», *Bioscience*, vol. 25 (1975), pp. 781-788. Gardner, R. A., y Beatrice T. Gardner, «Teaching Sign-Language to a Chimpanzee», *Science*, vol. 165 (1969), pp. 664-

- Gazzaniga, M. S., «The Split Brain in Man», *Scientific American*, vol. 217 (1967), pp. 24-29.
- , «Consistency and Diversity in Brain Organization», *Proceedings Conference on Evolution and Lateralization of the Brain, Annals of the New York Academy of Sciences*, 1977.
- Gerard, Ralph W., «What Is Memory?», *Scientific American*, vol. 189 (septiembre de 1953), pp. 118-126.
- Goodall, Jane, «Tool-Using and Aimed Throwing in a Community of Free-Living Chimpanzees», *Nature*, vol. 201 (1964), pp. 1.264-1.266.
- Gould, Stephen Jay, «This View of Life: Darwin's Untimely Burial», *Natural History*, vol. 85 (octubre de 1976), pp. 24-30.
- Gray, George W., «The Great Ravelled Knot», *Scientific American*, vol. 179 (octubre de 1948), pp. 26-39.
- Griffith, Richard M., Otoyá Miyagi y Akira Tago, «The Universality of Typical Dreams: Japanese vs. Americans», *American Anthropologist*, vol. 60 (1958), pp. 1.173-1.179.
- Grinspoon, Lester, J. R. Ewalt, y R. I. Schader, *Schizophrenia: Pharmacotherapy and Psychotherapy*, Williams & Wilkins, Baltimore, 1972.
- Hamilton, C. R., «An Assessment of Hemispheric Specialization in Monkeys», *Proceedings Conference on Evolution and Lateralization of the Brain, Annals of the New York Academy of Sciences*, 1977.
- Hacner, M. J., ed., *Hallucinogens and Shamanism*, Oxford University Press, Londres, 1973.
- Harris, Marvin, *Cows, Pigs, Wars and Witches: The Riddles of Culture*, Random House, Nueva York, 1974.
- Hartmann, Ernest L., *The Functions of Sleep*, Yale University Press, New Haven, Conn., 1973.
- Hayes, C., *The Ape in Our House*, Harper, Nueva York, 1951.
- 246 *Los dragones del Edén*

- Herrick, C. Judson, «A Sketch of the Origin of the Cerebral hemispheres», *Journal of Comparative Neurology*, vol. 32 (1921), pp. 429-454. Hollóway, Ralph L., «Cranial Capacity and the Evolution of the Human Brain», *American Anthropologist*, vol. 68 (1966), pp. 103-121. —, «The Evolution of the Primate Brain: Some Aspects of Quantitative Relations», *Brain Research*, vol. 7 (1968), pp. 121-172. Howell, F. Clark, *Early Man*, Life Nature Library, Time, Inc., Nueva York, 1965.
- Howells, William, *Mankind in the Making: The Story of Human Evolution*, Rev. ed. Doubleday, Nueva York, 1967.
- Hubel, D. H., y T. N. Wiesel, «Receptive Fields of Single Neurons in the Cat's Striate Cortex», *Journal of Physiology*, vol. 150 (1960), pp. 91-104. Ingram, D., «Cerebral Speech Lateralization in Young Children», *Neuropsychologia*, vol. 13 (1975), pp. 103-105. Jerison, H. J., *Evolution of the Brain and Intelligence*, Academic Press, Nueva York, 1973.
- , «The Theory of Encephalization», *Proceedings Conference on Evolution and Lateralization of the Brain, Annals of the New York Academy of Sciences*, Nueva York, 1977. Keller, Helen, *The Story of My Life*, Nueva York, 1902. Korsakov, S., «On the Psychology of Microcephalies (1893)», reed. en *American Journal of Mental Deficiency Research*, vol. 4 (1957), pp. 42-47. Kroeber, T., *Ishi in Two Worlds*, University of California Press, Berkeley, 1961.
- Kurtén, Bjorn, *Not from the Apes: History of Man's Origins and Evolution*, Vintage Books, Nueva York, 1972. La Barre, Weston, *The Human Animal*, University of Chicago Press, Chicago, 1954. Langer, Susanne, *Philosophy in a New Key: A Study in the Symbolism of Reason, Rite and Art*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1942. Lashley, K. S., «Persistent Problems in the Evolution of Mind», *Quarterly Review of Biology*, vol. 24 (1949), pp. 28-42. —, «In Search of the Engram», *Symposia of the Society of Experimental Biology*, vol. 4 (Nueva York, 1950), pp. 454-482. Leakey, Richard E., «Hominids in África», *American Scientist*, vol. 64, n.º 2 (1976), p. 174. Leakey, R. E. F., y A. C. Walker, «*Australopithecus, Homo erectus* and the Single Species Hypothesis», *Nature*, vol. 261 (1976), pp. 572-574.

Bibliografía 247

- Lee, Richard, e Irven DeVore, eds., *Man, the Hunter*, Aldine, Chicago, 1968.
- Le May, M., y N. Geschwind, «Hemispheric Differences in the Brains of Great Apes», *Brain Behavior and Evolution*, vol. 11 (1975), pp. 48-52.
- Lettvin, J. Y., H. R. Maturana, W. S. McCulloch y W. J. Pitts, «What the Frog's Eye Tells the Frog's Brain», *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, vol. 47 (1959), pp. 1.940-1.951.
- Lieberman, P., D. Klatt y W. H. Wilson, «Vocal Tract Limitations on the Vowel Repertoires of Rhesus Monkeys and Other Non-Human Primates», *Science*, vol. 164 (1969), pp. 1.185-1.187.
- Linden, Eugene, *Apes, Men and Language*, E. P. Dutton, Nueva York, 1974.
- Longuet-Higgins, H. C., «Perception of Melodies», *Nature*, vol. 263 (1976), pp. 646-653.
- MacLean, Paul D., *On the Evolution of Three Mentalities* (trabajo inédito).
- , *A Triune Concept of the Brain and Behaviour*, University of Toronto Press, Toronto, 1973.
- McCulloch, W. S., y W. Pitts, «A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity», *Bulletin of Mathematical Biophysics*, vol. 5 (1943), pp. 115-133.

McHenry, Henry, «Fossils and the Mosaic Nature of Human Evolution», *Science*, vol. 190 (1975), pp. 425-431.

Meddis, Ray, «On the Function of Sleep», *Animal Behaviour*, vol. 23 (1975), pp. 676-691.

Mettler, F. A., *Culture and the Structural Evolution of the Neural System*, American Museum of Natural History, Nueva York, 1956.

Milner, Brenda, Suzanne Corkin y Hans-Lukas Teuber, «Further Analysis of the Hypocampal Amnesic Syndrome: 14-Year Follow-up Study of H. M.», *Neuropsychologia*, vol. 6 (1968), pp. 215-234.

Minsky, Marvin, «Artificial Intelligence», *Scientific American*, vol. 214 (1966), pp. 19-27.

Mittwoch, Úrsula, «Human Anatomy», *Nature*, vol. 261 (1976), p. 364.

Nfcbes, D., y R. W. Sperry, «Hemispheric Disconnection Syndrome with Cerebral Birth Injury in the Dominant Arm Área», *Neuropsychologia*, vol. 9 (Nueva York, 1971), pp. 247-259.

Oxnard, C. E., «The Place of the Australopithecines in Human Evolution: Grounds for Doubt?», *Nature*, vol. 258 (1975), pp. 389-395.

Penfield, W., y T. C. Erickson, *Epilepsy and Cerebral Localization*, Charles C. Thomas, Springfield, 111., 1941.

248 Los dragones del Edén

Penfield, W., y L. Roberts, *Speech and Brain Mechanisms*, Princeton University Press, Princeton, N. J., 1959.

Pilbeam, David, *The Ascent of Man: An Introduction to Human Evolution*, Macmillan, Nueva York, 1972.

Pilbeam, D., y S. J. Gould, «Size and Scaling in Human Evolution», *Science*, vol. 186 (1974), pp. 892-901.

Platt, John R., *The Step to Man*, John Wiley, Nueva York, 1966.

Ploog, D. W., J. Blitz y F. Ploog, «Studies on Social and Sexual Behavior of the Squirrel Monkey (*Saimiri sciureus*)», *Folia Primatologica*, vol. 1 (1963), pp. 29-66.

Poliakov, G. I., *Neuron Structures of the Brain*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1972.

Premack, David, «Language and Intelligence in Ape and Man», *American Scientist*, vol. 64 (1976), pp. 674-683.

Pribram, K. H., *Languages of the Brain*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1971.

Radinsky, Leonard, «Oldest Horse Brains: More Advanced than Previously Realized», *Science*, vol. 194 (1976), pp. 626-627.

Rail, W., «Theoretical Significance of Dendritic Trees for Neuronal Input-Output Relations», en *Neural Theory and Modeling*, R. F. Reiss, ed., Stanford University Press, Stanford, 1964.

Rose, Steven, *The Conscious Brain*, Alfred A. Knopf, Nueva York, 1973.

Rosenzweig, Mark R., Edward L. Bennett y Marian Cleeves Diamond, «Brain Changes in Response to Experience», *Scientific American*, vol. 226, n.º 2 (febrero de 1972), pp. 22-29.

Rumbaugh, D. M., T. V. Gilí y E. C. von Glaserfeld, «Reading and Sentence Completion by a Chimpanzee», *Science*, vol. 182 (1973), pp. 731-735.

Russell, Dale, A., «A New Specimen of *Stenonychosaurus* from the Oldman Formation (Cretaceous) of Alberta», *Canadian Journal of Earth Sciences*, vol. 6 (1969), pp. 595-612.

— «Reptilian Diversity and the Cretaceous-Tertiary Transition in North America», Geological Society of Canada Special Paper, n.º 13 (1973), pp. 119-136.

Sagan, Carl, *The Cosmic Connection: An Extraterrestrial Perspective*, Doubleday, Nueva York, 1973; y Dell, Nueva York, 1975 (hay trad. cast.: *La conexión cósmica*, Plaza & Janes, Barcelona, 1990³).

—, ed., *Communication with Extraterrestrial Intelligence*, MIT Press, Cambridge, Mass., 1973 (hay trad. cast.: *Comunicación con inteligencias extraterrestres*, Planeta, Barcelona, 1980).

Schmitt, Francis O., Dev Parvati y Barri H. Smith, «Electrotonic Processes

Bibliografía 249

sing of Information by Brain Cells», *Science*, vol. 193 (1976), pp. 114-120.

Schaller, George, *The Mountain Gorilla: Ecology and Behavior*, University of Chicago Press, Chicago, 1963.

Schank, R. C., y K. M. Colby, eds., *Computer Models of Thought and Language*, W. H. Freeman, San Francisco, 1973.

Shklovskit, J. S., y Carl Sagan, *Intelligent Life in the Universe*, Dell, Nueva York, 1967.

Snyder, F., «Toward an Evolutionary Theory of Dreaming», *American Journal of Psychiatry*, vol. 123 (1966), pp. 121-142.

Sperry, R. W., «Perception in the Absence of the Neocortical Commissures», en *Perception and Its Disorders*, Research Publication of the Association for Research in Nervous and Mental Diseases, vol. 48, 1970.

Stahl, Barbara J., «Early and Recent Primitive Brain Forms», *Proceedings of the Conference on Evolution and Lateralization of the Brain, Annals of the New York Academy of Sciences*, 1977.

Swanson, Carl P., *The Natural History of Man*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1973.

Teng, Evelyn Lee, P. H. Lee, K. S. Yang y P. C. Chang, «Handedness in a Chinese Population: Biological, Social and Pathological Factors», *Science*, vol. 193 (1976), pp. 1.148-1.150.

Teuber, Hans-Lukas, «Effects of Focal Brain Injury on Human Behavior», en *The Nervous System*, Donald B. Tower, ed., vol. 2: *The Clinical Neurosciences*, Raven Press, Nueva York, 1975.

Teuber, Hans-Lukas, Brenda Milner y H. G. Vaughan, Jr., «Persistent Anterograde Amnesia after Stab Wound of the Basal Brain», *Neuropsychologia*, vol. 6 (1968), pp. 267-282.

Tower, D. B., «Structural and Functional Organization of Mammalian Cerebral Cortex: The Correlation of Neurone Density with Brain Size», *Journal of Comparative Neurology*, vol. 101 (1954), pp. 19-51.

Trotter, Robert J., «Language Evolving, Part II», *Science News*, vol. 108 (1975), pp. 378-383.

—, «Sinister Psychology», *Science News*, vol. 106 (5 de octubre de 1974), pp. 220-222.

- Turkewitz, Gerald, «The Development of Lateral Differentiation in the Human Infant», *Proceedings of the Conference on Evolution and Lateralization of the Brain, Annals of the New York Academy of Sciences*, 1977.
- Vacroux, A., «Microcomputers», *Scientific American*, vol. 232 (mayo de 1975), pp. 32-40.
- 250 *Los dragones del Edén*
- Van LawickGoodall, Jane, *In the Shadow of Man*, Houghton-Mifflin, Boston, 1971.
- Van Valen, Leigh, «Brain Size and Intelligence in Man», *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 40.
- Von Neumann, John, *The Computer and the Brain*, Yale University Press, New Haven, Conn., 1958.
- Wallace, Patricia, «Unravelling the Mechanism of Memory», *Science*, vol. 190 (1975), pp. 1.076-1.078.
- Warren, J. M., «Possibly Unique Characteristics of Learning by Primates», *Journal of Human Evolution*, vol. 3 (1974), pp. 445-454.
- Washburn, Sherwood L., «Tools and Human Evolution», *Scientific American*, vol. 203 (septiembre de 1960), pp. 62-75.
- Washburn, S. L., y R. Moore, *Ape Into man*, Little, Brown, Boston, 1974
- Webb, W B., *Sleep, The Gentle Tyrant*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1975.
- Weizenbaum, Joseph, «Conversations with a Mechanical Psychiatrist», *The Harvard Review*, vol. 111, n.º 2 (1965), pp. 68-73.
- Wendt, Herbert, *In Search of Adam*, Collier Books, Nueva York, 1963
- Witelson, S. F., y W. Pallie, «Left hemisphere Specialization for Language in the Newborn: Neuroanatomical Evidence of Asymmetry», *Brain*, vol. 96 (1973), pp. 641-646.
- Yeni-Komshian, G. H., y D. A. Bensch, «Anatomical Study of Cerebral Asymmetry in the Temporal lobe of Humans, Chimpanzees, and Rhesus Monkeys», *Science*, vol. 192 (1976), pp. 387-389.
- Young, J. Z., *A Model of the Brain*, Clarendon Press, Oxford, 1964,

acceso. En la jerga de los computadores, se denomina así al proceso destinado a obtener o recuperar datos de una unidad periférica.

ácido nucleico. Material genético de todos los seres vivos de la Tierra. Es una molécula compuesta de largas cadenas de unidades llamadas nucleótidos, por lo común enrolladas en doble hélice. Existen dos clases principales de ácidos nucleicos, el ADN y el ARN.

ADN. Ácido desoxirribonucleico. Véase *ácido nucleico*.

afasia. En sentido general, merma o pérdida de la capacidad de articular ideas mediante todo tipo de lenguaje. En sentido más estricto alude a la incapacidad de discernir el significado de las palabras pronunciadas de viva voz. Compárese con *alexia*.

alexia. Merma o pérdida de la capacidad de comprender el lenguaje escrito o impreso, tanto si se trata de palabras sueltas como de oraciones. Compárese con *afasia*.

Ameslan (ameslano). Nombre que se aplica en Norteamérica al lenguaje gestual o alfabeto para sordomudos.

amígdala. Componente del sistema límbico, en forma de almendra, contiguo al lóbulo temporal del neocórtex.

anáglifo. Representación estereoscópica plana de una imagen tridimensional. Casi siempre está compuesta por puntitos rojos y verdes y se contempla con gafas de uno y otro color.

área de Broca. Porción del neocórtex que guarda estrecha relación con el habla.

armazón neural. Conjunto integrado por la médula espinal, el cerebro posterior y el cerebro medio.

ARN. Ácido ribonucleico. Véase *ácido nucleico*.

bilateral. Por ambas partes.

bit. Unidad binaria de información. Un bit es la respuesta a una cuestión que sólo admite un «sí» o un «no» como respuesta.

bulbos olfatorios. Componentes del cerebro unidos a la parte delantera del cerebro anterior y que desempeñan un importante papel en la percepción de olores.

cerebelo. Masa cerebral alojada en la parte de la cabeza correspondiente a la nuca, debajo de la corteza cerebral posterior y encima del puente y la médula oblongada del rombencéfalo. Al igual que el neocórtex, se compone de dos hemisferios.

cerebro anterior. También llamado prosencéfalo. La parte evolutivamente más moderna de las tres principales divisiones del cerebro de los vertebrados. A su vez se divide en complejo R, sistema límbico y neocórtex.

cerebro medio. También llamado mesencéfalo. Región intermedia del cerebro de los vertebrados, entre el cerebro anterior y el posterior.

cerebro posterior. También llamado rombencéfalo. La parte más primitiva del cerebro, que incluye el puente de Varolio, el cerebelo, la médula oblongada y la parte superior de la médula espinal.

cerebro trino. Idea avanzada muy recientemente por Paul MacLean según la cual el cerebro anterior está formado por tres sistemas cognoscitivos que han evolucionado por separado y que, hasta cierto punto, funcionan de manera independiente.

cetáceos. Orden de mamíferos acuáticos que comprende a las ballenas y delfines.

cigoto. Huevo u óvulo fecundado.

circunvolución. Véase *giro*.

comisura anterior. Haz relativamente pequeño de fibras nerviosas que une los hemisferios cerebrales derecho e izquierdo del neocórtex. Compárese con *cuero calloso*.

comisura del hipocampo. Haz relativamente pequeño de fibras nerviosas que une los hemisferios derecho e izquierdo de la corteza cerebral cerca del hipocampo. Compárese con *cuero calloso*.

complejo R o complejo reptílico. La parte evolutivamente más primitiva del cerebro anterior.

corteza cerebral (córtex). En el hombre y en los mamíferos superiores designa la capa superficial más extensa de los hemisferios cerebrales, determinante en buena parte de los actos prototípicos del hombre. A veces se usa con el mismo significado que neopallio o neocórtex.

corteza motora. Porción del neocórtex que regula el movimiento y la función de los miembros.

craneotomía. Seccionamiento o extirpación de una parte del cráneo, en general como paso previo a la intervención quirúrgica del cerebro.

cromosomas. Cuerpos filamentosos que contienen el material hereditario (genes). Están integrados únicamente por ácidos nucleicos.

cuero calloso. La gran comisura o haz de fibras nerviosas que forman la principal conexión entre los hemisferios izquierdo y derecho de la corteza cerebral.

electrodo. Conductor eléctrico sólido por el que fluye una corriente eléctrica. El electroencefalógrafo registra a través de los electrodos las corrientes eléctricas que genera el cerebro.

electroencefalógrafo (EEG). Aparato consistente en una serie de amplificadores y en una pluma-registro que transcribe de forma automática sobre un cilindro giratorio. Se usa para registrar las corrientes eléctricas cerebrales transmitidas mediante electrodos aplicados a la cabeza del paciente. Se utiliza como fórmula de diagnóstico médico y en los estudios sobre la función del cerebro.

endocraneal. Relativo a la cara interna del cráneo.

endorfinas. Pequeñas proteínas cerebrales producidas en el interior del organismo susceptibles de originar diversidad de estados emocionales, o de otro signo, en los animales.

equipotente. Que posee idéntica capacidad. De manera específica, la teoría de que para determinadas funciones cognoscitivas y de otro tipo cualquier parte del cerebro puede reemplazar a otra en la realización de las mismas.

extirpación. Suprimir por entero una unidad del cerebro, normalmente mediante una intervención quirúrgica.

función ecológica. Papel que corresponde al organismo en la naturaleza.

gameto. Esperma o célula reproductora capaz de participar en la fecundación. Contienen un número haploide de cromosomas.

giro. También llamada circunvolución. Una de las prominentes elevaciones tubulares que asoman en la superficie del neocórtex.

haploide. Que posee un número de cromosomas igual a la mitad de los contenidos en un cuerpo ordinario o célula somática. Por ejemplo, en el hombre cada célula somática tiene 46 cromosomas, pero un gameto posee sólo 23.

hipocampo. Formación del sistema límbico relacionada con la memoria.

hiotálamo. Porción del sistema límbico situada en la base del tálamo y que, entre otras funciones, ayuda a regular la temperatura del cuerpo y los procesos metabólicos.

información extragenética. Información acumulada con independencia de los genes, normalmente por vía discursiva o como legado cultural.

información extrasomática. Información no contenida en el organismo (por ejemplo, un libro).

lateralización. Separación de funciones entre dos lados, en especial los hemisferios derecho e izquierdo del neocórtex. **lesión.** Corte, herida o daño en general. Algunas lesiones cerebrales son resultado de un accidente y otras consecuencia de una intervención quirúrgica. **lobotomía.** Incisión quirúrgica o lesión de uno de los lóbulos neocorticales. **lóbulos del neocórtex.** Véase *lóbulo frontal*, *lóbulo occipital*, *lóbulo parietal* y *lóbulo temporal*. **lóbulo frontal.** Porción del neocórtex situada aproximadamente debajo de la frente.

lóbulo occipital. Porción del neocórtex situada aproximadamente debajo de la base posterior del cráneo. **lóbulo parietal.** Aproximadamente, la porción media de cada hemisferio cerebral del neocórtex.

lóbulo temporal. Porción del neocórtex situada aproximadamente debajo de las sienes. **localización de la función cerebral.** El hallazgo de que ciertas partes del cerebro llevan a cabo determinadas funciones que les son propias.

Hipótesis opuesta a la del cerebro *equipo ten te*. **médula oblongada.** Porción del cerebro que se continúa con la médula espinal. Forma parte del cerebro posterior. **memoria duradera.** Aquella que se conserva durante un lapso de tiempo sustancial, por lo general más de un día.

memoria efímera. Aquella que se conserva por breves periodos de tiempo, normalmente menos de un día.

microcefálico. Dícese del sujeto que posee una cabeza más pequeña de lo corriente. Esta condición suele ir acompañada de una considerable merma de las facultades mentales. **mutación.** Cambio hereditario que se produce en los ácidos nucleicos de los cromosomas. **neocórtex.** La capa más externa y evolutivamente más moderna de la corteza cerebral. A veces se le otorga el mismo significado que a este último término. **neurona.** Célula nerviosa; unidad fundamental del sistema nervioso y del cerebro.

nucleótido. Elemento fundamental de los ácidos nucleicos. **pituitaria.** Glándula endocrina «rectora» situada en el sistema límbico, aunque cerca del cerebro medio. Influye en el crecimiento e interviene en la actividad de otras glándulas endocrinas. **plasticidad.** Ductilidad, adaptabilidad, capacidad para ser formado o moldeado y, de manera específica, la facultad de asimilar las enseñanzas del medio exterior.

presión selectiva. En el cuadro de la teoría evolucionista, la influencia del medio en la selección de una serie de rasgos genéticos con fines de supervivencia y de reproducción.

prewired. En la jerga de los computadores, información asentada en el lugar que le corresponde. También se le llama *hard-mred*. Cuanta más *prevüring*, menos plasticidad.

primates. Orden (una de las clasificaciones taxonómicas) de mamíferos que comprende al hombre y a los lémures, los monos y los grandes simios.

procesos primarios. Término psicoanalítico que designa a las funciones inconscientes básicas del cerebro.

proteínas. Junto con los ácidos nucleicos, principal base molecular de la vida en la Tierra. Las proteínas están compuestas de unidades constitutivas llamadas aminoácidos y, por lo común, presentan repliegues y curvaturas notables. Algunas proteínas tienen forma esférica y otras semejan esculturas abstractas autoestables. Todas las enzimas, sustancias que controlan el ritmo de las reacciones químicas en la célula, son proteínas. Los ácidos nucleicos regulan la síntesis y la activación de las enzimas.

psicomotor. Que está relacionado con la regulación mental de los procesos musculares.

puente (*pons*). También llamado *puente de Varolio*. Arco neural que une la médula oblongada con el cerebro medio. Forma parte del cerebro posterior.

recapitulación (o recapitulación de la filogenia por la ontogenia). La repetición manifiesta, durante el desarrollo embrionario de un organismo, de un estado embrionario propio de los antecesores de la especie.

REM (*rapid eye movements*). Movimiento rápido conjugado de los ojos, en especial el que se produce en los párpados durante los periodos de ensoñación a lo largo del sueño. En consecuencia, caracterización de χ las ensoñaciones.

selección **natural.** Mecanismo principal de la evolución biológica, descrito en un principio por Darwin y Wallace. Sostiene que los organismos accidentalmente más adaptados al medio sobreviven mejor y dejan más descendientes en la generación siguiente que los menos dotados.

sinapsis. Conjunción de dos neuronas; punto desde el cual se transmite el impulso eléctrico de una neurona a otra.

sistema límbico. Parte del cerebro anterior que ocupa una posición intermedia, tanto por su situación como por su antigüedad, entre el complejo R y el neocórtex.

tálamo. Porción del sistema límbico próxima al centro del cerebro. En tre otras funciones, proyecta estímulos sensoriales al neocórtex.

taxón. Grupo de organismos clasificados conforme a sus rasgos comunes, desde los que presentan diferencias de poca monta, como la raza y la subespecie, hasta los muy diferenciados, como los reinos animal y vegetal.

tomía (sufijo). Seccionamiento del órgano antepuesto a dicho sufijo, como, por ejemplo, *craneotomía*, *lobotomía*, etc.

vuelco de memoria intermedia (*buffer dumping*). La obtención o evacuación de información almacenada provisionalmente en la *memoria efímera* (o de corta duración).

Indice

Introducción

1. El calendario cósmico
2. Genes y cerebros
3. El cerebro y el carro
4. El Edén como metáfora. La evolución del hombre
5. Las abstracciones de los brutos
6. Relatos del oscuro paraíso
7. Amantes y locos
8. La evolución futura del cerebro
9. Nuestro destino es el conocimiento. Inteligencia terrestre y extraterrestre

Bibliografía

Glosario de voces técnicas

La conexión cósmica
Una perspectiva extraterrestre
Carl Sagan

Biblioteca de Divulgación Científica *muy INTERESANTE* 01

EDICIONES ORBIS, S. A.

Distribución exclusiva para Argentina, Chile, Paraguay, Perú y Uruguay

HYSPAMERICA

Título original: The cosmic connection - An extraterrestrial perspective

Traducción: Jaime Piñeiro

Dirección de la colección: Virgilio Ortega

© 1973 by Carl Sagan and Jerome Agel

© 1978 by Plaza & Janes S. A. Editores

© por la presente edición, Ediciones Orbis S. A.

Distribución exclusiva para Argentina, Chile, Paraguay, Perú y Uruguay:

HYSPAMERICA EDICIONES ARGENTINA, S.A.

Marzo de 1986

Edición digital y revisión de la traducción de urijenny (odoniano@yahoo.com.ar)

Índice

Prefacio	8
Primera Parte: Perspectivas cósmicas	12
1. Un animal de transición	14
2. El unicornio de Cetus	19
3. Un mensaje de la Tierra	24
4. Un mensaje a la Tierra	28
5. Experimentos en utopías.....	38
6. Chauvinismo.....	43
7. La exploración del espacio como empresa humana - 1. El interés científico	51
8. La exploración del espacio como empresa humana - 2. El interés público	57
9. La exploración del espacio como empresa humana - 3. El interés histórico	62
Segunda parte: El Sistema Solar	67
10. Sobre la enseñanza de primer grado	68
11. Los legendarios dioses de la antigüedad	71
12. La historia detectivesca de Venus.....	74
13. Venus es el Infierno.....	79
14. Ciencia e «Inteligencia»	83
15. Las lunas de Barsoom.....	88
16. Las montañas de Marte - 1. Observaciones desde la Tierra	100
17. Las montañas de Marte - 2. Observaciones desde el espacio	105
18. Los canales de Marte	110
19. Las fotografías perdidas de Marte.....	115
20. La edad del hielo y la caldera.....	119
21. Comienzos y finales de la Tierra	122
22. Terraformación de los planetas	124
23. La exploración y utilización del Sistema Solar.....	129
Tercera parte: Mas allá del sistema solar.....	137
24. Algunos de mis mejores amigos son delfines.....	138
25. ¡Oiga! ¿Distribución Central? ¡Envíenme veinte extraterrestres!	149
26. La conexión cósmica.....	152
27. Vida extraterrestre: una idea cuyo momento ha llegado	157
28. ¿Ha sido visitada la Tierra?	163
29. Estrategia en la búsqueda de la inteligencia extraterrestre	169
30. Si tenemos éxito.....	173
31. Cables, tambores y caracolas	178
32. Tren nocturno a las estrellas	182
33. Astroingeniería	184
34. Veinte preguntas: una clasificación de civilizaciones cósmicas	187
35. Intercambios culturales galácticos.....	192
36. Entrada al Infinito	195
37. Habitantes de las estrellas - 1. Una fábula.....	199

38. Habitantes de las estrellas - 2. Un futuro.....	204
39. Habitantes de las estrellas - 3. Los gatos negros cósmicos	209

Dedicado a mis hijos Dorion, Jeremy y Nicholas.

*Ojalá que su futuro –y el de todos los humanos así como otros seres– se presente
lleno de promesas.*



Les mystères des Infinis de Grandville, 1844.

Prefacio

Cuando yo tenía doce años, mi abuelo me preguntó –mediante un traductor, pues nunca había aprendido bien el inglés– qué quería ser cuando fuese mayor. Le respondí que «astrónomo», palabra que al cabo de unos momentos le tradujeron.

«Sí –respondió–, ¿pero cómo te ganarás la vida?»

Yo suponía que al igual que todas las personas adultas que conocía, me tendría que limitar a efectuar un trabajo aburrido, monótono, carente de todo poder creativo. A la astronomía sólo podría dedicarme en los fines de semana. Cuando estudiaba el segundo año en la escuela superior descubrí que algunos astrónomos recibían una paga o sueldo por seguir cultivando su pasión. Entonces me sentí abrumado por un enorme gozo; sin duda alguna, podría dedicar todo mi tiempo a lo que más me gustaba y a lo que más me interesaba.

Incluso hoy día hay momentos en que lo que hago me parece un sueño improbable, aunque sí sumamente agradable. Tomar parte en la exploración de Venus, Marte, Júpiter y Saturno; reproducir, repetir los pasos que condujeron al origen de la vida hace cuatro mil millones de años en una Tierra muy diferente a la que conocemos; depositar instrumentos en Marte para buscar allí la vida, y, quizá, dedicar serios esfuerzos a comunicarnos con otros seres inteligentes, si los hay, ahí fuera, en la formidable obscuridad del firmamento nocturno.

Si hubiera nacido cincuenta años antes, no hubiese podido dedicarme a ninguna de esas actividades. Por entonces, no eran más que producto de una imaginación especulativa. Si hubiera nacido cincuenta años más tarde, tampoco habría podido dedicar mi vida a estas actividades, excepto, posiblemente, a la última de las mencionadas, ya que dentro de cincuenta años, a partir de ahora, se habrá dado fin a un reconocimiento preliminar del Sistema Solar, de la búsqueda de vida en Marte y del estudio del origen de la vida. Me considero sumamente afortunado de vivir en un momento de la historia de la Humanidad cuando se están emprendiendo tales aventuras.

De manera que cuando Jerome Agel vino a verme para que escribiera un libro que fuese popular, un libro que tratara de comunicar a los demás mis opiniones sobre las investigaciones emprendidas y la misma importancia de estas aventuras, acepté tal responsabilidad, aun cuando su sugerencia llegaba poco antes de que se llevase a cabo la misión *Mariner 9* a Marte, hecho que estaba seguro ocuparía la mayor parte de mi tiempo durante muchos meses. En una ocasión posterior, después de charlar acerca de la comunicación con la inteligencia extraterrestre, Agel y yo cenamos en un restaurante polinesio de Boston. Mi horóscopo del día decía: «Muy pronto se te exigirá que descifres un importante mensaje.» Por supuesto, aunque lo del horóscopo no pasaba de ser un juego infantil, el presagio, el pronóstico, era bueno.

Al cabo de siglos de confusas conjeturas, de especulaciones absurdas, conservadurismo indigesto y desinterés carente de toda posible imaginación, por fin

ha llegado a su mayoría de edad el tema de la vida extraterrestre, y en la actualidad ha alcanzado una etapa práctica donde se la puede estudiar mediante técnicas rigurosamente científicas, una etapa en la que ha conseguido respetabilidad científica y en la que, asimismo, se entiende ampliamente su significado. Por esa razón, repito, la vida extraterrestre acaba de alcanzar su mayoría de edad.

Este libro se divide en tres partes a cual más importante. En la primera intento transmitir el sentido de la perspectiva cósmica viviendo fuera de nuestras vidas en un diminuto trozo de roca y metal circundando una de las doscientas cincuenta mil millones de estrellas que forman nuestra galaxia en un Universo de miles de millones de galaxias. La declinación de una de nuestras más comunes concepciones, o de uno de nuestros más vulgares engreimientos, también es una de las aplicaciones prácticas de la astronomía. La segunda parte del libro se relaciona con varios aspectos de nuestro Sistema Solar –principalmente con la Tierra, Marte y Venus–. Aquí pueden hallarse algunos de los resultados e implicaciones del *Mariner 9*. La tercera parte se dedica a la posibilidad de comunicación con la inteligencia extraterrestre en planetas de otras estrellas. Puesto que todavía no se ha establecido ningún contacto –nuestros esfuerzos hasta la fecha han sido débiles–, esta parte es necesariamente especulativa. No he dudado en conjeturar dentro de lo que estimo puedan ser los límites normales de una plausibilidad científica. Y aunque no soy, por formación, un filósofo, sociólogo o historiador, no he dudado en esbozar implicaciones históricas, sociológicas y filosóficas de astronomía de exploración del espacio.

Desde aquí me atrevería a decir que los descubrimientos astronómicos que estamos a punto de conseguir son del más amplio significado humano. Si este libro llega a desempeñar un pequeño papel en aumentar el interés público por estas aventuras exploratorias, creo que habrá hecho honor a su propósito.

Al igual que ha sucedido con trabajos anteriores a éste, sobre todo si se basan en temas especulativos, algunas de las declaraciones que aparecen en estas páginas despertarán enérgicas objeciones. Existen otros libros en los que se exponen distintas opiniones. La discusión razonada es el alma de la ciencia, como no lo es, por desgracia, en el terreno intelectualmente más anémico de la política. Pero creo que las opiniones que ofrecen ocasión de una mayor controversia y que aquí se exponen, tienen, sin embargo, valiosos elementos de significado científico. Deliberadamente he introducido el mismo concepto en contextos ligeramente diferentes y en ciertos lugares donde creí se precisaba de la discusión. El libro está cuidadosamente estructurado, pero, para aquellos lectores que sólo deseen escudriñar, la mayor parte de los capítulos les ofrecerán todos los elementos adecuados para llevarlo a cabo.

Fueron demasiadas las personas que me ayudaron a configurar las opiniones que expongo sobre estos temas como para poder expresarles mi reconocimiento a todas ellas desde estas páginas, pero al releer los capítulos considero que me encuentro especialmente en deuda con Joseph Veverka y Frank Drake, ambos de la Cornell University, y con quienes durante los últimos años discutí tantos aspectos de esta obra. El libro fue redactado parcialmente durante un largo viaje transcontinental en un automóvil muy pequeño. Doy las gracias a Linda y a Nicholas por su estímulo y paciencia. También agradezco a Linda los dos dibujos en los que aparecen dos

apuestos seres humanos y un elegante unicornio. Por otro lado, expreso mi profundo reconocimiento al fallecido Mauritz Escher, por el permiso concedido para reproducir su *Otro Mundo*, y a Robert Macintyre, por la figura humana y campo de estrellas de la tercera parte. Los cuadros y dibujos de John Lomberg constituyeron, para mí, auténtica fuente de emoción estética e intelectual, y le agradezco la producción de muchos de ellos especialmente para este libro. Las cuidadosas reproducciones fotográficas de Hermann Eckleman sobre la obra de Lomberg han facilitado mucho su publicación en este libro. Y, por supuesto, doy las gracias a Jerome Agel, sin cuya dedicación y perseverancia este libro jamás se hubiese escrito.

Por otra parte, me siento en deuda con John Naugle, de la NASA, por mostrarme su archivo de respuestas de la opinión pública a la placa del Pioneer 10; con el Oregon System of Higher Education, por el permiso concedido para reproducir algunas ideas de mi libro *Planetary exploration*; al Forum de Historia Contemporánea, de Santa Bárbara, por el permiso para publicar una parte de mi carta distribuida por el Forum en enero de 1973; a la Cornell University Press, por el permiso para reimprimir parte de mi capítulo «*Los extraterrestres y otras hipótesis*», de *UFO's: A scientific debate*, editado por Carl Sagan y Thornton Page, Cornell University Press, 1972. Asimismo, estoy muy reconocido a todos cuantos me han autorizado a reproducir, en el capítulo IV, sus observaciones sobre la placa *Pioneer 10*. La evolución de este libro a través de muchas maquetas sin duda se debe mucho a la capacidad técnica de Jo Ann Cowan y, sobre todo, de Mary Szymanski.

Carl Sagan



Otro Mundo de M. C. Escher.

Primera Parte: Perspectivas cósmicas

*No dejaremos de explorar
y al final de toda nuestra investigación
habremos llegado a donde comenzamos
y conoceremos el lugar por vez primera...
cuando las lenguas de fuego se plieguen
para formar un nudo de fuego
y el fuego y la rosa sean sólo uno.*

T. S. Eliot

Four quartets



Imagen sin título de Jon Lomberg.

1. Un animal de transición

Hace cinco mil millones de años, cuando apareció el Sol, el Sistema Solar se transformó desde una nebulosa impenetrable a un cegador chorro de luz. En las partes interiores del Sistema Solar, los primeros planetas eran grupos irregulares de roca y metal –los desechos, los constituyentes menores de la nube inicial, el material que no se había alejado tras la ignición del Sol.

Estos planetas se calentaron al formarse. Los gases atrapados en su interior fueron exudándose, valga la expresión, para formar atmósferas. Se derritieron sus superficies y los volcanes fueron cosa común.

Las primeras atmósferas se componían de los más diversos átomos y eran muy ricas en hidrógeno. La luz del Sol, al incidir sobre las moléculas de la primitiva temprana atmósfera, las excitó, provocó choques moleculares y produjo moléculas de mayor tamaño. Bajo las inexorables leyes de la Química y la Física, estas moléculas actuaron recíprocamente, formaron verdaderos océanos y dieron lugar a la producción de otras moléculas mucho mayores, moléculas bastante más complejas que aquellos átomos iniciales de las cuales se habían formado, pero todavía microscópicas ante toda posible medida o norma humana.

Estas moléculas, notablemente suficientes, son las que nos forman. Los bloques de construcción, por así decirlo, de los ácidos nucleicos, que constituyen nuestro material hereditario, y los bloques de cimentación de las proteínas, los obreros que ejecutan el trabajo de la célula, se produjeron de la atmósfera y océanos de la primitiva Tierra. Sabemos esto porque hoy día podemos reproducir dichas moléculas repitiendo las condiciones primitivas.

Casualmente, hace muchos miles de millones de años, se formó una molécula que poseía una capacidad notable. Era capaz de producir, de los bloques de construcción moleculares de las aguas circundantes, una copia de sí misma, un doble de sí misma bastante exacto. En este sistema molecular hay un conjunto de instrucciones, un código molecular que contiene la secuencia de bloques de edificación de los cuales se construye la molécula mayor. Cuando, por accidente, se produce un cambio en la secuencia, también se modifica la copia o lo que hemos llamado «doble». Semejante sistema molecular –capaz de replicación, mutación y repetición de sus mutaciones– puede denominarse «vivo». Es una colección de moléculas que puede evolucionar mediante la selección natural. Las moléculas capaces de replicar con mayor rapidez, o de reproducir bloques de construcción partiendo de cuanto les rodea para alcanzar una mayor variedad, una variedad más útil, se reprodujeron con mayor eficacia que sus competidoras, y con el tiempo dominaron.

Pero las condiciones cambiaron gradualmente. El hidrógeno escapó al espacio. La producción de bloques moleculares de edificación declinó. Disminuyó el material alimenticio que, antiguamente, existía en gran abundancia. Se expulsó a la vida del jardín molecular del Edén. Tan sólo fueron capaces de sobrevivir aquellos conjuntos de moléculas capaces de transformar cuanto les rodeaba, capaces de producir

máquinas moleculares eficaces para la conversión de moléculas simples en otras complejas aptas para la supervivencia. Aislándose de cuanto las rodeaba, manteniendo las primitivas condiciones idílicas, aquellas moléculas que se rodeaban de membranas tenían una ventaja. Surgieron las primeras células.

Al carecer o al no ser fáciles de obtener los bloques moleculares de edificación, los organismos tuvieron que trabajar duramente para formarlos. Las plantas fue el resultado. Las plantas se inician con aire y agua, minerales y luz solar, y producen bloques moleculares de edificación, de muy elevada complejidad. Los animales, como los seres humanos, son parásitos en las plantas.

Los cambios de clima y competencia entre lo que era entonces amplia diversidad de organismos dio origen a una mayor especialización, una sofisticación de funciones y una elaboración de forma. Una rica formación de plantas y animales comenzó a cubrir la Tierra. Aparte de los primeros océanos en los que surgió la vida, se colonizaron nuevos ambientes, como la tierra y el aire. Entonces, los organismos ya vivían desde la cima del monte Everest hasta los rincones más profundos de los abismos. Los organismos viven en soluciones concentradas, ardientes, de ácido sulfúrico y en secos valles del Antártico. Los organismos viven en el agua condensada y retenida en un simple cristal de sal.

Las formas de vida desarrolladas que armonizaban bien con sus ambientes específicos, se adaptaron admirablemente a las condiciones reinantes. Pero éstas cambiaron. Los organismos estaban demasiado especializados. Murieron. Otros organismos se adaptaron en peores condiciones, pero estaban más generalizados. Las circunstancias cambiaron, el clima varió, pero los organismos fueron capaces de persistir. Muchas más especies de organismos han muerto durante la historia de la evolución terrestre que los que viven hoy día. El secreto de la evolución es el tiempo y la muerte.

Entre las adaptaciones que parecen ser útiles está la que llamamos inteligencia. La inteligencia es la ampliación de una tendencia evolucionista que se manifiesta en los organismos más simples: la tendencia hacia el control del ambiente. El adicto y fiel método biológico de control ha sido el material hereditario: información transmitida por ácidos nucleicos de generación en generación, información sobre cómo construir un nido, información sobre el temor a las caídas, a las serpientes, o a la obscuridad; información sobre cómo volar hacia el Sur durante el invierno. Pero la inteligencia necesita información sobre una cualidad adaptable desarrollada durante la vida completa de un solo ser. Hoy día existe una variedad de organismos en la Tierra que poseen esta cualidad que llamamos inteligencia. Los delfines la tienen y lo mismo ocurre con los grandes antropoides. Pero es mucho más evidente en el organismo llamado hombre.

En el hombre no sólo existe esa información de adaptabilidad adquirida en la vida de un solo individuo, sino que se transmite estratégicamente a través de la cultura, libros y educación. Es precisamente esto, más que otra cosa, lo que ha elevado al hombre a su actual estado preeminente en el planeta Tierra.

Somos el producto de cinco mil millones de años de evolución biológica lenta, fortuita, y no hay razón alguna para pensar en que se haya detenido tal proceso

evolutivo. El hombre es un animal en período de transición. No es el climax de una creación.

La Tierra y el Sol existirán muchos más miles de millones de años. El futuro desarrollo del hombre probablemente dependerá de una disposición cooperadora entre la evolución biológica controlada, manejos genéticos y una íntima asociación entre organismos y máquinas inteligentes. Pero no creo que haya nadie que pueda emitir pronóstico alguno de esta evolución futura. Lo que sí resulta evidente es que no podemos permanecer estáticos.

Al parecer, en nuestra historia más primitiva, los individuos eran adictos a su inmediato grupo tribal, que posiblemente no sobrepasaría los diez o veinte individuos, todos ellos emparentados por lazos de consanguinidad. A medida que el tiempo transcurrió, la necesidad de un comportamiento de cooperación —en la caza de grandes animales o rebaños, en la agricultura y en el desarrollo de ciudades— obligó a los seres humanos a formar grupos cada vez mayores. En la actualidad, ejemplo particular de los cinco mil millones de años de historia de la Humanidad, la mayoría de los seres humanos deben fidelidad y obediencia al estado-nación (aunque algunos de los problemas políticos más peligrosos surjan todavía a causa de conflictos tribales relacionados con unidades de población muy pequeñas).

Muchos líderes visionarios han imaginado una época en la que la devoción, obediencia o fidelidad de un ser humano individual no se centre en su particular estado-nación, religión, raza o grupo económico, sino que lo haga sobre toda la Humanidad en su conjunto, es decir que cuando se beneficie a un ser humano de otro sexo, raza, religión, que se encuentra a una distancia de nosotros de quince mil kilómetros, el hecho nos sea tanpreciado como si hubiésemos favorecido a nuestro propio hermano o vecino. Se tiende a seguir el criterio, pero el avance es sumamente lento. Aquí es preciso hacerse una pregunta muy seria sobre si se podrá lograr semejante auto-identificación global de la Humanidad antes de que nos destruyamos con las fuerzas tecnológicas que ha desarrollado nuestra inteligencia.

En un sentido muy real, los seres humanos son máquinas construidas por los ácidos nucleicos para disponer una eficiente repetición de más ácidos nucleicos. En cierto sentido, nuestras necesidades más acuciantes, las más nobles empresas, y el manifiesto libre albedrío, son una expresión de la información codificada en el material genético: en cierto sentido, somos depósitos temporales y ambulantes de nuestros ácidos nucleicos. Esto no niega nuestra humanidad. No nos impide perseguir el bien, la verdad y lo bello. Pero sería un gran error ignorar de dónde procedemos en nuestros intentos por determinar a dónde vamos.

No cabe duda alguna de que nuestro sistema instintivo se ha modificado poco desde los días en que los hombres se reunían para cazar, hace varios centenares de miles de años. Nuestra sociedad ha cambiado enormemente desde aquellos tiempos, y los más grandes problemas de supervivencia en el mundo contemporáneo pueden entenderse en términos de este conflicto, entre lo que «sentimos» que debemos hacer obedeciendo a nuestros instintos más primarios, y lo que «sabemos» que debemos hacer obedeciendo, finalmente, a nuestra cultura extragenética.

Si sobrevivimos en estos peligrosos tiempos, resulta evidente que incluso una identificación con toda la Humanidad no es la identificación deseable y fundamental.

Si sentimos profundo respeto por otros seres humanos como iguales receptores de este precioso patrimonio de cinco mil millones de años de evolución, ¿por qué no ha de aplicarse tal identificación también a todos los demás organismos de la Tierra que son, asimismo, el producto del mismo número de años de evolución? Cuidamos de una pequeña fracción de organismos de la Tierra como, por ejemplo, perros, gatos y vacas –porque son útiles o porque nos halagan–. Pero las arañas, las salamandras, el salmón y el girasol son igualmente nuestros hermanos y hermanas.

Creo que la dificultad que todos experimentamos de extender nuestros horizontes de identificación en tal sentido es, en sí misma, genética. Las hormigas de una tribu lucharán hasta morir ante la intrusión de otras hormigas pertenecientes a diferente tribu. La historia humana está llena de casos monstruosos de pequeñas diferencias –pigmentación de la piel, especulación teológica abstrusa o forma de vestir y estilo de peinado–, que son causa de hostigamiento, esclavitud y asesinatos.

Un ser exactamente igual a nosotros, pero con una pequeña diferencia fisiológica –un tercer ojo, o pelo azul que cubra su nariz y frente–, es algo que provoca sentimientos de repugnancia o retroceso. Tales sentimientos pueden haber tenido un valor aceptable en otras épocas al defender nuestra pequeña tribu contra las bestias o los vecinos. Pero en nuestra época estos sentimientos son peligrosos y anticuados.

Ha llegado el momento de sentir respeto y reverencia no solamente hacia los seres humanos, sino también hacia todas las formas de vida; el mismo respeto que mostraríamos hacia una obra maestra de la escultura o hacia una máquina maravillosamente terminada. Desde luego, esto no significa que debamos abandonar los imperativos de nuestra propia supervivencia. El respeto hacia el bacilo del tétanos no llegará hasta el extremo de ofrecer nuestro cuerpo como medio de cultivo. Pero, al mismo tiempo, podemos recordar que aquí tenemos un organismo con una bioquímica que se remonta mucho más allá del pasado de nuestro planeta. El bacilo del tétanos está intoxicado por el oxígeno molecular, el que nosotros respiramos tan libremente. El bacilo del tétanos, pero no nosotros, se hallaría como pez en el agua en aquella atmósfera rica en hidrógeno y libre de oxígeno de la primitiva Tierra.

El respeto y reverencia hacia toda forma de vida es factor importantísimo en unas cuantas religiones del planeta Tierra, por ejemplo, entre los *jainos* de la India. Y algo que se aproxima mucho a esta idea es responsable de vegetarianismo, al menos en las mentes de muchos practicantes de esta dieta represiva. Pero, ¿por qué ha de ser mejor matar plantas que animales?

Los seres humanos sólo pueden sobrevivir matando otros organismos. Pero podemos realizar una compensación ecológica cultivando otros organismos; estimulando la plantación de bosques, impidiendo la matanza al por mayor de organismos como las ballenas y focas, organismos que pueden tener valor comercial o industrial, como asimismo declarando fuera de la ley la caza injustificada, y haciendo que el medio ambiente de la Tierra sea más agradable para todos sus habitantes.

Puede haber un momento, como expongo en la tercera parte de este libro, en el que entremos en contacto con otros seres inteligentes en un planeta de alguna lejana

estrella, con seres que cuentan con miles de millones de años de evolución completamente independiente, seres que es probable se parezcan poco a nosotros, aunque puedan pensar de forma parecida. Es importante que extendamos nuestros horizontes de identificación, no precisamente sobre las formas de vida más simples y humildes de nuestro planeta, sino también hacia formas de vida exóticas y avanzadas que puedan habitar con nosotros, en nuestra enorme galaxia de estrellas.

2. El unicornio de Cetus

En el cielo, cuando el aire está limpio y claro, hay un test de Rorschach que nos está esperando. Millares de estrellas brillantes y débiles, en deslumbradora variedad de colores, parecen cruzar el dosel de la noche. El ojo, irritado por aquel supuesto desbarajuste, buscando orden, tiende a organizar pautas o patrones entre alejados y distintos puntos de luz. Nuestros antepasados de hace miles de años, que se pasaban todo el tiempo al aire libre, un aire puro, estudiaron cuidadosamente todos estos patrones. Así se desarrolló toda una rica ciencia mitológica.

Gran parte del contenido original de esta mitología astral no ha llegado hasta nosotros. Es tan antigua, se ha reordenado y relatado tantas veces, sobre todo durante los últimos millares de años por individuos no familiarizados con el aspecto del cielo, que sin duda alguna se ha perdido gran parte de ella. Aquí y allá, en extraños lugares, aún permanecen los ecos de relatos cósmicos sobre los patrones que presenta el cielo.

En el *Libro de los Jueces* figura un relato acerca de un león atacado por un enjambre de abejas, incidente a primera vista raro y poco consecuente. Pero la constelación de *Leo*, en el cielo nocturno, se halla junto a un grupo de estrellas, visibles en una noche clara como un vellosa retazo de luz llamado *Praesepe*. Por el aspecto que presenta, observado con el telescopio, los astrónomos modernos le llaman «*La Colmena*». Me pregunto si en el *Libro de los Jueces* no nos habrán dejado como herencia esa imagen de *Praesepe*, obtenida por algún hombre de vista excepcional que viviera en aquella época muy anterior al descubrimiento del telescopio.

Cuando contemplo el cielo por la noche, no puedo distinguir la figura o el perfil de un león en la constelación *Leo*. Veo la *Osa Mayor*, y, si la noche es clara, la *Osa Menor*. Me siento perdido si trato de hallar un cazador en *Orion* o la figura de un pez en la constelación de *Piscis* y, por supuesto, me resulta totalmente imposible ver la figura de un auriga o cochero en *Auriga*. Las bestias míticas, personajes e instrumentos, situados por los hombres en el cielo, son arbitrarios y no evidentes. Hay acuerdos, convenios, sobre cuál es esta o aquella constelación, acuerdos sancionados en años recientes por la International Astronomical Union, que traza límites separando una constelación de otra. Pero en el cielo hay muy pocas figuras claras.

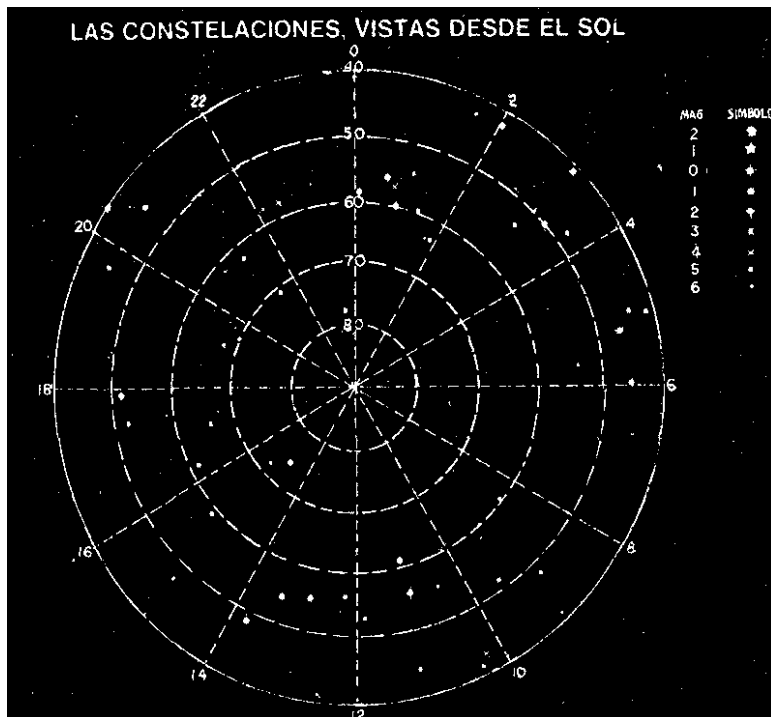
Estas constelaciones, aun cuando se dibujan en dos dimensiones, la verdad es que son tridimensionales. Una constelación como, por ejemplo, *Orion* está formada por estrellas brillantes situadas a considerables distancias de la Tierra y estrellas de menos luz situadas mucho más cerca. Si variásemos nuestras perspectivas, si moviésemos nuestro punto de vista –por ejemplo, con un vehículo espacial interestelar–, el aspecto del cielo cambiaría. Las constelaciones se deformarían lentamente.

Gracias a los esfuerzos realizados por David Wallace en el Laboratorio de Estudios Planetarios de la Cornell University, se ha podido programar una computadora con la información sobre las posiciones tridimensionales desde la Tierra a cada una de las más brillantes y cercanas estrellas, incluso de una quinta magnitud, el limitado fulgor

visible para el ojo desnudo en una noche clara. Cuando pedimos a la computadora que nos muestre el aspecto que presenta el cielo visto desde la Tierra, observamos algunos resultados relacionados con la deformidad antes mencionada en las figuras acompañantes: Una deformación para las constelaciones del Norte, circumpolares, incluyendo la *Osa Mayor*, la *Osa Menor*, y *Casiopea*; otra para las constelaciones del Sur, circumpolares, incluyendo la *Cruz del Sur*; y otra para la amplia gama de estrellas situadas en latitudes medias incluyendo *Orion* y las constelaciones del *Zodiaco*. Si el lector no es un estudiante avezado en las constelaciones convencionales, creo que experimentará algunas dificultades en distinguir escorpiones y vírgenes en el cuadro general.

Luego pedimos a la computadora que nos muestre el cielo visto desde la estrella más cercana a la nuestra, Alfa Centauro, sistema de tres estrellas, situado a unos 4,3 años-luz de la Tierra. En función de la escala de nuestra galaxia Vía Láctea, ésta es una distancia tan corta que nuestras perspectivas siguen siendo exactamente las mismas. La *Osa Mayor* se presenta igual que si se viera desde la Tierra. Casi todas las restantes constelaciones aparecen invariables. Sin embargo, hay una sorprendente excepción, y es la constelación *Casiopea*, la reina del antiguo reino, madre de Andrómeda y suegra de Perseo, que aparece como conjunto de cinco estrellas dispuestas en forma de W o M, dependiendo, naturalmente, de cómo haya girado el cielo. Sin embargo, desde Alfa Centauro se distingue una muesca extra en la M; una sexta estrella aparece en Casiopea, mucho más brillante que las otras cinco. Esa estrella es el Sol. Desde una situación ventajosa de la estrella más cercana, nuestro Sol es punto relativamente brillante, pero poco insinuante en el cielo nocturno. No hay manera de distinguir mirando a Casiopea desde el cielo de un hipotético planeta de Alfa Centauro que haya planetas girando alrededor del Sol, que en el tercero de estos planetas haya formas de vida, y que una de estas formas de vida se considere dotada de gran inteligencia. Si éste es aplicable a la sexta estrella en Casiopea, ¿no podría serlo también a innumerables millones de otras estrellas en el cielo nocturno?

Una de las dos estrellas que el Proyecto Ozma estudió hace una década buscando posibles indicios de inteligencia extraterrestre fue Tau Ceti, en la constelación de *Cetus* (tal y como se ve desde la Tierra), la ballena. La computadora dibujó el cielo como si fuera visto desde un hipotético planeta de Ceti. Ahora nos hallamos a un poco más de once años-luz de distancia del Sol. La perspectiva ha cambiado algo más. Ha variado la relativa orientación de las estrellas y quedamos en libertad de inventar nuevas constelaciones, «test» de proyecto psicológico para los cetianos.

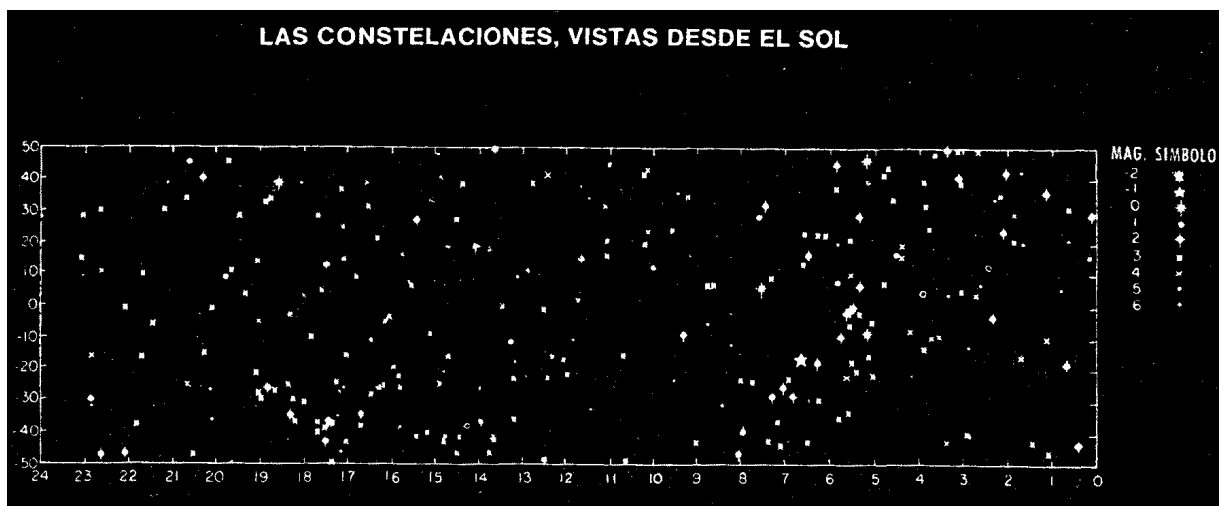


Las constelaciones de la zona septentrional del cielo, vistas desde las cercanías del Sol o de la Tierra.



La misma escena vista desde la estrella más cercana, Alfa Centauro. La nueva estrella de la constelación de *Casiopea*, cerca de 60° de latitud celeste y 2,5 horas de longitud celeste, es el Sol.

Pedí a mi esposa Linda, que es una buena artista, dibujara la constelación de un *Unicornio* en el cielo cetiano. Ya hay un unicornio en nuestro cielo, llamado *Monoceros*, pero deseaba que este unicornio fuese mayor y más elegante —y también ligeramente diferente a los unicornios terrestres comunes—, con seis patas, por ejemplo, en lugar de cuatro. Mi esposa inventó una linda bestia. En contra de lo que me esperaba, es decir que el animal presentara tres pares de patas, este especial unicornio aparece galopando orgullosamente sobre dos grupos de tres patas cada uno. Da la impresión de que el animal está realizando un verdadero galope. Hay una diminuta estrella que apenas se ve, situada en el punto donde se unen la cola y el cuerpo del unicornio. Esa estrella tan débil y tan mal colocada es el Sol. Los cetianos pueden considerarla como divertida especulación de que una raza de seres inteligentes vive en un planeta que gira alrededor de la estrella, que casi une al unicornio con su cola.



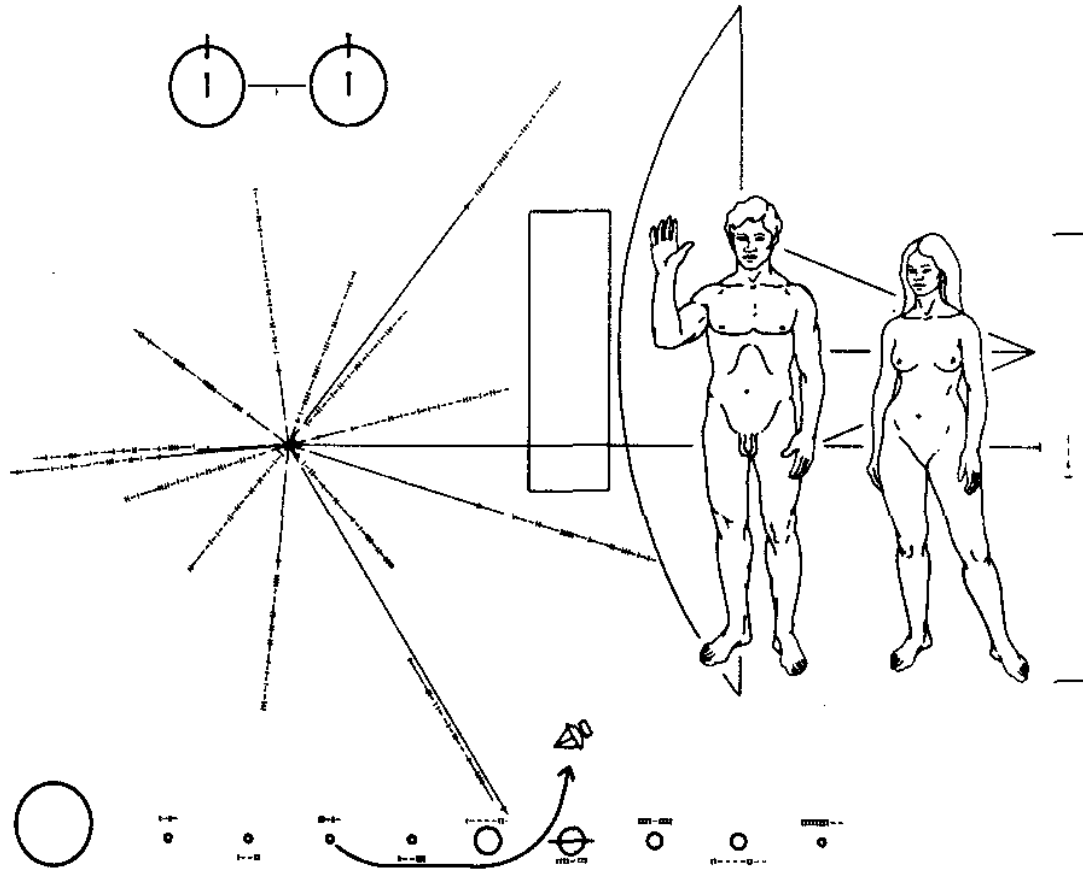
Las estrellas más brillantes vistas desde la Tierra y el Sol, que no están cerca de los polos celestes Norte o Sur.



Las mismas estrellas, vistas desde Tau Ceti una de las estrellas más próximas, como el Sol. En el cielo de Tau Ceti, el Sol es estrella de cuarta magnitud.

Cuando nos movemos a distancias mayores del Sol que Tau Ceti –a cuarenta o cincuenta años-luz– el Sol aminora todavía más su brillo hasta ser invisible al ojo humano. Los largos viajes interestelares –si algún día llegan a realizarse– no emplearán al Sol como punto de referencia. Nuestra poderosa estrella de la cual depende toda vida sobre la Tierra, nuestro Sol, que es tan brillante que se corre el peligro de quedarse ciego si se le contempla directamente, no se ve en absoluto a una distancia de unas cuantas docenas de años-luz, una milésima parte de la distancia que hay al centro de nuestra Galaxia.

3. Un mensaje de la Tierra



La placa a bordo de la nave espacial *Pioneer 10*.

El primer intento serio que hizo la Humanidad por comunicarse con civilizaciones extraterrestres tuvo lugar el 3 de marzo de 1972, con el lanzamiento del *Pioneer 10* desde Cabo Kennedy. El *Pioneer 10* fue el primer vehículo espacial que se diseñó para explorar el medio ambiente del planeta Júpiter y, antes en su viaje, los asteroides que hay entre las órbitas de Marte y Júpiter. Su órbita: no sufrió trastorno alguno por parte de un asteroide errante; el factor seguridad se calculó en la proporción de 20 a 1. Se aproximó a Júpiter el día 3 de diciembre de 1973, y en ese momento sufrió una aceleración por la gravedad de Júpiter para convertirse en el primer objeto volador construido por el hombre que abandonaba el Sistema Solar. Su velocidad de despegue es aproximadamente de 13 km/s.

El *Pioneer 10* es también el objeto más veloz lanzado hasta la fecha por la Humanidad. Pero el espacio está muy vacío y las distancias entre las estrellas son enormes. En los próximos diez mil millones de años, el *Pioneer 10* no penetrará en el sistema planetario de ninguna otra estrella, aun suponiendo que todas las estrellas

de la Galaxia cuenten con tales sistemas planetarios. La nave espacial necesitará unos 80.000 años para recorrer la distancia que hay a la estrella más próxima situada a 4,3 años-luz de la Tierra.

Pero el *Pioneer 10* no ha sido dirigido hacia las proximidades de la estrella más cercana. En lugar de esto, viajará hacia un punto situado en la esfera celeste cerca del límite de las constelaciones de *Tauro* y *Orion*, donde no hay objetos cercanos.

Es posible que la nave espacial se encuentre con una civilización extraterrestre, siempre y cuando dicha civilización posea gran capacidad de vuelos interestelares y pueda interceptar semejantes naves espaciales en las que impera el silencio.

La colocación de un mensaje a bordo del *Pioneer 10* es algo similar a la botella que lanza al océano el marinero que ha naufragado, botella con un mensaje en su interior, con la esperanza de que llegue a manos de alguien. Pero el océano espacial es muchísimo más vasto que cualquier océano de la Tierra.

Cuando me llamó la atención la posibilidad de colocar un mensaje en una «botella espacial», me puse en contacto con la oficina de proyectos del *Pioneer 10* y con el cuartel general de la NASA con objeto de comprobar si existía alguna probabilidad de que mi sugerencia tuviera algún eco. Ante mi sorpresa y alegría, la idea encontró apoyo inmediato en todos los escalones jerárquicos de la NASA, a pesar de que era –según las normas generales– ya muy tarde para realizar incluso mínimos cambios en la nave espacial. Durante una reunión de la Sociedad Americana de Astronomía celebrada en San Juan de Puerto Rico, en diciembre de 1971, discutí en privado, con mi colega el profesor Frank Drake, también de Cornell, qué forma podrían adoptar los posibles mensajes que colocaríamos a bordo. Al cabo de unas cuantas horas decidimos a título de prueba, cuál sería el contenido del mensaje. Luego, las figuras humanas se añadieron mediante el trabajo personal de mi esposa-artista, Linda Salzman Sagan. Sin embargo, no creemos que sea el mensaje más óptimo que se pueda concebir para tal propósito: solamente disponíamos de tres semanas de plazo para la presentación de la idea, dibujo y diseño del mensaje, su aprobación por la NASA y la grabación de la placa final. En 1973, ya se ha lanzado al espacio una placa de identificación en el *Pioneer 11*, en una misión similar.

Se trata de una plancha de 15 x 23 cm, de aluminio y oro anodizado, sujeta a los puntales que soportan la antena del *Pioneer 10*. El índice de desgaste que se puede esperar en el espacio interestelar es suficientemente pequeño como para que este mensaje pueda permanecer intacto durante centenares de millones de años, y probablemente, por un período de tiempo mucho mayor. De aquí que éste sea el artefacto construido por la Humanidad con una más larga esperanza de vida.

El mensaje intenta comunicar con los locales, manifestar época y algo sobre la naturaleza de los constructores de la nave espacial. Está escrito en el único lenguaje que compartimos con los destinatarios: la ciencia. En la parte superior izquierda aparece una representación esquemática de la transición entre giros de electrones de protones paralelos y antiparalelos del átomo de hidrógeno neutro. Bajo esta representación está el número binario 1. Tales transiciones de hidrógeno están acompañadas por la emisión de un fotón en radiofrecuencia de una longitud de onda de aproximadamente 21 cm y una frecuencia de unos 1.420 megahertz. Así, hay una distancia característica y un tiempo característico asociados a la transición. Puesto

que el hidrógeno es el átomo más abundante en la Galaxia, y como la física es igual en toda la Galaxia, creemos que una civilización avanzada no tendrá dificultad alguna en comprender esta parte del mensaje. Pero, como comprobación, en el margen derecho aparece el número binario 8 (1---) entre dos marcas, indicando la altura de la nave espacial *Pioneer 10*, representada tras el hombre y la mujer. Una civilización que reciba la placa sin duda también recibirá la nave espacial, y podrá determinar que la distancia indicada es evidentemente cercana a ocho veces 21 cm, confirmando así que el símbolo de la parte superior izquierda representa la transición del hidrógeno.

Figuran más números binarios en el dibujo radial que abarca la parte principal del diagrama en el centro izquierda. Estos números, si estuvieran escritos en el sistema decimal, estarían formados por diez dígitos. Deben representar distancias o tiempos. Si son distancias, entonces serán de un orden varias veces 10^{11} cm, o unas cuantas docenas de veces la distancia que hay entre la Tierra y la Luna. Es muy probable que nosotros les considerásemos útiles para la comunicación. A causa del movimiento de los objetos dentro del Sistema Solar, tales distancias varían de manera continua y compleja.

Sin embargo, los correspondientes tiempos están en el orden de 1/10 segundos a 1 segundo. Estos son los períodos característicos de los pulsares, fuentes naturales y regulares de emisión radiocósmica; los pulsares son estrellas neutrónicas que giran rápidamente, producidas en catastróficas explosiones estelares (véase el capítulo 38). Creemos que una civilización científicamente sofisticada no tendrá dificultad alguna en comprender el dibujo radial, así como las posiciones y períodos de 14 pulsares con respecto al Sistema Solar de lanzamiento.

Pero los pulsares son relojes cósmicos que se gastan, por así decirlo, bajo índices bien conocidos. Los que reciban el mensaje deberán preguntarse a sí mismos no sólo dónde fue siempre posible ver 14 pulsares dispuestos en posición tan relativa, sino también cuándo fue posible verlos. Las respuestas son: únicamente desde un volumen muy pequeño de la Vía Láctea y en un solo año en toda la historia de la Galaxia. Dentro de los límites de ese pequeño volumen hay, quizá, mil estrellas; solamente una de ellas ha de tener el orden, de planetas con distancias relativas tal y como se indica en el fondo del diafragma. Asimismo se muestran los tamaños aproximados de los planetas y los anillos de Saturno; por supuesto, de forma esquemática. Por otra parte, en el diafragma se muestra una representación esquemática de la trayectoria inicial de la nave espacial lanzada desde la Tierra, como también su paso junto a Júpiter. Así, el mensaje especifica una estrella en aproximadamente doscientos cincuenta mil millones, y un año (1970) en aproximadamente diez mil millones de años.

Hasta este punto, el contenido del mensaje debe ser suficientemente claro para una civilización extraterrestre avanzada, que sin duda tendrá que examinar también a todo el *Pioneer 10*. Probablemente, el mensaje es mucho menos claro para el hombre de la calle, si esta calle se halla en la Tierra. (Sin embargo, las comunidades científicas de la Tierra no han experimentado ninguna dificultad para descifrar el mensaje.) Podemos asegurar que el caso se presenta al revés en cuanto se refiere a las representaciones de los seres humanos que aparecen en la derecha. Los seres extraterrestres, que son el producto de cinco mil millones de años o más de

evolución biológica independiente, puede que no se parezcan en absoluto a los humanos, ni tampoco sea igual todo cuanto se refiera a las convenciones sobre perspectivas y dibujo que existen aquí. En consecuencia, es muy probable que la parte más misteriosa del mensaje la constituyan los seres humanos.

4. Un mensaje a la Tierra

La dorada tarjeta de visita o saludo, situada a bordo del *Pioneer 10*, tenía como objetivo principal, si alguna vez se daba tal remota contingencia, de que los representantes de una avanzada civilización terrestre pudiesen hallar o recibir este primer artefacto de la Humanidad que abandonaba el Sistema Solar por vez primera. Pero el mensaje tuvo un impacto mucho más inmediato. Ya fue detalladamente estudiado, no por seres extraterrestres, sino por terrestres. Los seres humanos de toda la Tierra lo han examinado, aplaudido, criticado, interpretado, e incluso han propuesto otra clase de mensajes.

Los gráficos del mensaje se reprodujeron ampliamente en periódicos y programas de televisión, en revistas literarias, gráficas y en publicaciones nacionales de carácter científico. Hemos recibido cartas de científicos, amas de casa, historiadores y artistas feministas y homosexuales, oficiales del Ejército y funcionarios del Estado. Incluso recibimos una carta de un profesor de contrabando. Nuestra placa fue reproducida por una compañía de grabación para su comercialización, así como por un distribuidor de juegos científicos para niños, un fabricante de tapicerías, una fábrica italiana especializada en lingotes de plata... todos, a propósito, sin contar para ello con la más mínima autorización.

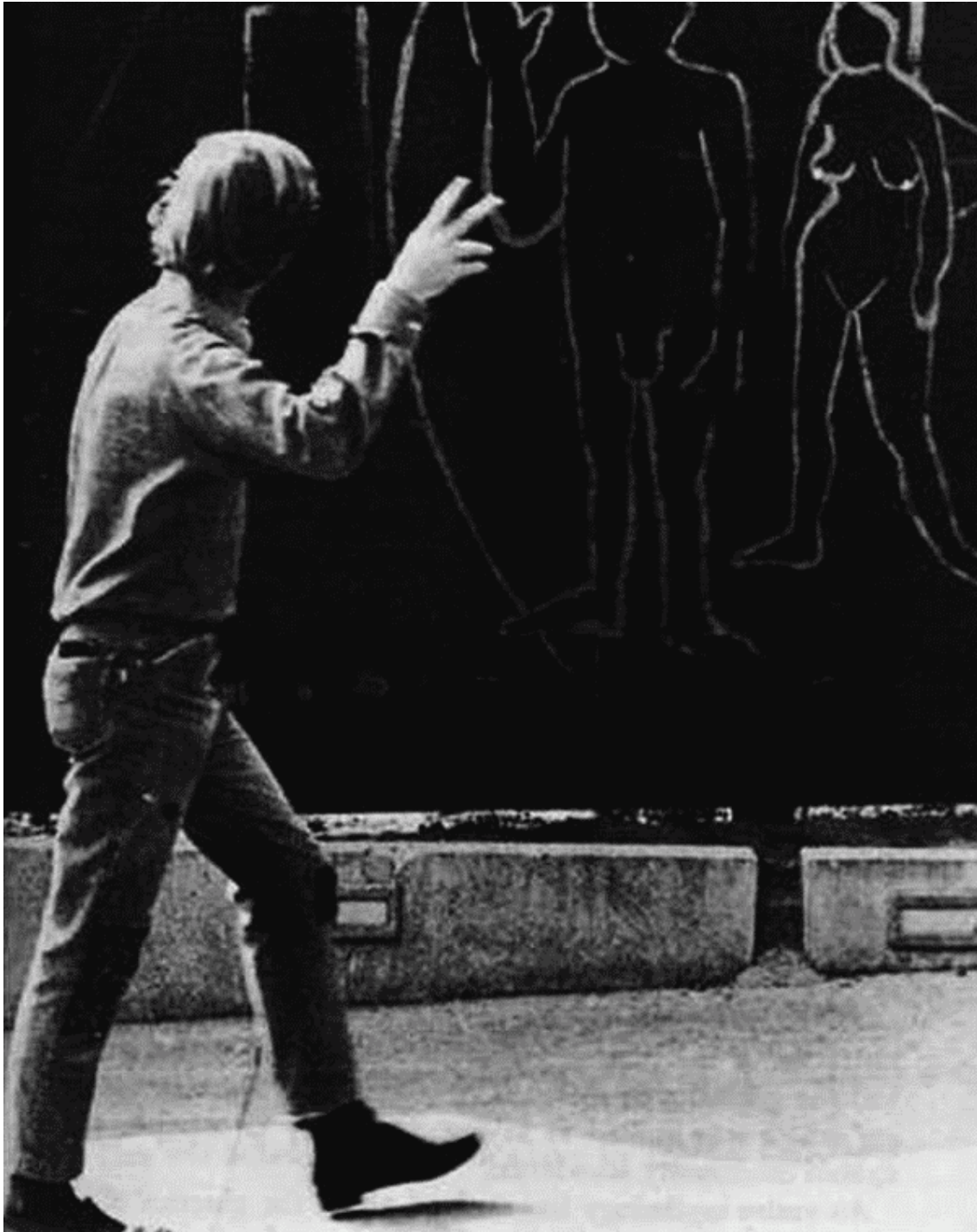
La mayor parte de los comentarios fueron favorables y algunos hasta entusiásticos. Los enormes tableros de publicidad callejeros del *Tribune* de Ginebra, Suiza, anunciaban:

«Message de la NASA pour les extraterrestres!»

Nos escribió un científico para decirnos que la base científica y su descripción de la placa que publicamos en el diario americano *Science* era el primer documento científico que realmente le había hecho derramar lágrimas de alegría. Un corresponsal en Athens, Georgia, escribe:

«Todos nos habremos ido antes de que este particularísimo mensaje haya sido recogido por algún indescriptible ser espacial, pero aun así su misma existencia, la audacia del sueño, produce inevitablemente en mí —y en muchos otros, lo sé— los sentimientos de un Balboa, un Leeuwenhoek, de un ser humano al sentirse muy humano.»

En el Instituto de Tecnología de California, donde la inscripción es un misterio, algún artista desconocido dibujó el mensaje sobre el muro de un solar, despertando amistosos saludos por parte de los peatones y vecinos que esperamos sirvan de modelo a los lectores extraterrestres.



Graffiti en Caltech: una respuesta a la placa del *Pioneer 10*. Cortesía de *Engineering and Science*, California Institute of Technology, Pasadena, California.

Pero también hubo comentarios críticos. No se dirigían hacia el mapa pulsar, núcleo científico del mensaje, sino más bien a la representación del hombre y la mujer. Los dibujos originales de esta pareja fueron hechos por mi esposa y se basaron en los modelos clásicos de la escultura griega y en los dibujos de Leonardo da Vinci. Los dos seres no aparecen cogidos de la mano, ya que esto podría inducir a pensar a los

extraterrestres que la pareja es un solo organismo unido por las yemas de los dedos (en ausencia de caballos indígenas, tanto los aztecas como los incas consideraban al conquistador montado como un solo animal, especie de centauro con dos cabezas). El hombre y la mujer no se muestran en la placa adoptando la misma postura, de manera que pueda reflejarse la flexibilidad de los miembros, aunque entendemos perfectamente que las normas de perspectivas y dibujo lineal de la Tierra no signifiquen nada o casi nada para civilizaciones con otras normas artísticas.

La mano derecha del hombre está alzada en el gesto que una vez leí en un libro de antropología se considera como signo «universal» de buena voluntad, aunque tal universalidad sea, por supuesto, poco probable. Al menos, el saludo muestra nuestros pulgares opuestos. Solamente una de las dos personas presenta la mano alzada en ademán de saludo, a menos que –también podría darse el caso– los receptores dedujeran equivocadamente que uno de nuestros brazos está doblado de manera permanente por el codo. Algunas señoras escribieron quejándose de que la mujer aparece adoptando una actitud demasiado pasiva. Una de ellas escribió diciendo que también le agradaría saludar al Universo con ambos brazos extendidos, en gesto de salutación muy femenina. La principal crítica femenina se centra sobre el hecho de que la mujer no está dibujada del todo, que aparece sin ninguna huella exterior que indique su sexo. La decisión de omitir este detalle en el diagrama se tomó, en parte, debido a que las estructuras griegas también lo omiten. Pero hubo otra razón: nuestro deseo de ver el mensaje lanzado con el *Pioneer 10*. Es probable, al mirar ahora hacia atrás, que entonces juzgáramos a las jerarquías politicocientíficas de la NASA como mucho más puritanas de lo que en realidad son. En las numerosas conversaciones que sostuve con dichos funcionarios, desde el Administrador General de la NASA hasta el consejero científico del Presidente, puedo asegurar que en momento alguno se pronunció ninguna gazmoñería victoriana, y que asimismo, en todo instante, se nos concedió gran ayuda y estímulo.

Sin embargo, resulta evidente que al menos algunos individuos se sintieron ofendidos por la representación humana en la placa. El *Sun Times* de Chicago, por ejemplo, publicó tres versiones de la placa en diferentes ediciones, todas en el mismo día: En la primera el hombre aparecía completo; en la segunda sufría de una extraña y repentina a la vez que fea castración; y en la versión final –sin duda para tranquilizar al padre de familia– aparecía sin ningún signo sexual en absoluto. Esto puede haber complacido a una corresponsal feminista que escribió al Times de New York, diciendo que se sentía tan furiosa por la incompleta representación de la mujer, que experimentaba el irresistible impulso de:

«...¡cortar el brazo derecho del hombre!»

El *Inquirer* de Filadelfia publicó en su primera página una ilustración de la placa pero suprimiendo los pezones de la mujer y el aparato genital del hombre. Al parecer, en tal ocasión, el ayudante del jefe de redacción dijo:

«Un periódico de familia debe mantener las sanas normas de la comunidad.»

Toda una completa mitología se desarrolló sobre la ausencia de signos visibles genitales femeninos. Fue una columna escrita por el respetado escritor científico Tom O'Toole, del *Post* de Washington, la que primero informó sobre el hecho de que

los funcionarios de la NASA habían censurado una original representación de la mujer. Esta historia circuló por toda la nación escrita por columnistas como Art Hoppe, Jack Stapleton Jr., y otros. Stapleton imaginaba a los encolerizados y escandalizados ciudadanos de otro planeta recibiendo la placa, y en plena furia de ultraje moral cubrían con cinta adhesiva la representación pornográfica de los pies del hombre y la mujer. Una carta dirigida al *Daily News* proponía que, si había que censurar a la mujer, entonces, consecuentemente, debían haberse pintado de azul las narices de los dos seres humanos. Una carta publicada en la revista *Playboy*, carta muy dura, se quejaba de esta intrusión de la censura gubernamental en las vidas de los ciudadanos. Por otra parte, hubo muchas publicaciones de ciencia-ficción que en sendos editoriales censuraron duramente la intervención del Gobierno.

La sexualidad que pueda haber en el mensaje también provocó auténticos incendios epistolares. El *Times* de Los Angeles publicó la carta de un airado lector, quien decía:

«Debo decir que me sentí sumamente escandalizado por la tremenda exhibición de los órganos sexuales masculinos y femeninos que aparecen en la primera página del Times. Seguramente este tipo de explotación sexual está muy por debajo de las normas que nuestra comunidad espera del Times.»

»¿No es ya suficiente que tengamos que soportar el bombardeo de pornografía con que nos abruman películas y las revistas gráficas? ¿No es ya cosa suficientemente dañina, para coronarlo todo, que nuestros propios funcionarios de las organizaciones espaciales hayan considerado necesario extender esta suciedad incluso más allá de nuestro Sistema Solar?»

Esta misiva fue seguida, días más tarde, por otra carta publicada en el *Times*:

«Ciertamente, estoy de acuerdo con todas aquellas personas que protestan por el envío de esos sucios dibujos al espacio. Creo que se debían haber suprimido los órganos de reproducción del hombre y de la mujer. Junto a ellos, debía de haberse dibujado una cigüeña con un pequeño paquete colgado del pico y descendiendo del cielo.»

«Entonces, si realmente deseamos que nuestros celestiales vecinos sepan en qué medida hemos progresado en el aspecto intelectual, debíamos haber incluido dibujos de Santa Claus, Easter Bunny, y Tooth Fairy.»

El *Daily News*, de New York, publicaba un titular para el relato siguiendo las corrientes de la moda imperante:

«Los desnudos y los mapas cuentan a otros mundos la historia de la Tierra.»

Algunos de los corresponsales argumentaban que la función de los órganos sexuales no se haría en absoluto evidente, aun cuando apareciesen representados gráficamente, y nos estimulaban a que dibujásemos una secuencia de escenas en que apareciera la copulación. No había espacio suficiente para esto en una placa de tan escasas dimensiones. Me imagino también, en caso de haberse hecho esto, cuáles hubieran sido las cartas enviadas al *Times* de Los Ángeles.

Un artículo publicado en *Catholic Review* criticaba la placa porque:

«...lo incluye todo excepto Dios...»

y sugería que en lugar de dibujar un par de seres humanos habría que haber esbozado un par de manos enlazadas en gesto de oración.

Otro corresponsal sostenía que los detalles de perspectiva resultaban insuperablemente difíciles y nos animaba a que enviáramos al exterior los cadáveres completos de un hombre y una mujer. Se conservarían perfectamente en el frío del espacio y así los extraterrestres los podrían examinar con detalle. Naturalmente, nos negamos a hacerlo alegando un exceso de peso.

La primera página del *Barb*, de Berkeley, California, al parecer tratando de dar la impresión de que el hombre y la mujer del mensaje aparecían demasiado correctos y bien formados, los reprodujo con esta frase al pie:

«¡Hola! Somos de Orange County.»

Este comentario tocaba un aspecto de la representación del hombre y la mujer al que concedí gran importancia. En los dibujos originales de los que más tarde se hicieron los grabados, realizamos un gran esfuerzo para conseguir que tanto el hombre como la mujer tuvieran gran alcance racial. A la mujer se le dio aspecto físico agradable, y en cierta forma asiático, aunque parcialmente. Al hombre se le atribuyó nariz ancha, labios gruesos y corte de pelo «afro». En ambos seres también estaban presentes los característicos rasgos caucásicos. Esperábamos representar, al menos, tres de las principales razas humanas. En el grabado final sobrevivieron los labios, la nariz y el aspecto agradable en general, pero, como los cabellos de la mujer sólo están dibujados en contorno, a muchos les pareció rubia, destruyendo así la posibilidad de una significativa contribución de genes asiáticos. También, y en algún momento de la transcripción del dibujo original al grabado final, el aspecto «afro» se convirtió en un corte de pelo dado al hombre que aparecía con cabello rizado, corto, con aspecto muy mediterráneo. Sin embargo, el hombre y la mujer de la placa son, en gran medida, representantes de los sexos y razas humanas.

El profesor E. Gombrich, director del Warburg Institute, famosa escuela de arte de Londres, critica la placa en el *Scientific American*. Se preguntaba cómo es posible que se espere que la placa pueda ser visible a un organismo extraterrestre que quizá no haya desarrollado el sentido de la vista en longitudes de onda visibles. La respuesta se deriva simplemente de las leyes físicas. Las atmósferas planetarias absorben la luz del cercano sol o soles debido a tres procesos moleculares. El primero es un cambio en la energía de los electrones individuales adheridos a los átomos. Estas transiciones se dan en las zonas ultravioleta, rayos X y gamma del espectro y tienden a convertir en opacas las atmósferas planetarias en estas longitudes de onda. El segundo se trata de transiciones vibratorias que ocurren cuando dos átomos en una molécula determinada oscilan entre sí. Tales transiciones tienden a hacer que las atmósferas planetarias sean opacas en la cercana zona infrarroja del espectro. En tercer lugar, las moléculas sufren cambios giratorios debidos a la libre rotación de la molécula. Tales transiciones tienden a absorber la parte infrarroja más alejada. Como resultado, en general, la radiación de la cercana

estrella que penetra a través de una atmósfera planetaria se hallará en las partes visibles del espectro, las partes que no son absorbidas por la atmósfera.

De hecho, éstas son las principales «ventanas» que emplean los astrónomos para inspeccionar el Universo desde la superficie de la Tierra. Pero las longitudes de onda de radio son tan largas que ningún organismo de razonable tamaño puede desarrollar dibujos de sus alrededores con «ojos» de longitud de onda de radio. Por tanto, esperamos se perfeccionen sensores de frecuencia óptica entre organismos y en planetas de estrellas en toda la Galaxia.

Sin embargo, aun cuando imaginemos organismos cuyos ojos funcionen bien en la zona infrarroja (o en la región de rayos gamma) y que sean capaces de interceptar al *Pioneer 10* en el espacio interestelar, probablemente no sea mucho pedirles que posean artefactos que examinen, escudriñen y estudien la placa en frecuencias a las cuales sus ojos son insensibles.

Como las líneas grabadas en la placa son más oscuras que el aluminio de oro anodizado que las rodea, el mensaje debe aparecer completamente visible, incluso en la zona infrarroja.

Gombrich también nos hace objeto de una especie de reprimenda por pintar una flecha como señal de la trayectoria a seguir por la nave espacial. Mantiene que las flechas serían sólo comprensibles para civilizaciones que se han desarrollado, como la nuestra, partiendo de una sociedad cazadora. Pero aquí, de nuevo, no hace falta tropezarse con un extraterrestre demasiado inteligente para comprender el significado de la flecha. Hay una línea que se inicia en el tercer planeta de un sistema solar y termina en algún lugar del espacio interestelar, en representación esquemática de la nave espacial, que los descubridores del mensaje tienen «a mano»: La placa está unida a la nave espacial. A partir de esto, yo más bien esperarí que pudiesen discutir hasta llegar a nuestros antepasados cazadores.

De la misma manera, las distancias relativas de los planetas al Sol mostradas mediante anotación binaria en la parte inferior de la placa indican que nosotros empleamos la aritmética de base 10. A juzgar por el hecho de que tenemos diez dedos en los pies y otros diez en las manos —dibujados con algún cuidado en la placa—, espero que cualquier ser extraterrestre podrá deducir que usamos el número 10 como base y que algunos de nosotros contamos con los dedos. Asimismo, y a juzgar por la rigidez de los dedos de nuestros pies, incluso pueden deducir que procedemos de antepasados arbóreos.

Hay otros aspectos mediante los cuales el mensaje ha demostrado ser una prueba psicológica proyectiva. Un hombre escribió sobre su preocupación de que el mensaje haya condenado a toda la Humanidad. Alegaba que las películas americanas sobre la Segunda Guerra Mundial muy probablemente hacen publicidad mediante la transmisión televisiva al espacio interestelar, y que, a juzgar por tales programas, los extraterrestres fácilmente podrán deducir: 1) que los nazis eran individuos perversos, y 2) que se saludaban mutuamente con la mano extendida hacia el frente. Repito que, a juzgar por la forma en que está dibujado el hombre de la placa que alza su mano derecha de la misma forma en que nuestro corresponsal cree que era el saludo nazi, el hombre se siente sumamente preocupado porque los extraterrestres supongan que el bando peor fue el que ganó la Segunda Guerra

Mundial y que muy pronto enviarán a la Tierra una expedición de castigo para arreglar mejor las cosas.

Semejante carta, sin duda, describe mucho mejor el estado mental del que la escribe que el de los probables destinatarios del mensaje. La mano derecha, alzada en gesto de saludo, se halla históricamente relacionada con el militarismo, pero en forma negativa: Una mano alzada y vacía simboliza que no se lleva encima arma alguna.

Para mí, algunas de las más conmovedoras respuestas al mensaje son las obras de arte y poesía que motivó. El señor Aim Morhardt es pintor de acuarelas del desierto y sierras, que vive en Bishop, California, donde, quizá no por pura coincidencia, se encuentra situada la gigantesca estación de Goldstone del *Pioneer 10*. El poema del señor Morhardt decía:

Pioneer 10: el mensajero de oro

*La proa del dragón que cruzó los mares del Norte,
buscando la aventura con el clan guerrero;
la galante sirena se inclina bajo la brisa
en barcarolas y mercantes de esbelto casco;
todos los descubridores de desconocidas tierras
se han ido en esta alada edad donde permanece la nada
en busca de extraños tesoros de alguna costa extranjera
abandonando la bien conocida tierra.
Ahora aparece el nuevo mascarón de proa del hombre
enfrentándose a la desconocida inmensidad.
Desnudo, veloz como las estrellas, mucho más allá de la llamada de los años.
Por parejas, o como extraño solitario en el exterior
ve, diminuto mensajero de tu propia raza,
y toca, si puedes, en puerto de algún lugar lejano.*

El señor Arvid F. Sponberg, de Belfast, Irlanda del Norte, escribió:

«El viaje del Pioneer 10 –y los viajes de otros como él– producirán un efecto que los poetas, pintores, y músicos no podrán ignorar por más tiempo. La existencia de la idea del Pioneer 10 es prueba de esto. La misión científica, por supuesto, tiene valor e interés incalculables, pero la idea del viaje posee un valor imaginativo mucho mayor. El Pioneer 10 nos acerca más al día en el que los artistas deben hacer frente al nuevo viaje del hombre como experiencia y no fantasía.»

El señor Sponberg compuso para nosotros otro poema:

La nueva Odisea

*Lejos, a gran distancia, más allá, carente de vínculos,
descarriado, errante, anhelante
arrastrado por las estrellas el Pioneer pasa rápido
solitario en el exterior, a la deriva en el viento solar.*

*Un hombre, una mujer, huérfanos de calor terrenal,
o espléndidos viajeros con velas de oro,
o como gitanos vagando por viejos senderos estelares,
una caravana en busca de anclaje celestial.*

*Si en la profundidad del frío espacio interestelar
algunos ojos temerosos espían la vida de esta balsa:
¿percibirán el corazón que hay dentro de nuestro barco
cuyos latidos señalan los ritmos de paz?
Un nuevo espíritu abre nuevas fronteras.
Una Odisea es nuestro hogar; loor a los Pioneer!*

Por supuesto, existe la posibilidad de que el mensaje fijado al *Pioneer 10* —inventado por seres humanos, pero dirigido a criaturas de clase muy diferente— pueda ser, después de todo, un misterio para ellas. Sin embargo, creemos que no. También creemos que el mensaje —excepto el del hombre y la mujer— está escrito en un idioma universal. Los extraterrestres no entenderán el inglés, el ruso, el chino o esperanto, pero deben compartir con nosotros la astronomía, física y matemáticas. Creo firmemente que entenderán, sin gran esfuerzo, este mensaje escrito en el idioma galáxico: «*el científico*».

Pero podemos equivocarnos. La revista de humor británica *Punch* realizó algo parecido a una encuesta de total «*falta de comprensión*», encuesta, por demás, sumamente divertida mediante un artículo que tituló:

«Según el Herald Tribune (París), solamente uno de cada diez científicos de la NASA fue capaz de descifrar el mensaje. Así pues, ¿qué oportunidad les queda a los profanos o extraños?»

Punch presenta una muestra de la opinión de cuatro representantes extraterrestres. Por supuesto, se refieren a la interpretación del verdadero mensaje:

«Todavía debo poner de relieve que, en estos momentos, sólo hacemos cábalas y que ninguno de nosotros ha explicado el significado de los puntos que hay a lo largo de la parte inferior. Se nos ha sugerido que bien podría tratarse del mapa de algún ferrocarril metropolitano, pero tenemos la impresión de que esto deja de tener en cuenta la probable posición marcada por la flecha de algún yate zozobrado o posiblemente la de una cizaña de huerto. Sin embargo, la inclusión de una rubia desnuda hace que sea más que probable que esto sea alguna especie de broma o chiste enviado por algún atrasado planeta, quizás el que usan los terrestres.»

«Hablando como araña extremadamente delgada que cuenta con catorce patas –dijo una voz desde la parte posterior de Andrómeda 8– he estudiado esta tarjeta de los terrestres y la considero como un desaire. La caricatura de nuestra especie es a la vez cruda y absurda, ya que entre otras cosas sugiere que tenemos una pata derecha más larga que todo el resto. Además, el ser geométrico que está en el fondo nos vuelve claramente la espalda y uno de los otros dos está señalando con cinco antenas en gesto francamente sórdido. Parece existir poca razón para dudar, al menos entre nosotras las arañas inteligentes, que esta cosa no es más que una declaración de guerra. La ilustración de la criatura que está en la derecha lanzando flechas desde el hombro es realmente siniestra, algo que presagia, sin duda alguna, una larga y amarga lucha con los terrestres.»

«Sea lo que fuere –declaró el Ser– no ha recorrido todo este camino por nada. Sospecho que trata de decirnos algo. Supongamos, no hagamos más que suponer y esto en beneficio de una posible polémica, que esta cosa que tenemos ante nosotros no es una verdadera criatura en sí misma, sino más bien un artefacto de alguna clase. Tal teoría podría explicar, como principio, que hasta ahora no ha dicho una sola palabra. No, esta cosa fue enviada –probablemente desde algún primitivo mundo tridimensional– y yo diría que quiere ser un dibujo o código con algún mensaje para nosotros, los Seres. Por supuesto, lo que sea el mensaje depende de la manera en que se suponga pueda ser. Nada me sorprendería que fuese chabacano o grosero.»

«¡Magnífico! –la cosa en Alfa Centauro estaba abrumada por el asombro–. ¡Verdaderamente magnífico! Que sepamos hasta ahora, ésta es la primera vez que llega a nuestro planeta un trabajo original del antiguo terrestre Leonardo da Vinci. Nuestros telescopios muestran que el estilo es el suyo sin duda alguna. No obstante, el descubrimiento altera algunos de los datos que poseemos sobre la Tierra. Hasta ahora no se sabía que el clima era lo suficientemente cálido como para que los policías prestaran servicio en su mundo sin ninguna clase de ropas, ni que los principales miembros de los terrestres funcionaran mediante cuerdas. Esperamos que pronto nos envíen más tarjetas de saludo.»

Quizás el comentario editorial más comprensible es el del *Times* de New York:

«...esa placa bañada en oro constituye para nosotros algo más que un reto. A pesar de la misteriosa maestría o poder de las leyes divinas que permiten al hombre lanzar sus artefactos hacia las estrellas, todavía nos sentimos totalmente incapaces para ordenar nuestros sistemas aquí, en la Tierra. Aun cuando tratamos de hallar una manera de asegurar que el Homo sapiens no liquide su planeta entre llamas nucleares, se alza un coro de voces que nos dice que el hombre puede suprimir su Tierra bien mediante el exceso de población, exigiendo demasiado a sus recursos naturales, o mediante ambas cosas.

«Así, el artefacto lanzado al espacio es al mismo tiempo un guante de desafío lanzado a la Tierra: que la placa lleve en su tiempo el mensaje de que el hombre está todavía aquí, no que haya estado aquí.»

El mensaje que llevaba a bordo el *Pioneer 10* ha sido una auténtica diversión. Pero también ha sido algo más que eso. Es una especie de prueba cósmica Rorschach, en la cual muchas personas ven reflejadas sus esperanzas y temores, sus

aspiraciones y derrotas, los más oscuros y los más luminosos aspectos del espíritu humano.

El envío de tal mensaje nos obliga a considerar cómo deseamos estar representados en una raciocinación cósmica. ¿Cuál es la imagen de la Humanidad que podríamos desear presentar a una civilización superior ubicada en cualquier punto de la Galaxia? La transmisión del mensaje del *Pioneer 10* nos estimula a considerarnos a nosotros mismos desde una perspectiva cósmica.

En mi opinión, creo que el mayor significado de la placa del *Pioneer 10* no es precisamente el hecho de enviar un mensaje al exterior, sino más bien el de que se trata de un mensaje enviado a nosotros mismos.

5. Experimentos en utopías



La búsqueda de utopías de Jon Lomberg.

Al valorar la probabilidad de que existan avanzadas civilizaciones tecnológicas en cualquier punto de la Galaxia, nos encontramos con que el hecho o factor más importante es precisamente aquel sobre el cual menos sabemos: el tiempo de vida de tal civilización. Si las civilizaciones se destruyen a sí mismas rápidamente tras haber alcanzado la fase tecnológica, en cualquier momento dado (como ahora) pueden existir muy pocas con las cuales entrar en contacto. Si, por otra parte, una pequeña parte de esas civilizaciones saben vivir con armas de destrucción masiva y

evitan tanto las catástrofes naturales como las autogeneradas, entonces puede llegar a ser muy grande el número de civilizaciones con las que poder comunicarnos en cualquier momento.

Esta evaluación o, más bien, simple razonamiento, es precisamente el que hace que nos preocupe el tiempo de vida de tales civilizaciones. Y, por supuesto, todavía hay una razón aún más poderosa. Debido a causas, esta vez de carácter personal, esperamos que el tiempo de vida de nuestra civilización sea largo.

Probablemente no hay ninguna época en la historia de la Humanidad que haya sufrido tantas variaciones y cambios como en la presente. Hace doscientos años se enviaba la información de una ciudad a otra empleando un medio no más rápido que el simple caballo. Hoy día, tal información se puede transmitir por teléfono, telégrafo, radio, o televisión, a la velocidad de la luz. En doscientos años, la velocidad de comunicación ha aumentado mediante un factor de treinta millones. Creemos que no se producirá un correspondiente avance futuro, puesto que los mensajes no pueden enviarse con mayor rapidez que la velocidad de la luz.

Hace doscientos años se tardaba tanto en ir desde Liverpool a Londres como ahora se tarda en ir desde la Tierra a la Luna. Cambios muy parecidos se han dado en los recursos energéticos al alcance de nuestra civilización, en la cantidad de información que se almacena y procesa, en los métodos de producción de alimentos y su distribución, en la síntesis de nuevos materiales, en la concentración de población que se ha movido desde el campo a las ciudades, en el enorme incremento de la población, en las mejoras de la práctica médica y en el enorme trastorno social.

Nuestros instintos y emociones son los mismos de nuestros antepasados y primitivos cazadores de hace un millón de años. Pero nuestra sociedad es asombrosamente diferente a la de hace un millón de años. En épocas de cambios lentos, los conocimientos y habilidades aprendidas por una generación son utilizados, probados y adaptados, y se reciben gustosamente cuando se pasan a la generación siguiente. Pero en épocas como la actual, cuando la sociedad cambia extraordinariamente sólo en el curso de una vida humana, los conocimientos paternos ya no tienen validez alguna para los jóvenes. El denominado abismo generacional no es más que una consecuencia del índice de cambio tecnológico y social.

Incluso en el transcurso de una vida humana el cambio es tan grande que muchas personas quedan aisladas de su propia sociedad. Margaret Mead ha descrito a los ancianos de hoy día como involuntarios inmigrantes del pasado al presente.

Los viejos supuestos económicos, los antiguos métodos de decisión en cuanto respecta a los líderes políticos, los vetustos métodos de distribución de recursos, los de comunicar información desde el Gobierno al pueblo —y viceversa—, todos pueden una vez haber sido válidos, útiles, o al menos adaptables, pero actualmente quizá ya no posean ningún valor de supervivencia en absoluto. Todas las viejas actitudes opresivas y chauvinistas entre razas, entre sexos, y entre grupos económicos están cambiando justificadamente. Está rasgándose la tela social que cubre al mundo.

Al mismo tiempo, hay intereses creados que se oponen al cambio. Incluyen a individuos que están en el poder y que tienen mucho que ganar a corto plazo manteniendo los antiguos métodos y formas de vida, aun cuando sus hijos tengan

mucho que perder a largo plazo. Son individuos incapaces de cambiar de actitud en sus edades medianas, actitud que se les inculcó, naturalmente, cuando eran jóvenes.

La situación es verdaderamente difícil. El índice de cambio no puede continuar indefinidamente. Como así lo indica el ejemplo de las comunicaciones, es preciso alcanzar un límite. No podemos comunicarnos a mayor velocidad que la luz. No podemos tener una población que sea superior a los recursos de la Tierra. Sea cuales fueren las soluciones que se logren, a partir de ahora transcurrirán centenares de años sin que la Tierra experimente grandes cambios y tensiones sociales. Sin duda alcanzaremos alguna solución a nuestros problemas actuales. La pregunta es: ¿qué solución?

En el terreno científico, una situación tan complicada como ésta resulta difícil de tratar teóricamente. No entendemos todos los factores que influyen sobre nuestra sociedad y, por tanto, no podemos hacer seguras predicciones sobre qué cambios son deseables. Hay demasiadas y complejas acciones recíprocas. A la Ecología se la ha llamado ciencia subversiva porque, cada vez que se hace un serio esfuerzo para conservar una característica del medio ambiente, se tropieza con enorme cantidad de intereses creados tanto sociales como económicos. Lo mismo se puede decir de cada vez que intentamos realizar cambios de importancia en algo que va mal; el cambio abarca a toda la sociedad en su conjunto. Es difícil aislar pequeños fragmentos de la sociedad y cambiarlos sin ejercer profunda influencia en el resto de la sociedad.

Cuando la teoría se hace imposible en la ciencia, entonces es preciso recurrir a la experimentación. El experimento es la piedra de toque de la ciencia sobre la que se asientan las teorías. El experimento es, explicado en otros términos, una especie de último tribunal de apelación. ¡Y lo que sin duda se necesita son sociedades experimentales!

Existe un buen precedente biológico para esta idea. En la evolución de la vida hay innumerables casos en los que un organismo era claramente dominante, altamente especializado y perfectamente aclimatado a su medio ambiente. Pero el medio ambiente cambió y el organismo murió. Por esta razón, la Naturaleza emplea las mutaciones o variaciones bruscas. La mayor parte de estas mutaciones son deletéreas o mortales. Las especies que han variado son menos adaptables que los tipos normales. Pero una entre mil o de cada diez mil, posee ligeras ventajas sobre sus padres. Las mutaciones se multiplican y el organismo así variado se encuentra ya mejor adaptado que antes.

Creo que lo que estamos necesitando son los cambios o mutaciones sociales. Quizá debido a que la tradición de la ciencia-ficción asegura que las mutaciones son feas y odiosas, sería mejor emplear otro término.

Pero la mutación social —una variación en el sistema social que se puede multiplicar y que si funciona bien puede ser el camino hacia otro futuro— parece ser la mejor frase. Sería conveniente examinar por qué algunos de nosotros consideramos discutible esta frase.

Deberíamos estimular la experimentación social, económica y política, a gran escala, en todos los países. Sin embargo, al parecer, está ocurriendo lo contrario. En países como los Estados Unidos y la Unión Soviética, la política oficial consiste precisamente en desalentar la experimentación porque, desde luego, es impopular para la mayoría. La consecuencia práctica es una desaprobación fuertemente popular de los cambios que puedan ser extraordinarios. Los jóvenes idealistas urbanos inmersos en una cultura de la droga, con formas de vestir consideradas como grotescas según normas convencionales, y sin ningún conocimiento sobre agricultura, no es probable que obtengan el éxito en establecer utópicas comunidades agrícolas en el Sudoeste americano, incluso sin hostigamientos o persecuciones locales. Sin embargo, estas comunidades experimentales, en todo el mundo, han estado y están sujetas a la hostilidad y violencia de sus vecinos más convencionales. En algunos casos, los vigilantes se encolerizan porque, en el fondo, rechazan todo cuanto les ha inculcado la generación precedente con respecto a los convencionalismos.

Por tanto, no debe sorprendernos que fracasen las comunidades experimentales. Tropiezan siempre con enorme oposición. Sólo se da un pequeño número de mutaciones. Pero la ventaja que tienen las mutaciones sociales sobre las mutaciones biológicas es que los individuos aprenden; los participantes en fracasados experimentos comunales pueden valorar las razones del fracaso y en posteriores experimentos tratar de evitar las causas del fracaso inicial.

No sólo debieran contar con la aprobación popular tales experimentos, sino también con una ayuda gubernamental que los apoyara. Les voluntarios para dichos experimentos utópicos –al enfrentarse con situaciones muy extrañas y hasta peligrosas en beneficio de la sociedad– creo que han de considerarse como hombres y mujeres de gran valor, de un valor realmente ejemplar. Son como el rompehielos que se abre paso hacia el futuro. Un día surgirá una comunidad experimental que funcione mucho más eficazmente que la sociedad políglota, correosa, y llena de parches en que estamos viviendo. Entonces tendremos ante nosotros una alternativa viable.

No creo que haya nadie hoy día lo suficientemente sabio como para predecir cuál será el futuro de tal sociedad. Puede que haya muchas y diferentes alternativas para cada una de ellas, por supuesto, con más éxito que la penosa y triste variedad que actualmente vivimos.

Un problema íntimamente relacionado con éste es que las sociedades no occidentales, subdesarrolladas, carentes de toda tecnología, viendo el poder y la gran riqueza material de Occidente, están haciendo enormes esfuerzos por imitarnos, abandonando así muchas antiguas tradiciones, y formas de vida realmente importantes. Hoy día sabemos muy bien que algunas de esas alternativas que se abandonan contienen elementos para las otras alternativas que buscamos. Debe haber alguna manera de conservar los elementos adaptables de nuestras sociedades –dolorosamente logradas a través de milenios de evolución sociológica–, mientras que, al mismo tiempo, es preciso aceptar la tecnología moderna. El problema principal y más inmediato es extender los logros tecnológicos a la vez que se mantiene la diversidad cultural.

Algunas veces se estima que la propia tecnología constituye un problema en sí. Yo sostengo que el error reside en el mal uso que hacen de la tecnología los líderes de las sociedades elegidos por métodos democráticos o, simplemente, a dedo, como hoy día se dice. Si tuviésemos que volver a primitivas tentativas agrícolas, como algunos sugieren, viéndonos obligados a abandonar la tecnología agrícola moderna, condenaríamos a muerte a centenares de millones de personas. El problema está en usar prudentemente la tecnología.

Por razones muy similares, la tecnología debe ser un factor principalísimo en sociedades planetarias más antiguas que la nuestra. Considero probable que esas sociedades que son infinitamente más sabias y benignas que la nuestra, sin embargo, gozan de una tecnología mucho más avanzada que la terrestre.

Nos encontramos en un momento de transición en la historia de la vida sobre la Tierra. No hay instantes más peligrosos, pero también es verdad que ni hubo ni hay momentos tan prometedores para el futuro de la vida en nuestro planeta.

6. Chauvinismo

En el fondo, los chistes son una forma más de luchar contra la ansiedad. Hay un tipo de chistes que se relaciona íntimamente con la vida extraterrestre. En uno de ellos, un visitante extraterrestre que llega a la Tierra se acerca a una bomba de gasolina o una máquina de vender chicle –el efecto depende de quién los cuente– y pregunta:

«¿Qué es lo que está haciendo en un lugar como éste una chica tan bonita como tú?»

En cualquier otra parte, los seres, sin duda alguna, serán muy diferentes a nosotros. Pero el chiste supone que los organismos extraterrestres serán, si no como los seres humanos, sí como bombas de gasolina o máquinas vendedoras de chicle. Lo más probable es que los seres extraterrestres no se parezcan en absoluto a cualquier organismo o máquinas que para nosotros resulten familiares. Los extraterrestres serán el producto de miles de millones de años de evolución biológica independiente, evolución lenta, paso a paso, y en cada uno de estos pasos se habrán dado una serie de pequeños accidentes de mutación, en planetas con medio ambientes muy distintos del que caracteriza a la Tierra.

Pero estos chistes subrayan un problema general y una virtud también general al pensar o reflexionar sobre la vida en cualquier otro lugar. El problema es que tan sólo tenemos para estudiar una sola clase de vida, la biología correlacionada del planeta Tierra, todos los organismos de los que se ha descendido a partir de un solo caso del origen de la vida. Para el biólogo tanto como para el profano, resulta difícil determinar qué propiedades de la vida en nuestro planeta son accidentes del proceso evolutivo y qué propiedades son características de la vida en todas partes. La suposición de que la vida en cualquier otro lugar ha de ser, de alguna forma principal, la misma que aquí es una fantasía, noción o presunción, que llamaré puro chauvinismo.

A la vez que tal chauvinismo ha sido y es cosa común a través de toda la historia humana, de vez en cuando han surgido puntos de vista mucho más claros, como, por ejemplo, el del gran astrónomo francés Pierre Simon, marqués de Laplace. En su obra clásica *Le mecanique celeste* escribió:

«La influencia [del Sol] provoca el nacimiento de animales y plantas que cubren la Tierra, y la analogía nos induce a creer que produce efectos similares en los planetas; pues no es natural proponer o afirmar que este factor, cuya fecundidad vemos desarrollarse de varias formas, deba ser estéril sobre un planeta tan grande como Júpiter, que, al igual que la Tierra, tiene sus días, sus noches, y sus años, y en el cual la observación descubre cambios que indican la presencia de fuerzas muy activas. El hombre, formado para vivir a la temperatura que disfruta sobre la Tierra, no podría, según todo posible indicio, vivir en otros planetas, pero ¿es que no habrá cierta diversidad de organización adecuada a las diferentes temperaturas de los planetas de este Universo? Si la diferencia de elementos y climas causa tal variedad en la producción de la Tierra, ¿cuan infinitamente diversificada debe ser la producción de los planetas y sus satélites?»

Laplace escribía estas palabras a finales del siglo XVIII.

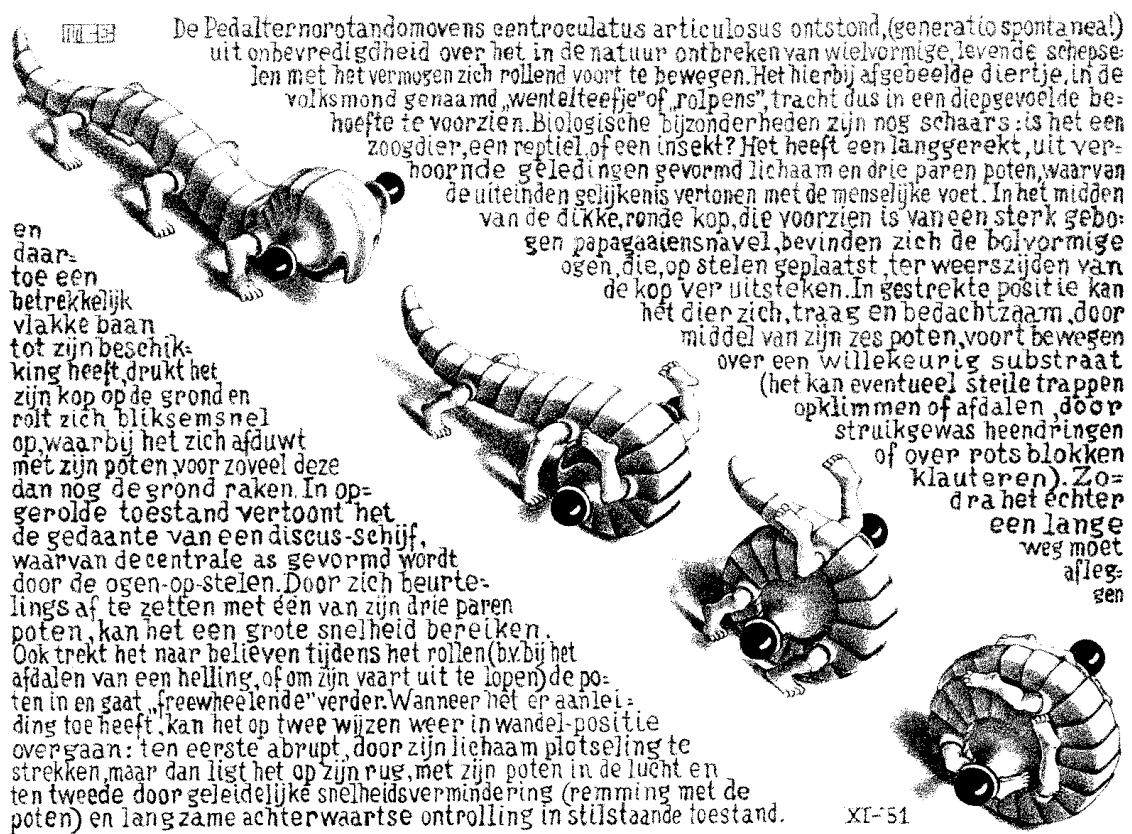


«Evidentemente, los habitantes de la Tierra son muy parecidos a nosotros los jupiterianos... Excepto en el hecho de que no usan ropa.»

Un comentario sobre el chauvinismo. Cortesía de Paul Conrad, *Times* de Los Angeles.

La virtud, o, más bien, la cualidad, de pensar en la vida de cualquier otra persona nos obliga a forzar nuestra imaginación. ¿Podemos pensar en soluciones alternativas a problemas biológicos ya resueltos de una forma particular en la Tierra? Por ejemplo, la rueda es una invención relativamente reciente en el planeta Tierra. Parece haber sido inventada en el antiguo Oriente Próximo hace menos de diez mil

años. De hecho, las avanzadas civilizaciones de América Central, los aztecas y los mayas, nunca emplearon la rueda a no ser en los juguetes de los niños. La Biología —el proceso evolutivo— nunca ha inventado la rueda, a pesar de que sus ventajas selectivas son manifiestas. ¿Por qué no ha de haber arañas rodadas o cabras o elefantes deslizándose sobre ruedas por las autopistas? La respuesta más evidente es que hasta hace muy poco tiempo no existían las autopistas. Las ruedas se emplearon y se emplean cuando se dispone de superficies adecuadas a ellas. Como el planeta Tierra es un lugar heterogéneo, «abollado», con pocas zonas llanas, no había ventaja alguna en desarrollar y perfeccionar la rueda. Podemos imaginar otro planeta con enormes superficies cubiertas de lava, superficies llanas, suaves, en las que los organismos rodados sean abundantes. El fallecido artista holandés M. C. Escher diseñó un organismo parecido a una salamandra que encajaría muy bien en semejante medio ambiente.



Animalillos-cachivache, litografía de Maurits Cornelis Escher de 1951.

La evolución de la vida en la Tierra es un producto de acontecimientos azarosos, mutaciones casuales y de etapas evolutivas en especies aisladas; las pequeñas y primeras diferencias en la evolución de la vida más tarde ejercen enorme influencia en la misma evolución. Si comenzásemos a formar la Tierra nuevamente y dejáramos que operasen sólo los factores al azar, creo que no nos pareceríamos en absoluto a los seres humanos. Si esto es así, es mucho menos probable que los organismos que han evolucionado independientemente en un medio ambiente por completo distinto de otro planeta de una lejanísima estrella hayan de parecerse a los seres humanos.

Así pues, las obras de ciencia-ficción que tratan del amor sexual entre un ser humano y un habitante de otro planeta ignoran, en el sentido más fundamental, las realidades biológicas. John Carter podía amar a Dejah Thoris, pero, a pesar de lo que creía Edgar Rice Burroughs, su amor no podía consumarse. Y aun cuando pudiera, no sería posible la descendencia. De la misma manera, la categoría de una historia de contacto sexual entre humanos y saucerianos, muy de moda en algunos entusiásticos círculos OVNI, y descrito recientemente en una revista semanal con el modesto título:

«¡Hicimos el amor con una rubia de un platillo volante!»

debe relegarse al reino de la improbable fantasía. Tales amores y «cruces» son tan razonables como el cruce entre un hombre y una petunia.

Una frase muy popular –aparece a menudo en los libros sobre los planetas– es:

«la vida, tal y como la conocemos»

Leemos que la «*vida tal y como la conocemos*» es imposible en éste o aquel planeta. Pero, ¿qué es la vida tal y como la conocemos? Depende enteramente de quién sea el «*nosotros*». Una persona poco versada en Biología, que no pueda apreciar las numerosas adaptaciones y variedades de los organismos terrestres, tendrá una idea muy pobre acerca de la extensión y alcance de los posibles «*habitats*» biológicos. Incluso hay discusiones entre famosos científicos que dan la impresión de que un medio ambiente que es incómodo para mi abuela es imposible para la vida.

En cierta época se pensó que se había detectado en la atmósfera de Marte óxido de nitrógeno. Se publicó un documento o comunicación científica sobre este supuesto hallazgo. Los autores de la comunicación alegaban que, por tanto, la vida era imposible en Marte porque los óxidos de nitrógeno son gases venenosos. Por lo menos, existen dos objeciones a este argumento. En primer lugar, los óxidos de nitrógeno son gases tóxicos sólo para algunos organismos de la Tierra. En segundo lugar, ¿qué cantidad de óxidos de nitrógeno se supone ha sido descubierta en Marte? Cuando calculé la cantidad, resultó que era inferior a la que como término medio flota sobre Los Angeles. Los óxidos de nitrógeno son importantes componentes del «puré de guisantes». La vida en Los Angeles puede ser difícil, pero aún no es imposible. La misma conclusión se puede aplicar a Marte. El problema final de estas observaciones particulares es que muy probablemente sean equivocadas. Por ejemplo, los últimos estudios y observaciones hechos por Tobias Owen y por mí con el Observatorio Astronómico Orbitante han demostrado que no existen óxidos de nitrógeno en Marte.

También es muy corriente el chauvinismo del oxígeno. Si un planeta carece de oxígeno, se dice que es inhabitable. Este punto de vista ignora el hecho de que la vida surgió en la Tierra bajo una total falta de oxígeno. De hecho, el chauvinismo del oxígeno, si se acepta, demuestra lógicamente que la vida en cualquier otro lugar es imposible. En principio, el oxígeno es un gas tóxico. Químicamente se combina con y destruye las moléculas orgánicas que componen la vida terrestre. Hay muchos organismos en la Tierra que no necesitan oxígeno y otros muchos que se intoxican con él.

Todos los primitivos organismos de la Tierra no usaron oxígeno molecular O₂. En un brillante conjunto de adaptaciones evolutivas, los organismos como insectos, ranas y peces, además de las personas, aprendieron no sólo a sobrevivir en la presencia de este gas tóxico, sino a usarlo para aumentar la eficacia con la cual metabolizamos los alimentos. Pero esto no debe ocultarnos el carácter fundamentalmente tóxico de este gas. La ausencia de oxígeno en un lugar como Júpiter es, por tanto, un argumento difícil de mantener en contra de la vida en tales planetas.

También hay chauvinistas en el terreno de la luz ultravioleta. A causa del oxígeno presente en la atmósfera terrestre, en las altas capas de la misma se produce una variedad de molécula de oxígeno llamada ozono (O₃), aproximadamente a unos 50 km sobre la superficie. Esta capa de ozono absorbe los rayos ultravioleta de longitud de onda media del Sol, impidiéndoles que alcancen la superficie de nuestro planeta. Estos rayos son germicidas. Se emiten mediante lámparas ultravioleta normalmente usadas para esterilizar instrumentos quirúrgicos. Los fuertes rayos ultravioleta del Sol constituyen un peligro sumamente grave para una gran proporción de formas de vida en la Tierra. Pero esto se debe a que la mayor parte de tales formas de vida terrestre se desarrollaron en ausencia de una elevada radiación ultravioleta.

Es fácil imaginar adaptaciones para proteger a los organismos contra la luz ultravioleta. De hecho, las quemaduras del Sol y la melanodermia son adaptaciones en este sentido. No han ido muy lejos en la mayor parte de los organismos terrestres porque la actual radiación ultravioleta no es muy elevada. En un lugar como Marte donde hay poco ozono, la luz ultravioleta de su superficie es extremadamente intensa. Pero la superficie marciana cuenta con un material que absorbe intensamente la luz ultravioleta –como lo hacen la mayor parte del suelo y las rocas– y podemos imaginar fácilmente organismos vagando de acá para allá con pequeños escudos opacos antiultravioleta en sus espaldas: tortugas marcianas. O, quizás, organismos marcianos cargados con parasoles ultravioleta. Muchas moléculas orgánicas también podrían usarse en las capas exteriores de organismos extraterrestres para protegerlos contra la luz ultravioleta.

Otro chauvinismo: la temperatura. Se dice que las temperaturas sumamente bajas que reinan en planetas como Júpiter o Saturno, en el exterior del Sistema Solar, hacen allí imposible toda clase de vida, pero estas bajas temperaturas no se aplican a todas las zonas del planeta. Se refieren únicamente a las capas de nubes más exteriores, las capas que son accesibles a los telescopios infrarrojos que pueden medir temperaturas. Sin duda alguna, si pudiésemos instalar este telescopio en la vecindad de Júpiter orientándolo hacia la Tierra, deduciríamos que en la Tierra las temperaturas son muy bajas. Estaríamos registrando la temperatura de las nubes superiores y no las de la mucho más cálida superficie terrestre. En la actualidad está firmemente establecido, tanto teóricamente como mediante la observación por radio de estos planetas, que, a medida que penetramos bajo las nubes visibles, las temperaturas van en aumento. Hay siempre una región en la atmósfera de Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, que goza de temperaturas realmente cómodas, de acuerdo con las normas terrestres en este sentido.

Pero, ¿por qué es necesario tener temperaturas como éstas en la Tierra, con objeto de que así prolifere la vida? Un ser humano se siente gravemente afectado si la temperatura de su cuerpo varía en 20° hacia arriba o hacia abajo. ¿Acaso ocurre

esto porque vivimos por accidente en un planeta del Sistema Solar, cuya superficie mantiene una temperatura ideal en cuanto se refiere a la biología? ¿O es que nuestra química se ha adaptado delicadamente a la temperatura del planeta en que hemos evolucionado? Creo que éste es el caso. Otras temperaturas, otras bioquímicas.

Nuestras moléculas biológicas se sitúan, por así decirlo, en complejas disposiciones tridimensionales. El funcionamiento de estas moléculas, particularmente las enzimas, se activa o desactiva alterando esta disposición tridimensional. El grado de afinidad química que producen estas disposiciones debe ser suficientemente débil como para interrumpirse convenientemente a temperaturas [normales] terrestres y, al mismo tiempo, lo bastante sólido para no deshacerse por completo si se le deja sólo durante cortos períodos de tiempo. Un enlace químico conocido como *enlace de hidrógeno* posee la adecuada energía intermedia entre estas alternativas inestables. El *enlace de hidrógeno* está íntimamente relacionado con la bioquímica tridimensional de los organismos terrestres.

En un planeta mucho más caluroso, como Venus, nuestras moléculas biológicas quedarían destrozadas. En un planeta mucho más frío, en el exterior del Sistema Solar, nuestras moléculas biológicas adoptarían un estado rígido y nuestras reacciones químicas no actuarían de ninguna forma útil. Sin embargo, es posible que unos enlaces mucho más fuertes en Venus y otros mucho más débiles en el exterior del Sistema Solar desempeñen el mismo papel que representan en la Tierra los *enlaces de hidrógeno*. Es muy probable que nos hayamos mostrado demasiado tajantes al rechazar la vida a temperaturas muy diferentes de las que existen en nuestro planeta. No se conocen muchas reacciones químicas que se desarrollen con índices útiles a temperaturas muy bajas como las que podrían existir en Plutón de 30 ó 40° sobre el cero absoluto * . Pero también hay muy pocos laboratorios químicos en la Tierra donde se hayan realizado experimentos a 30 ó 40° sobre el cero absoluto. Con unas pocas excepciones, tales experimentos no se han realizado en ningún momento.

* _ Plutón fue descubierto en el año 1930 por Clyde Tombaugh. Su distancia media del Sol, es de 5.900 millones de kilómetros y el período orbital es casi de 248 años. La órbita de Plutón es tan excéntrica (0,248), que se acerca aún más al Sol que Neptuno. Por esta razón, cuando se encuentra en la región del perihelio (cosa que ocurrió en 1989) deja de ser el planeta más externo. El autor de *La conexión cósmica* habla de la temperatura que podría existir en Plutón de -30 ó -40°, pero, al parecer, existen muchas dudas sobre tal temperatura, hasta el punto de que la mayor parte de los textos la mencionan con una "?". Nota del Traductor.

Así pues, nos hallamos a merced de la selección por observación. Examinamos solamente una pequeña fracción de la posible gama de casos debido a una inconsciente preferencia o predisposición, y entonces concluimos que todos los casos concebibles deben ajustarse a los que no han forzado nuestras preconcepciones.

Otro chauvinismo muy común –que dicho sea de paso comparto en cierta medida– es el del carbono. Un conocido chauvinista en este terreno mantiene que los sistemas biológicos de cualquier otro lugar del Universo estarán formados por compuestos de carbono, como la vida de nuestro planeta. Hay alternativas posibles: átomos como el silicio o el germanio pueden intervenir en algunas de las mismas

clases de reacciones químicas que el carbono. También es cierto que se ha prestado más atención a la química orgánica del carbono que a la química orgánica del silicio o del germanio, en parte, principalmente, porque la mayoría de los bioquímicos que conocemos se dedican más al carbono que a la variedad del silicio o germanio. Sin embargo, y por lo que sabemos sobre las alternativas químicas en este sentido, parece evidente que –excepto en medios ambientes de temperaturas muy bajas– existe una variedad mucho más amplia de compuestos complejos que se pueden formar del carbono que de las otras alternativas * .

* _ Aquí el autor razona bien. Me permito añadir que, por lo que hasta ahora sabemos, el carbono es el elemento más adecuado, por sus propiedades y características, para formar, como dice el señor Sagan, moléculas complejas, y es muy probable que, si existen formas de vida en otros planetas, sean muy parecidas a las terrestres, si no en su forma, al menos en su constitución. No obstante, entre los restantes elementos también el silicio tiene posibilidades de formar estructuras bastante complejas, por lo cual no se puede excluir la posibilidad de que, en algún planeta conocido, existan formas de vida basadas en el silicio. Otra posibilidad (simple hipótesis aventurada y de ningún modo previsión científica) sería que una vida orgánica basada en el carbono a baja temperatura pudiese subsistir en una atmósfera en la que el papel del agua lo desempeñara el amoníaco líquido. Si se tienen en cuenta las condiciones ambientales de Júpiter y Saturno, esta hipótesis adquiere cierto interés. N. del T..

Por añadidura, la abundancia cósmica de carbono excede a la del silicio, germanio u otras alternativas. En cualquiera otra parte del Universo, sobre todo en medios ambientes planetarios primitivos en los cuales se esté dando origen a la vida, hay simplemente más carbono que átomos alternativos para formar moléculas complejas. Por los experimentos de laboratorio en los que se simula la primitiva atmósfera de la Tierra o los actuales medios ambientes de Júpiter, así como también mediante los estudios radioastronómicos del medio interestelar, vemos existe una profusión de moléculas orgánicas simples y complejas producidas por una amplia variedad de fuentes de energía. Por ejemplo, en uno de nuestros experimentos el paso de una sola onda de choque a alta presión a través de una mezcla de metano (CH_4), etano (C_2H_6), amoníaco (NH_3) y agua (H_2O) convirtió el 38 % del amoníaco en aminoácidos, cimientos de las proteínas. No se obtuvieron enormes cantidades de otras clases de moléculas orgánicas.

Así pues, los átomos y las moléculas simples de que estamos formados es probable que sean comunes a organismos de cualquier otro lugar del Universo. Pero la manera específica en que estas moléculas se junta y las formas específicas y fisiológicas de los organismos extraterrestres pueden ser sumamente diferentes de lo que es corriente en nuestro planeta, a causa de sus diferentes historias evolutivas.

Al considerar cuáles han de ser las estrellas a estudiar y examinar buscando posibles señales de radio dirigidas a nosotros, usualmente se presta mucha atención a estrellas como nuestro Sol. Se ha alegado, con razón, que la búsqueda e investigaciones deben iniciarse con un tipo de estrella en la que sepamos hay vida, al menos en uno de sus planetas, repito que principalmente estrellas como nuestro conocido Sol. En el Proyecto Ozma, primer intento de búsqueda de señales de radio, las dos estrellas examinadas, Tau Ceti y Épsilon Eridani, eran ambas estrellas con masa, radio, edad y composición muy parecidas a nuestro Sol, que los astrónomos llamaron G-O *enanas*. De hecho, eran las dos estrellas más cercanas y más parecidas al Sol.

Pero, ¿hemos de limitar nuestra atención a estrellas parecidas al Sol? Creo que no. Estrellas con masa ligeramente menor y de luminosidad también inferior que la de nuestro Sol tienen existencia más antigua. Estas estrellas llamadas *enanas* K y M pueden tener miles de millones de años más que el Sol. Si suponemos que cuanto más larga sea la vida de un planeta, más inteligentes serán los organismos que en él se han desarrollado, entonces debemos dirigir nuestra atención a las estrellas K y M y evitar el chauvinismo de la estrella G. Puede objetarse que los planetas de las estrellas K y M son mucho más fríos que la Tierra, y que la vida en ellos es muy poco probable. La premisa de esta objeción no parece ser muy válida. Tales planetas parecen estar más cerca de sus estrellas que los correspondientes planetas de nuestro Sistema Solar, y ya hemos hablado de la falsedad o falacia del chauvinismo de la temperatura. Por otra parte, también hay muchas más estrellas K y M que estrellas G.

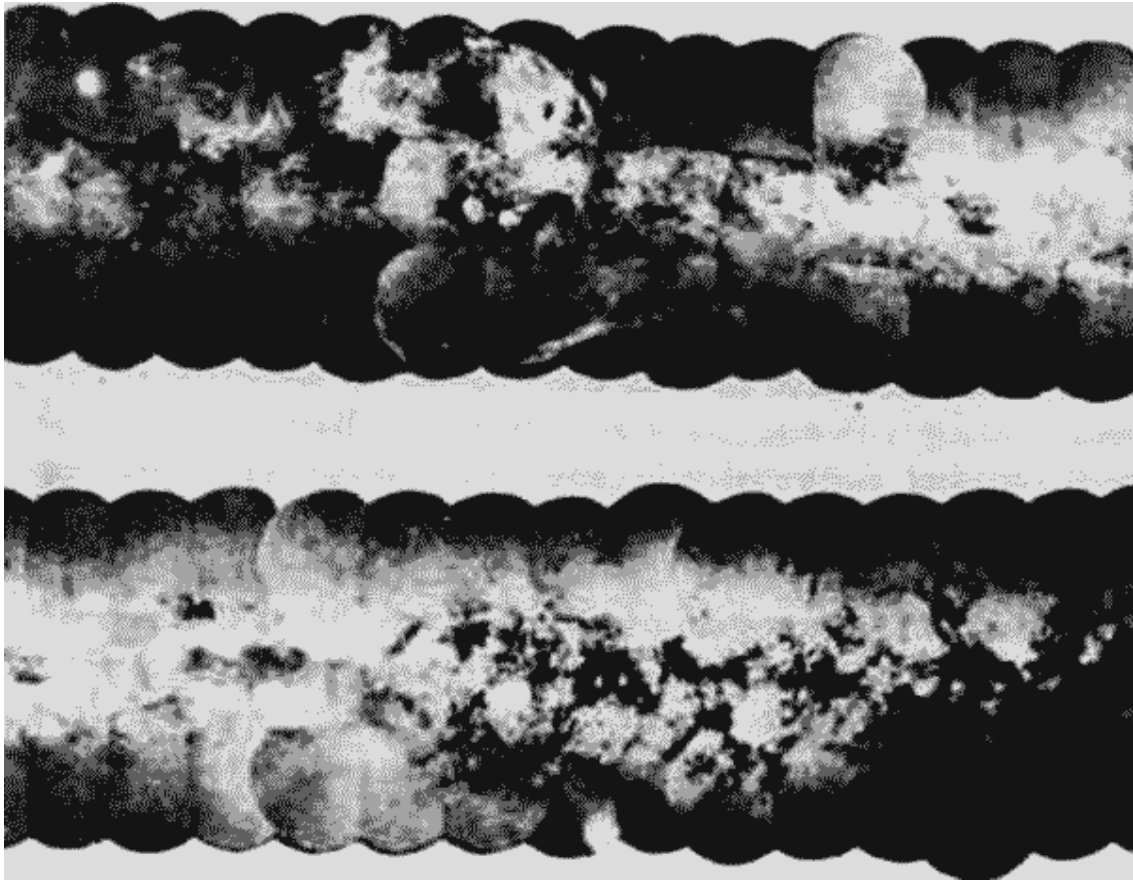
¿Existe un chauvinismo planetario? La mayor parte de la vida surge y reside en planetas, ¿o acaso pudiera haber organismos que habitan en las profundidades del espacio interestelar, superficies o interiores de estrellas, o incluso otros objetos cósmicos incluso más exóticos?

Resulta muy difícil responder a estas preguntas dado nuestro actual estado de ignorancia. La densidad de la materia en el espacio interestelar es tan baja que allí, simplemente, un organismo no puede adquirir suficiente material para realizar una copia de sí mismo en cualquier período de tiempo razonable. Sin embargo, esto no es cierto en cuanto se refiere a las densas nubes interestelares, pero tales nubes viven durante cortos períodos de tiempo, condensándose para formar estrellas y planetas. En el proceso se calientan tanto que probablemente se destruye cualquier compuesto orgánico que contengan.

Podríamos imaginar organismos desarrollándose en planetas con atmósferas que lentamente vayan alejándose en el espacio, permitiendo que los organismos se vayan adaptando gradualmente a unas condiciones cada vez más duras, y, por último, aclimatándose a lo que, en efecto, es un medio ambiente interestelar. Los organismos que abandonan tales planetas –quizá mediante presión de radiación electromagnética, o por viento solar del sol local– podrían poblar el espacio interestelar, pero aun así tendrían que enfrentarse con insolubles problemas de mala nutrición.

Hay una especie diferente de organismo interestelar mucho más probable: seres inteligentes que nacen en planetas como nosotros, pero que han trasladado su campo de actividad al volumen mucho más vasto del espacio interestelar. Los seres, en nuestro lejano futuro tecnológico, deberán poseer capacidades que hoy día ni siquiera podemos imaginar. No puede dudarse que tales sociedades deberán dominar la materia y energía de las estrellas y galaxias con objeto de ponerlas a su servicio. Así como nosotros somos organismos que únicamente nos sentimos «en casa» cuando pisamos tierra, aunque hayamos evolucionado del mar, el Universo puede poblarse con sociedades que nazcan en planetas, pero que únicamente se sientan cómodos en las profundidades del espacio interestelar.

7. La exploración del espacio como empresa humana - 1. El interés científico



Fotografía compuesta de cámaras *all-sky* de nuestra galaxia Vía Láctea. Cortesía del Dr. Bart Bok y del Lund Observatory.

Hay un lugar con cuatro soles en el cielo: rojo, blanco, azul, y amarillo; dos de ellos están tan cerca uno del otro que se tocan, y entre ellos se extienden las estrellas.

Conozco un mundo con un millón de lunas.

Conozco un sol que tiene el tamaño de la Tierra, un sol con diamantes.

Hay núcleos atómicos de 1.600 m de ancho que giran treinta veces por segundo.

Hay diminutos granos entre las estrellas, con el tamaño y composición atómica de las bacterias.

Hay bacterias que abandonan la Vía Láctea.

Hay inmensas nubes de gas que penetran en la Vía Láctea.

Hay plasmas turbulentos que se retuercen con poderosas explosiones estelares y con rayos X y gamma.

Hay, quizá, lugares fuera de nuestro Universo.

El Universo es vasto y pavoroso y por vez primera estamos formando parte de él.

Los planetas ya no son luces que vagan por el firmamento nocturno. Durante siglos, el hombre vivió en un Universo que parecía seguro y agradable, incluso limpio. La Tierra era el blanco de la creación y el hombre, el pináculo de la vida mortal. Pero estas nociones alentadoras y de arcaica belleza no soportaron la prueba del tiempo. Ahora sabemos que vivimos en un diminuto trozo de roca y metal, en un planeta más pequeño que algunas de las relativamente menores manchas de Júpiter, y algo que resulta casi insignificante cuando lo comparamos con una sencilla mancha del Sol.

Nuestra estrella, el Sol, es pequeña, fresca y poco insinuante, uno de los doscientos mil millones de soles que forman la Vía Láctea. Estamos situados tan lejos del centro de la Vía Láctea, que la luz tarda unos 30.000 años en llegar a nosotros desde allí viajando a una velocidad de unos 300.000 km por segundo. Estamos en lo que podríamos llamar casi el borde de la galaxia donde no existe acción alguna. La Vía Láctea es totalmente insignificante, ya que no es más que una galaxia más entre miles de millones de otras galaxias esparcidas por la inmensidad aterradora del espacio.

«*El Mundo*» ya no se puede traducir por «*El Universo*». Vivimos en un mundo inmerso entre la inmensidad de otros.

Las ideas de Charles Darwin sobre la selección natural han demostrado que no hay senderos evolutivos que conduzcan infaliblemente desde las formas simples al hombre; más bien, la evolución procede de un modo convulsivo, sin un plan determinado, y la mayor parte de las formas de vida conducen a callejones sin salida en la evolución. Somos el producto de una larga serie de accidentes biológicos. En la perspectiva cósmica no hay razón alguna para pensar que seamos los primeros, los últimos, o los mejores.

Estas concepciones de Copérnico y de Darwin son evidentemente muy profundas; para algunos, en cierta medida, inquietantes. Pero llevan consigo ideas que podríamos calificar de compensatorias. Nos damos perfecta cuenta de nuestra conexión con otras formas de vida tanto simples como complejas. Sabemos que los átomos que nos forman fueron sintetizados en los interiores de generaciones anteriores de estrellas moribundas. No ignoramos tampoco nuestra íntima relación con el resto del Universo, tanto en la forma como en la materia. El Cosmos que nos han revelado los nuevos avances en astronomía y biología es mucho más grandioso y más pavoroso también que el diminuto Mundo de nuestros antepasados. Y estamos formando parte de él, del Cosmos tal y como es y no del Cosmos de nuestros deseos.

Ahora mismo, la Humanidad se encuentra ante varias encrucijadas de carácter histórico. Nos hallamos en el umbral de un reconocimiento preliminar del Cosmos. Por primera vez en la Historia, el hombre es capaz de enviar sus instrumentos y a sí

mismo, personalmente, fuera de su planeta-hogar para explorar el Universo que le rodea.

Pero la exploración del espacio se ha justificado, principalmente en términos de grandes consideraciones de prestigio nacional, tanto en los Estados Unidos como en la Unión Soviética; en términos de mejora de capacidades tecnológicas, en una época en la que muchas personas consideran el desarrollo de la tecnología como de desastrosas consecuencias; en términos de una falsa necesidad militar, en una época en la que la gente de todo el mundo lo que más desea es una total desmilitarización de la sociedad.

En estas circunstancias no resulta sorprendente que se hagan preguntas duras acerca de los gastos espaciales, cuando existen necesidades urgentes y visibles en cuanto se refiere a fondos para corregir injusticias y mejorar la sociedad y la calidad de la vida en la Tierra. Evidentemente, estas preguntas son idóneas. Si los científicos no pueden dar al hombre de la calle una explicación satisfactoria sobre los gastos en la exploración del espacio, no es lógico ni moral que se destinen fondos públicos a tales aventuras.

El interés de un científico por la exploración espacial probablemente obedezca a deseos muy personales, algo que le desorienta, algo que le intriga, algo que posee implicaciones que le excitan. Pero no podemos pedir al público que gaste grandes sumas sólo para satisfacer la curiosidad del científico. Sin embargo, cuando profundizamos más en el interés profesional de un científico, a menudo hallamos un foco de preocupación que en gran parte llega a atraerse el interés público.

Un área fundamental de interés común es el problema de la perspectiva. La exploración del espacio nos permite ver a nuestro planeta y a nosotros mismos desde una nueva luz. Somos como lingüistas en una remota isla donde sólo se habla un único idioma. Podemos construir teorías generales sobre idiomas, pero no disponemos más que de un solo ejemplo para examinarlo. Es improbable que nuestra comprensión del idioma posea la generalidad que requiere una madura ciencia de lingüística humana.

Hay muchas ramas de la ciencia donde nuestro conocimiento es igualmente provincial y pueblerino, restringido a un simple y solo ejemplo entre una vasta multitud de posibles casos. Únicamente examinando el índice de casos asequibles en todas partes, se puede idear o proyectar una amplia ciencia general.

La ciencia que sin duda gana más con la exploración planetaria es la Biología. En un sentido muy fundamental, los biólogos tan sólo han estado estudiando una forma de vida en la Tierra. A pesar de la manifiesta diversidad de formas de vida terrestre, son idénticas en el más profundo de los sentidos. Tanto los tiburones y las begonias como las bacterias y las ballenas usan ácidos nucleicos para almacenar y transmitir información hereditaria. Todos utilizan proteínas para catálisis y control. Todos los organismos de la Tierra, que sepamos, emplean el mismo código genético. La estructura transversal de la célula del espermatozoide humano es casi idéntica a la del cilio de paramecio. La clorofila, hemoglobina y las sustancias responsables de la coloración de muchos animales son esencialmente la misma molécula.

Es difícil escapar a la conclusión –que en cierto sentido está implícita en la selección natural de Darwin– de que la vida en la Tierra se ha desarrollado partiendo de un solo ejemplo de origen de la vida. Si esto es cierto, tiene bastante sentido el que el biólogo no pueda distinguir lo necesario de lo superfluo o eventual, es decir diferenciar aquellos aspectos de la vida que cualquier organismo en cualquier lugar del Universo debe poseer simplemente para estar vivo, de aquellos aspectos de la vida que son resultado de la tortuosa evolución debida a pequeñas adaptaciones oportunistas.

La producción de moléculas orgánicas simples (basadas en el carbono) en condiciones planetarias primitivas y simuladas es hoy día tema de activa investigación de laboratorio. Como ya hemos visto anteriormente, las moléculas de que estamos hechos se pueden producir con cierta facilidad, en ausencia de vida y en condiciones planetarias primitivas en general. Pero no es posible llevar a cabo experimentos de laboratorio ni siquiera sobre las primeras etapas de la evolución biológica: las escalas de tiempo son demasiado largas. Sólo examinando sistemas de vida de otros lugares pueden determinar los biólogos cuáles son las demás posibilidades que existen.

Por esta razón, el descubrimiento de incluso un organismo extremadamente simple en Marte hubiese tenido profundo significado biológico. Por otra parte, si Marte está muerto, no cabe la menor duda de que se ha llevado a cabo un experimento natural en nuestro beneficio: dos planetas, en muchos aspectos parecidos, pero en uno se ha desarrollado la vida y en el otro no. Comparando el planeta control con el experimental, puede descubrirse mucho sobre el origen de la vida. De la misma manera, la búsqueda de productos químicos orgánicos y prebiológicos en la Luna, Marte, o Júpiter tiene una gran importancia para comprender los pasos que conducen al origen de la vida.

Como otro ejemplo de la perspectiva proporcionada por los estudios planetarios, consideremos la meteorología. Los problemas del flujo turbulento y la dinámica fluida figuran entre los más difíciles de la Física. Se han logrado algunos datos e ideas sobre el tiempo en la Tierra estudiando la posición de las corrientes de aire, examinando las fotografías de los satélites meteorológicos y la circulación de la atmósfera terrestre. A pesar de todo, la teoría meteorológica para la Tierra es hoy capaz de predicciones climáticas de largo alcance, pero sólo sobre áreas geográficas muy extensas, en condiciones en que puedan considerarse válidas las suposiciones simplificadoras, y circunscribiéndose a un corto plazo en el futuro. Los estudios de laboratorio sobre la circulación atmosférica poseen alcance limitado; clásicamente se llevan a cabo en pilas de fregar platos transformadas.

Sería agradable realizar un experimento «Joshua», impedir durante un rato que la Tierra gire. El cambio en la circulación proporcionaría conocimientos sobre el papel de la rotación de la Tierra en determinar la circulación (principalmente a través de las fuerzas de Coriolis). Pero tal experimento es tecnológicamente muy difícil. Asimismo produce efectos secundarios poco deseables. Por otra parte, el planeta Venus, con aproximadamente la misma masa y radio que la Tierra, tiene un movimiento de rotación doscientas cuarenta veces menor. La atmósfera de Venus es mucho más densa que la de la Tierra. La Naturaleza, pues, ha dispuesto un experimento natural para los meteorólogos.

Júpiter gira aproximadamente cada diez horas sobre su eje; un enorme planeta que lo hace mucho más rápidamente que la Tierra. Los efectos de la rotación deben de ser mucho más importantes que sobre la Tierra, e indudablemente Júpiter da la impresión de poseer una atmósfera turbulenta y terriblemente agitada; sus fajas y cinturones atmosféricos ciertamente son una prueba de su rápida rotación. Una buena comprensión de la circulación de las densas atmósferas de Venus y Júpiter mejorará, sin duda, nuestros conocimientos acerca de la circulación oceánica y atmosférica de la Tierra.

O fijémonos en el planeta Marte. He aquí un planeta con el mismo período de rotación y la misma inclinación de su eje de rotación a su plano orbital que la Tierra. Pero su atmósfera solamente alcanza al 1 % de la nuestra, carece de océanos y tampoco tiene agua líquida. Marte es un experimento de control sobre la influencia de los océanos y agua líquida en la circulación atmosférica.

Hasta hace muy poco tiempo, el geólogo sólo se había limitado a un tipo de estudio: el de la Tierra. Era incapaz de decidir qué propiedades de la Tierra son fundamentales a todas las superficies planetarias y cuáles son peculiares a las circunstancias únicas de la Tierra. Por ejemplo, las observaciones sismográficas de los terremotos han revelado la estructura interior de la Tierra y su división en corteza, manto, centro de metal fluido y núcleo interior sólido. Pero la razón de esta división sigue siendo muy oscura. ¿En alguna época geológica exudó la Tierra su corteza partiendo del manto? ¿Cayó de los cielos durante algún temprano acontecimiento catastrófico? ¿Acaso el núcleo de la Tierra se formó gradualmente durante una época geológica mediante el hundimiento o penetración del hierro a través del manto? ¿O se formó de forma discontinua, quizás, en una Tierra en fusión en la época en que se originó nuestro planeta? Tales problemas se pueden examinar efectuando observaciones sismométricas sobre la superficie de otros planetas, y podrían resultar poco costosos si se realizaran automáticamente con los instrumentos de que disponemos hoy día.

Actualmente se dispone de pruebas convincentes de que existe un movimiento de deriva continental. El movimiento de África y América alejándose un continente de otro es el ejemplo más conocido hasta la fecha. Algunas teorías mencionan el hecho de que la fuerza de impulso de la deriva continental y de la evolución del interior de nuestro planeta se hallan correlacionadas, por ejemplo, mediante corrientes de difusión de calor que circulan lentamente entre el núcleo y la corteza en el manto. Tales conexiones entre geología de superficie y el interior de los planetas están empezando a destacar en el estudio de otros astros. Ponemos a prueba nuestra comprensión de tales relaciones demostrando si pueden aplicarse a otro lugar cualquiera.

Las perspectivas que se han conseguido en esta clase de estudios proporcionan una amplia gama de consecuencias prácticas. Una generalización de la ciencia meteorológica puede conducir a grandes mejoras en el pronóstico del tiempo. Incluso podría conducir a la modificación del tiempo. El estudio de la atmósfera de Venus ya ha dado lugar a la teoría de que allí está teniendo lugar un efecto de «*invernadero*» descontrolado, un equilibrio inestable en el cual un aumento de la temperatura provoca un aumento del contenido de vapor de agua atmosférico, que a su vez provoca absorción infrarroja de la radiación térmica del planeta llevando a un

incremento aún mayor en la temperatura de la superficie, y así sucesivamente. Si la Tierra hubiese iniciado su recorrido ligeramente más cerca del Sol de lo que lo ha hecho, los cálculos teóricos preliminares indican que habríamos terminado por ser otro marchito y agostado Venus. Pero vivimos una época en la que la atmósfera de la Tierra está siendo fuertemente modificada por el hombre. Es de primordial importancia comprender lo que ha sucedido a Venus, con objeto de poder evitar una reproducción accidental en la Tierra del invernadero descontrolado de Venus.

Los estudios de las superficies e interiores de los planetas pueden dar lugar realmente a beneficios prácticos en el pronóstico de terremotos así como, a largo plazo, en las prospecciones geológicas de minerales valiosos en la Tierra.

La revolución que en el plano biológico supondría el descubrimiento de vida natural en otros lugares también proporcionaría unas enormes posibilidades de insospechados beneficios prácticos, particularmente en lo concerniente a la investigación del cáncer y del envejecimiento, temas que en la actualidad están más limitados por las ideas que por los medios económicos.

El estudio de la materia altamente condensada en las estrellas neutrones y la fabulosa producción de energía en los centros de galaxias ya han conducido a sugerencias sobre posibles modificaciones de las leyes de la física, leyes que se deducen en la Tierra para explicar los fenómenos observados en la misma.

La exploración del espacio proporcionará, inevitablemente, un rico y enorme conjunto de beneficios prácticos. Pero la historia de la ciencia sugiere que el más importante de todos ellos será siempre inesperado, beneficios que, en la actualidad, aún no somos suficientemente aptos para pronosticar o anticipar.

8. La exploración del espacio como empresa humana - 2. El interés público

El interés científico directo por la exploración del espacio y las consecuencias prácticas que se pueden imaginar como resultado de tales exploraciones no son de interés general y, por supuesto, tampoco principal, para el hombre de la calle o para el profano en tales materias. Hoy día –cuando las antiguas creencias están declinando– hay una especie de hambre filosófica, o, más bien, diría yo, que una necesidad de saber quiénes somos y cómo hemos llegado aquí. Hay una búsqueda constante, a menudo inconsciente, de una perspectiva cósmica para la Humanidad. Esto se puede observar en innumerables formas, pero mucho más claramente en los *campus* de las Universidades. Aquí se hace evidente el enorme interés hacia una amplia gama de tópicos pseudocientíficos o semicientíficos –astrología, estudio de OVNIS, investigación de los trabajos de Immanuel Velikovski, e incluso estudio de algunos superhéroes de ciencia-ficción–, todo lo cual representa un intento, desde mi punto de vista, absolutamente infructuoso, de proporcionar perspectiva cósmica a la Humanidad. El profesor George Wald, de Harvard, sin duda piensa en este anhelo de perspectiva cósmica, cuando escribe:

«De cualquier modo que sea, tenemos que hallar nuestro camino de regreso a los valores humanos. Incluso diría que a la religión. Opino que no hay nada que sea sobrenatural. La Naturaleza es mi religión y con ella tengo bastante... lo que quiero decir es: Que necesitamos compartir unos puntos de vista mucho más amplios sobre el lugar del hombre en el Universo.»

El libro más vendido en las comunidades de estudiantes, desde Cambridge, Massachusetts, hasta Berkeley, California, en los últimos años se tituló *Catálogo de toda la Tierra*, que se consideró como vía de acceso a los instrumentos para la creación de alternativas culturales. Lo que era sorprendente fue el número de trabajos publicados en el *Catálogo* que se relacionaban con perspectivas cósmicas científicas. Iban desde el *Atlas de Galaxias*, de Hubble, hasta banderas y posters de fotografías de la Tierra en su fase primitiva. El título de *Catálogo de toda la Tierra* se deriva del ansia de su fundador de ver una fotografía de nuestro planeta como conjunto. La edición de 1970 aumentó esta perspectiva mostrando una fotografía de toda la Vía Láctea.

Asimismo, hay una tendencia semejante tanto en el arte como en la música «rock»: *Cosmo's Factory*, por *Creedence Clearwater Revival*; *Starship*, por la *Jefferson Airplane*; *Mr. Spaceman* y *CTA 102*, por los *Byrds*; *Mr. Rocket Man*, de Elton John, y muchos otros.

Tal interés no queda limitado a los jóvenes. Existe en los Estados Unidos una tradición que apoya la afición pública a la astronomía. Las comunidades locales incluso han construido a su costa buenos observatorios cuyo personal también está pagado por los bolsillos de los ciudadanos, siempre sobre una base totalmente voluntaria. Varios millones de personas visitan planetariums cada año tanto en América como en Gran Bretaña.

El actual resurgimiento del interés por la ecología del planeta Tierra también está íntimamente relacionado con este anhelo de perspectiva cósmica. En un principio muchos de los dirigentes del movimiento ecológico en los Estados Unidos se sintieron estimulados a actuar a causa de las fotografías de la Tierra tomadas desde el espacio, exquisitamente sensible a las depredaciones del hombre, una pradera en medio del cielo.

Como los resultados de la exploración espacial y sus nuevas perspectivas sobre la Tierra y sus habitantes calan profundamente en nuestra sociedad, deben, creo yo, tener consecuencias en la literatura y poesía, en las artes visuales y en la música. El distinguido físico americano Richard Feynman escribe:

*«No se hace ningún daño al misterio por saber un poco sobre él. Pues muchísimo más maravillosa es la verdad que todo cuanto hayan podido imaginar los artistas del pasado. ¿Por qué los poetas actuales no hablan de ese misterio para nada? Los que son poetas, ¿podrían hablar de Júpiter si fuese un hombre, pero como es una inmensa esfera giratoria de metano y amoníaco deben guardar silencio?» **

* _ Richard Feynman: *Introduction to Physics*, Vol. I, Addison Wesley.

Pero la simple exploración general todavía no provoca un decidido interés público por el espacio. Para muchos, las rocas que se han traído de la Luna constituyeron una enorme decepción. Se consideraron como simples rocas. El papel que hayan podido representar en la cronología de los días de creación del sistema Tierra-Luna aún no se ha explicado adecuadamente al público.

Donde el interés del público por el espacio parece mostrarse con mayor intensidad es en los terrenos de la cosmología y búsqueda de vida extraterrestre, tópicos que hacen sonar cuerdas importantes en una significativa fracción de la Humanidad. El hecho de que se dedique mucho más espacio en los periódicos a la muy fortuita hipótesis de la exobiología que a muchos de los más importantes resultados en otros campos, es, sin duda alguna, clara revelación del lugar adonde apunta el interés público. El descubrimiento de líneas de microondas interestelares de formaldehído y cianuro de hidrógeno ha sido descripto ampliamente en la Prensa como algo relacionado, a través de una larga serie de concatenaciones, con temas biológicos.

Aunque es verdad que el hombre de la calle, o la persona profana en tales materias, piensa en términos de diferentes variantes de seres humanos cuando se le pregunta que imagine la vida extraterrestre, también es verdad que el interés, incluso por los microbios marcianos, es mucho mayor que en otras áreas de la exploración espacial. La búsqueda de vida extraterrestre podría ser la clave del apoyo público a los experimentos espaciales, experimentos orientados tanto hacia el Sistema Solar como a mucho más allá de él.

Hay muchos posibles puntos de vista sobre los costos actuales y de un futuro próximo en cuanto se refiere a la astronomía y ciencia espacial. Como los costes anuales de la astronomía constituyen sólo un pequeño tanto por ciento de los presupuestos de todo el programa científico espacial, me limitaré a este último. Se acostumbra a comparar los gastos anuales de los Estados Unidos en el programa espacial con lo que emplea la nación en alcohol etílico, chicle o cosmética. Personalmente considero más útil comparar dichos costes con los del Departamento

de Defensa de los Estados Unidos. Recurriendo a un informe de la General Accounting Office del Gobierno (*Times* de New York, 19 de julio de 1970), sabemos que el coste calculado de antemano para que la misión «*Viking*» acabe felizmente en Marte, en 1976, asciende aproximadamente a la mitad del coste del llamado sistema de proyectiles antibalísticos *Safeguard* para el año fiscal de 1970. El coste de una exploración *Grand Tour* de todos los planetas del Sistema Solar exterior (cancelada por falta de fondos) es comparable al presupuesto de 1970 para el sistema *Minuteman* III; el coste de un enorme telescopio óptico en el espacio capaz de realizar estudios definitivos sobre los orígenes del Universo, se puede comparar al del *Minuteman* II para 1970; y un programa general sobre satélites que investiguen los recursos de la Tierra, programa que implicaría varios años de detallada inspección de la superficie y tiempo atmosférico de nuestro planeta, costaría aproximadamente lo mismo que el vehículo espacial P-3C para 1970. Un programa de una década de duración dedicado a la investigación sistemática de todo el Sistema Solar costaría tanto como los errores contables cometidos en un solo sistema de «*defensa*» y en un solo año. El programa espacial científico es cambio chico en comparación con los errores cometidos en el presupuesto del Departamento de Defensa.

Otro punto de vista que es preciso considerar es la exploración espacial como entretenimiento. Un *Viking* podría ser financiado totalmente mediante la venta a cada americano de un solo ejemplar de una revista que contuviera fotografías tomadas en la superficie de Marte por el *Viking*. Las fotografías de la Tierra, la Luna, los planetas y galaxias en espiral e irregulares, son formas características del arte de nuestra época. Fotografías tan impresionantes como las del *Lunar Orbiter* del interior del cráter Copérnico y las enviadas por el *Mariner* 9 de los volcanes marcianos, tormentas de viento, lunas y casquetes polares de hielo, inspiran a la vez asombro y sentido artístico. Cualquier vehículo mecánico, no manejado por el hombre, y enviado a Marte, podría ser financiado mediante un sistema de suscripción televisiva. Por otra parte, ¿quién duda de que un disco grabado con los, al parecer, extraños ruidos que se oyen en Marte no se vendería a escala mundial?

No deseo discutir aquí de si han de enviarse o no hombres al espacio para que realicen exploraciones planetarias, pero es posible que haya muy buenas razones no científicas para mandar seres humanos al espacio. Quizás haya casos intermedios entre exploraciones llevadas a cabo por el hombre y otras en las que falte el hombre, cosa que muy bien podríamos ver en las próximas décadas. Por ejemplo, es posible que se llegue a enviar ingenios a otro planeta tripulados por robots, pero controlados por un ser humano en órbita. También es probable que aquellos planetas con medios ambientes hostiles donde exista un gran peligro de contaminación por microorganismos terrestres sean explorados por hombres metidos en grandes máquinas, máquinas especiales que amplíen la percepción sensorial y las capacidades musculares del operador humano.

Aparte de todos estos hipotéticos inventos, es evidente que el perfeccionamiento de dispositivos para llevar a cabo una exploración planetaria sin presencia humana precisará de la misma tecnología idónea a la fabricación de útiles robots en la Tierra. Un vehículo espacial que aterrice en Marte para el año 1980, probablemente será capaz de «*sentir*» su medio ambiente mucho mejor que lo puedan hacer los seres humanos; examinar cuidadosamente el paisaje, llevar a la práctica decisiones

programadas, basadas en información adquirida *in situ*, etcétera. No cabe duda de que semejante robot y sus primos más cercanos, que se producirían en masa, serían sumamente útiles aquí, en la Tierra. Estoy pensando en este momento en aquellas operaciones que en la actualidad son de imposible realización, como, por ejemplo, la exploración y operaciones sobre los fondos submarinos abisales, pero también pienso en robots industriales que desempeñen tareas poco interesantes o monótonas en las empresas, así como robots domésticos que liberen al ama de casa de una vida de penoso trabajo.

La experiencia de la exploración espacial no nos proporciona una única filosofía, en cierta medida, cada grupo tiende a ver sus propios puntos de vista filosóficos hechos realidad y no siempre mediante una auténtica lógica: Nikita Krushev manifestó con mucho énfasis que durante el vuelo espacial de Yuri Gagarin no se habían descubierto ángeles u otros seres sobrenaturales; y en casi perfecta contrapartida, los astronautas del Apolo 8 leyeron en la órbita lunar la cosmogonía babilónica guardada como reliquia en el capítulo del Génesis, como si intentaran asegurar a su público americano que la exploración de la Luna no se halla en contradicción con ninguna creencia religiosa. Pero es sorprendente cómo la exploración espacial conduce directamente a temas y problemas filosóficos y religiosos.

Creo que el control militar de los vuelos espaciales con presencia humana, que ya se practica en la Unión Soviética —y es tema de debate en los Estados Unidos— es un paso que deben apoyar todos los que se titulan defensores de la paz. Me temo mucho que las organizaciones militares de los Estados Unidos y de la Unión Soviética son organizaciones con formidables intereses creados en cuanto se refiere a la guerra. Están minuciosamente formadas e instruidas para la guerra; en tiempos de guerra se producen rápidos ascensos, aumentos en las pagas y oportunidades de demostrar un valor que en tiempos de paz no se dan. Es lógico que mientras existan gentes ansiosas de guerrear siempre será mucho mayor la probabilidad de que estalle intencionadamente o accidentalmente un conflicto. En virtud de su formación y temperamento, los militares, muy a menudo, no se sienten interesados por otros tipos de empleo u otra clase de inquietudes. Muy pocos son los demás medios de vida que posean los medios de poder y fuerza del jefe militar. Si «estalla» la paz, los cuerpos militares, con sus servicios que ya no son necesarios, se sienten profundamente desconcertados, como si alguien les hubiese derrotado.

El Primer Ministro Krushev una vez intentó dar trabajo a un gran número de oficiales y jefes del Ejército Rojo destinándoles a dirigir centrales eléctricas y otros establecimientos similares. Esto no les agradó en absoluto, y al cabo de un año la mayoría de ellos habían vuelto a sus cuarteles. De hecho, las organizaciones militares de los Estados Unidos y de la Unión Soviética deben sus empleos a sí mismos, a lo que podríamos llamar autogestión y, en consecuencia, es lógico que formen una alianza natural contra el resto de nosotros.

Al mismo tiempo, existen enormes industrias y fuerzas laborales dedicadas a la electrónica, química y fabricación de misiles que igualmente están ligadas a formidables intereses creados para mantener esta situación de preparación para la guerra. Desechando algunos tópicos que muchas personas califican de razonables en cuanto se refiere a este estado de cosas, yo pregunto, ¿es que no hay alguna forma de que todo este enorme conjunto de intereses pudiera orientarse hacia

actividades más pacíficas? La exploración espacial necesita exactamente esta combinación de talentos y capacidades. Precisa gran base técnica en tales terrenos, como el de la electrónica, tecnología de computadores, maquinaria de precisión y estructuras aeroespaciales. Requiere algo muy parecido a la organización militar para mantener a un gran número de empresas geográficamente dispersas dirigidas hacia un objetivo común.

La historia de la exploración de la superficie de la Tierra ha sido principalmente una historia militar, en parte porque es una aplicación idónea de las tradiciones militares de organización y valor personal. Son las restantes tradiciones militares las que para nosotros representan hoy día un peligro. Probablemente, la exploración del Sistema Solar sea una alternativa y empleo honorable para los intereses creados entre los militares y la industria. Puedo imaginar la transición hacia una disposición en la que una importante y significativa proporción de militares de carrera, tanto de los Estados Unidos como de la Unión Soviética, pueda dedicarse a la exploración espacial. Al menos, y en parte, debido a sus considerables capacidades hay un buen número de militares empleados por la Administración Espacial y Aeronáutica Nacional en actividades con poco o ningún significado militar. Y, por supuesto, la gran mayoría de los astronautas y cosmonautas han sido jefes militares. Todo esto puede ser bueno; cuanto más se entretengan allá arriba, menos se ocuparán aquí abajo.

A pesar de los muchos comunicados de la NASA a la Prensa, gran parte del programa espacial y casi toda su ciencia y programa de aplicaciones carecen de perspectivas a largo plazo. Por supuesto, comparten con la sociedad americana una comunidad de intereses humanos, filosóficos y exploratorios, incluso con estamentos sociales que están en completo desacuerdo. El coste de la exploración espacial parece muy modesto si se compara con sus potenciales recompensas.

9. La exploración del espacio como empresa humana - 3. El interés histórico



Huellas humanas en la Luna. La fiesta ha terminado, y se han marchado los invitados. Las huellas dejadas por la tripulación del *Apolo* 15 durarán un millón de años. A lo lejos se ve el Monte Hadley.

A la larga, el mayor significado de la exploración espacial es que alterará la historia de manera irreversible. Como ya hemos mencionado en el capítulo primero, el grupo con el cual el hombre se identifica se ha ido ampliando gradualmente durante la historia de la Humanidad. Hoy día, el volumen de la población mundial tiene al menos una identificación personal principalísima con superestados nacionales. Aunque el progreso no haya sido suave, y existen ocasionales reversiones, se tiende claramente hacia una identificación de grupo con la Humanidad como conjunto. Los astronautas y cosmonautas han hecho declaraciones, profundamente sentidas, sobre la belleza y serenidad de la Tierra contemplada desde el espacio. Para muchos de ellos, un vuelo por el espacio fue una experiencia religiosa que cambió totalmente sus vidas. En las fotografías que desde el espacio se han hecho de la Tierra, no se distinguen fronteras nacionales. Como Arthur C. Clarke dijo en algún lugar, es difícil imaginar, incluso para el más ferviente de los nacionalistas, el hecho de no revisar de nuevo sus puntos de vista al ver cómo la Tierra se va alejando poco a poco hasta convertirse en un diminuto punto de luz perdido entre millones de estrellas.

La exploración espacial nos obliga a rectificar muchas cosas sobre el significado de nuestro diminuto planeta perdido en un Universo enorme y desconocido. La búsqueda de vida en otros lugares seguramente provocará que la gente reflexione acerca de la singularidad del hombre: el sendero serpeante, inseguro, improbable y evolutivo que nos ha traído a donde estamos; y la improbabilidad de encontrar – incluso en un Universo poblado por otras inteligencias– a alguien con forma muy parecida a la nuestra. En esta perspectiva, las similitudes entre los hombres se destacarán de forma abrumadora contra nuestras diferencias.

Hay un geocentrismo práctico, en nuestra vida diaria. Todavía hablamos del Sol que sale y se pone, en lugar de hablar de una Tierra que gira. Todavía pensamos en un Universo organizado para nuestro beneficio y poblado tan sólo por nosotros. La exploración del espacio, en este sentido, nos hará ser un poco más humildes.

Harold Urey se ha referido, de manera perceptible, al programa espacial como una especie de construcción contemporánea de pirámides. Visto en el contexto del Egipto faraónico, la analogía parece ser particularmente idónea, ya que las pirámides fueron un intento de tratar los problemas de la cosmología y la inmortalidad. Desde una perspectiva histórica a largo plazo, esto es lo que precisamente será el programa espacial. Las huellas de pies dejadas por los astronautas en la Luna sobrevivirán un millón de años, y los diversos instrumentos y embalajes que allí quedaron pueden durar tanto como el Sol.

Por otra parte, las pirámides son monumentales y hoy día creemos que han sido inútiles esfuerzos para asegurar la supervivencia tras la muerte de un hombre, el faraón. Quizás haya una mejor analogía en los zigurats, las torres dotadas de terrazas de los sumerios y babilonios, los lugares donde los dioses bajaban a la Tierra y la población como conjunto intervenía en la vida diaria. No cabe duda de que hay un poco de pirámide en los grandes cohetes que se envían al espacio, pero creo que su significado esencial, probablemente, sea el de unos zigurats contemporáneos.

Una sociedad inmersa en una relativamente modesta, pacífica e intelectualmente significativa exploración de cuanto le rodea, posee, sin duda alguna, posibilidades de

alcanzar la grandeza. Es difícil demostrar esto que podríamos llamar eslabones causales, e, históricamente, no existe correlación alguna entre unos y otros. Pero resulta sorprendente el hecho de que las naciones y épocas caracterizadas por un gran florecimiento de la exploración, también están marcadas por un enorme desarrollo cultural. En parte, esto se debe al contacto con las cosas nuevas, con nuevas formas de vida y también con modernos caminos de pensamiento desconocidos para una cultura cerrada, con sus vastas energías introspectivas.

Hay ejemplos que pueden tomarse del bíblico Oriente Medio, de las Atenas de Pericles y de otras épocas, pero me siento más atraído, en este sentido, por la época de las exploraciones europeas y sus descubrimientos. Las lenguas vernáculas de Francia, Inglaterra y la Península Ibérica hallaron definitiva expresión literaria al mismo tiempo que se emprendían los primeros viajes trasatlánticos de descubrimientos. Rabelais y Montaigne, en Francia; Shakespeare, Milton y los traductores de la Biblia del rey Jaime en Inglaterra; Cervantes y Lope de Vega, en España; Camoens, en Portugal, todos datan de la misma época. A juzgar por los escritos de Francis Bacon, resulta evidente que el descubrimiento de nuevas partes del mundo tuvieron una profunda influencia sobre el pensamiento de aquellos tiempos. Este período contempló la invención de instrumentos tan fundamentales como el telescopio, el microscopio, el termómetro, el barómetro y el reloj de péndulo.

También fue en la época de Galileo (1564-1642), quien, aunque no residía en una de las nuevas naciones exploradoras, estaba muy vinculado a Holanda, cuando se inventó el telescopio que él mejoró. Muchas de las obras de expresión gráfica de esta época –por ejemplo, las de Hieronymus Bosch y El Greco– reflejan el espíritu de cambio que caló en la época. Fue la era de la institución de la física moderna por Isaac Newton. Descartes, Hobbes y Spinoza –genios básicos de la historia de la filosofía– florecieron asimismo en tales momentos. El tiempo en que se desarrollaron las actividades y escritos de Leonardo da Vinci, Gilbert, Galileo y Bacon, también corresponde al origen del método experimental en la ciencia.

Un caso histórico, muy interesante en este sentido, nos lo proporciona Holanda, país que ha contribuido de modo notable a la cultura occidental con su aportación de individuos realmente geniales. Si hubo un período de florecimiento cultural en Holanda, fue el comprendido en la segunda mitad del siglo XVII. Los puertos españoles se hallaban cerrados y resultaban inaccesibles a la república holandesa a causa de la guerra entre Francia y España. Obligada a encontrar sus propias fuentes comerciales, Holanda fundó la «*Dutch East*» y «*West India Companies*». Se dedicó entonces una buena parte de los recursos nacionales a la inversión en Ultramar, y la consecuencia fue que Holanda se convirtió, por una sola vez en su historia, en una potencia mundial. A causa de ello, hoy día se habla holandés en Indonesia y varios individuos de ascendencia holandesa alcanzaron la presidencia de los Estados Unidos. Mucho más importante es el hecho de que, durante el mismo período de tiempo, florecieran, en Holanda, Vermeer y Rembrandt, Spinoza y Van Leeuwenhoek. Era una sociedad estrechamente unida: Van Leeuwenhoek fue, de hecho, el albacea de los bienes de Vermeer. Holanda era la nación más liberal y menos autoritaria de Europa en aquella época.

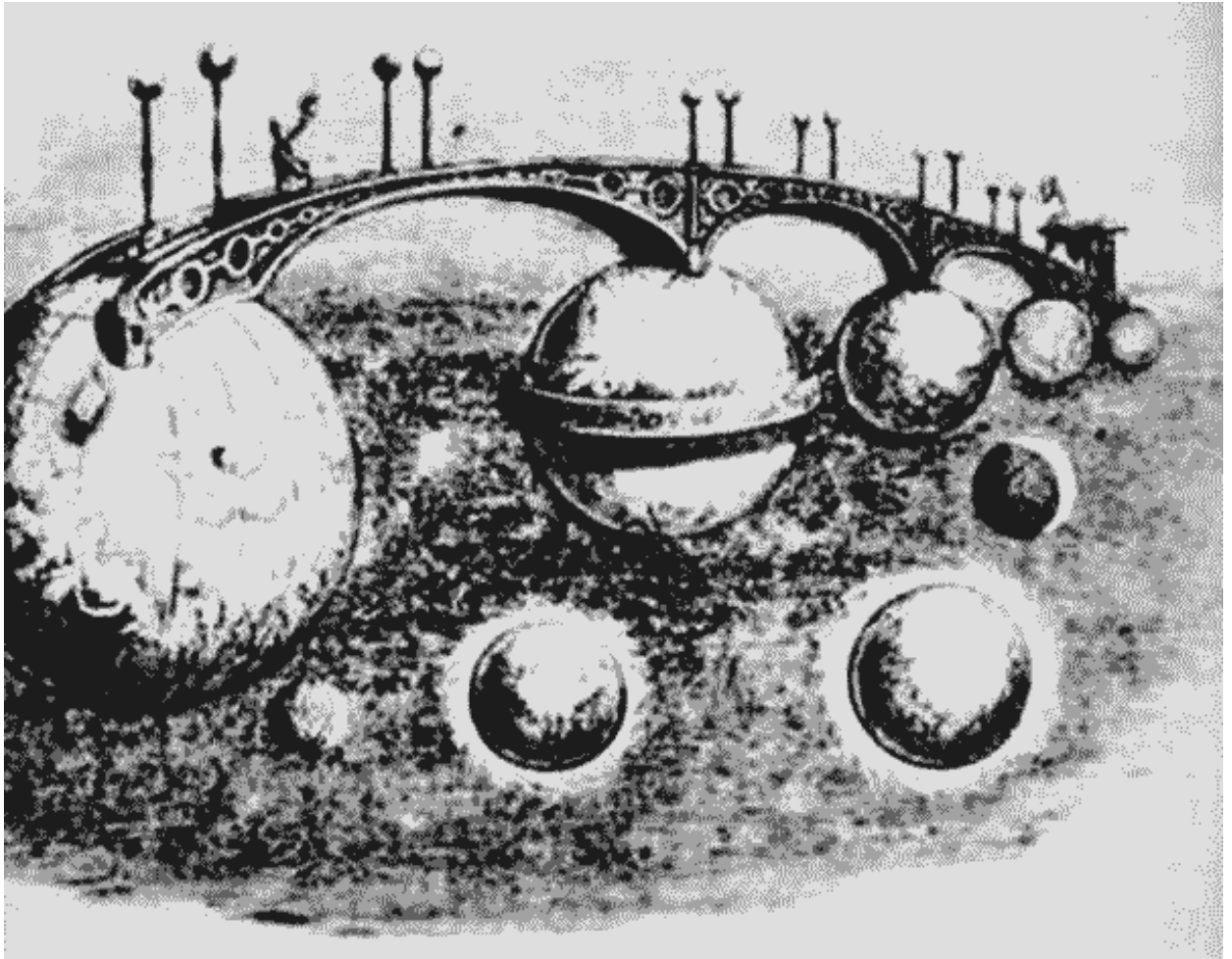
En toda la historia de la Humanidad, únicamente habrá una sola generación que sea la primera en explorar el Sistema Solar, una generación para la cual, en la infancia,

los planetas son discos claros y distantes que se mueven a través del cielo nocturno, y para la que, en la vejez, los planetas sean lugares, diversos nuevos mundos en el curso de la exploración aún no acabada.

Habrà un momento en nuestra futura historia en el que se explorará y habitará el Sistema Solar. Tanto para esa generación que antes he mencionado como para todos los que vengan detrás de nosotros, el momento actual será importantísimo en la historia de la Humanidad. No hubo muchas generaciones a las que se les haya concedido una oportunidad tan importante como ésta. La oportunidad es nuestra si no la dejamos perder. Aquí podríamos parafrasear a K. E. Tsiolkovski, fundador de la astronáutica:

«La Tierra es la cuna de la Humanidad, pero no podemos vivir para siempre en la cuna.»

Una criatura humana, desde muy pequeña, comienza a adquirir madurez mediante los descubrimientos experimentales de que él no es todo el Universo. Lo mismo puede decirse de sociedades dedicadas a la exploración de todo cuanto las rodea. La perspectiva que debe provocar la exploración espacial puede acelerar la madurez de la Humanidad, una madurez que no puede llegar demasiado pronto.



Les mystères des Infinis de Grandville, 1844.

Segunda parte: El Sistema Solar

Hubo una época –y muy reciente– en la que se consideró insensata la idea de la posibilidad de estudiar la composición de los cuerpos celestes, idea que también consideraban carente de sentido común incluso los pensadores y prominentes científicos. Ese tiempo, esa época, ya ha pasado. La idea de la posibilidad de estudiar el Universo, desde mucho más cerca, y más directamente, es algo que hoy día, creo yo, adquiere mayor primacía e importancia en las mentes de todos nuestros congéneres, e incluso en las de nuestros nuevos pensadores y prominentes científicos. Pisar el suelo de los asteroides, alzar con una mano una de las piedras de la Luna, moverse de acá para allá en estaciones situadas en el espacio y establecer círculos vivos alrededor de la Tierra, la Luna y el Sol, para observar a Marte desde una distancia de varias decenas de verstas, aterrizar en sus satélites e incluso en la superficie de Marte, ¡qué podría ser más fantástico! Sin embargo, sólo con el advenimiento de vehículos a reacción será posible iniciar una nueva era en la Astronomía, la época de un cuidadoso estudio del cielo... El motivo primordial de mi vida es hacer algo útil para la gente... Ésa es la razón de que me haya interesado por cosas que no dan pan ni fuerza. Aunque espero que mis estudios, quizá pronto o acaso en un futuro lejano, proporcionen a la sociedad montañas de grano y de poder ilimitado.

K. E. Tsiolkovski

1912

10. Sobre la enseñanza de primer grado



Fotografía de la «*Tierra llena*», tomada desde un Apolo. Cortesía de la NASA.

Un amigo, alumno de primer grado, me pidió que hablara en su clase, cuyos miembros, según me aseguró, no sabían nada sobre astronomía, pero que ansiaban aprender. Con la aprobación del profesor, llegué a su escuela en Mill Valley, California, provisto de veinte o treinta diapositivas en color de objetos astronómicos: la Tierra vista desde el espacio, la Luna, los planetas, estrellas explosivas, nebulosas gaseosas, galaxias y demás, que creí podrían asombrar, intrigar y, probablemente, incluso, educar en cierta medida.

Pero antes de comenzar la proyección de diapositivas a todos aquellos rostros infantiles cuyos ojos brillaban ansiosamente, quise explicar que existe una gran diferencia entre establecer lo que la ciencia ha descubierto y el hecho de describir cómo los científicos lo averiguaron o descubrieron. Es fácil resumir las conclusiones. Es difícil relatar todos los errores, pistas falsas e ignoradas, dedicación, duro trabajo y penoso abandono de iniciales puntos de vista que forman parte del descubrimiento original de algo interesante.

Comencé diciendo:

«Todos habéis oído decir que la Tierra es redonda. Todo el mundo cree que la Tierra es redonda. Pero, ¿por qué creemos que la Tierra es redonda? Alguno de vosotros, ¿puede pensar o imaginar alguna prueba de que la Tierra sea redonda?»

Durante la mayor parte de la historia de la Humanidad, siempre se sostuvo de manera reverente que la Tierra es llana, como resulta perfectamente evidente para alguien que haya estado en pie sobre un campo de trigo de Nebraska durante la época de la siembra. El concepto de una Tierra llana todavía predomina en nuestro lenguaje en frases como *«los cuatro rincones de la Tierra»*. Creí que asombraría a mis pequeños alumnos eventuales y que luego les explicaría lo difícil que había resultado conseguir que todo el género humano entendiera la esfericidad de nuestro planeta. Sin embargo, había subestimado al primer grado de Mill Valley.

—Bien —preguntó un chico vestido con un *«mono»* de trabajo como el usado por los obreros del ferrocarril—, ¿qué hay de ese asunto de un barco que se aleja de uno y que la última cosa que de él se ve es el mástil, o como se llame eso que sostiene la vela? ¿No significa eso que el océano está curvado?

—¿Qué ocurre cuando hay un *eclipse* de Luna? Eso es cuando el Sol está detrás de nosotros y la sombra de la Tierra está sobre la Luna, ¿no es así? Bueno, yo vi un *eclipse*. Esa sombra era redonda y no recta. Así pues, la Tierra tiene que ser redonda.

—Hay mejores pruebas, pruebas mucho mejores —ofreció otro—. ¿Y ese individuo que navegó *alrededor* del Mundo? Se llamaba Majello, ¿no? Pues no se puede viajar *alrededor* del mundo si éste no es redondo, ¿no? Y la gente, hoy, navega *alrededor* del mundo y vuela *alrededor* del mundo todo el tiempo. ¿Cómo se puede volar *alrededor* del mundo si no es redondo?

—¡Eh, muchachos! —exclamó otro—. ¿No sabéis que hay fotografías de la Tierra? Los astronautas estuvieron en el espacio y tomaron fotos de la Tierra. Podéis mirarlas y veréis que todas son redondas. No tenéis por qué emplear todas esas razones. Podéis ver que la Tierra es redonda.

Y después, a modo de *coup de grâce*, una muchachita con delantal casero que recientemente había acudido a visitar el Museo de Ciencias de San Francisco en una excursión escolar, preguntó con tono de indiferencia:

—¿Y qué me decís del experimento del péndulo de Foucault?

Fue un muy serio y grave conferenciante el que siguió describiendo los hallazgos de la astronomía moderna. Estos niños no eran la prole de astrónomos profesionales, profesores de colegio, físicos, y demás. Evidentemente, eran niños normales de primer grado. Albergó la gran esperanza de que, si pueden sobrevivir a doce o veinte años de «educación» metódica, puedan darse prisa para crecer y comenzar a dirigir las cosas.

La astronomía no se enseña en las escuelas públicas, al menos en América. Con muy pocas excepciones, excepciones notables por supuesto, un estudiante puede pasar del primer grado al duodécimo sin haberse enfrentado para nada con los hallazgos o descubrimientos que nos dicen dónde estamos en el Universo, cómo llegamos aquí y a dónde iremos probablemente, y asimismo sin haberse enfrentado en absoluto con la perspectiva cósmica.

Los antiguos griegos consideraban la astronomía como uno de la media docena, o, así, de temas necesarios a la educación de los hombres libres. Encuentro que, en las charlas y discusiones que he sostenido con alumnos de primer grado, con comunidades *hippies*, con miembros del Congreso, y hasta con taxistas, existe una enorme reserva de interés y emoción por las cosas astronómicas. La mayor parte de los periódicos americanos publican cada día una columna dedicada a la astrología. ¿Cuántos periódicos o revistas hay que dediquen diariamente una columna a la astronomía o a la ciencia?

La astrología pretende describir una influencia que llene las vidas de las gentes. Pero es una farsa. Es la ciencia la que de verdad influye en las vidas de las personas, aunque en sentido directo ligeramente menor. La enorme popularidad de la ciencia-ficción y de películas como *2001: Una odisea espacial* son pruebas de este entusiasmo científico que está sin explotar. No cabe la menor duda de que tanto la ciencia como la tecnología gobiernan, controlan y moldean nuestras vidas, para bien y para mal. Deberíamos realizar un mayor esfuerzo por aprender algo sobre ellas.

11. Los legendarios dioses de la antigüedad



Britannia, la diosa en la cara principal del antiguo penique británico.

La clase de problemas científicos que me ocupan —el medio ambiente de otros planetas, el origen de la vida, la posibilidad de que haya vida en otros mundos— son de interés popular. Esto no es accidental. Creo que todos los seres humanos se sienten impresionados por estos problemas fundamentales, y opino que soy lo suficientemente afortunado como para vivir en una época en la que es posible llevar a cabo la investigación científica de estos problemas.

Un resultado de ese interés popular es que recibo gran cantidad de correo, cartas de todas clases, algunas muy agradables, como las de gente que escribió poemas y sonetos sobre la placa del *Pioneer 10*; algunas son de escolares que desean que les solucione sus deberes de la semana, otras de personas extrañas que me piden dinero prestado; algunas de individuos que desean que compruebe y examine al detalle sus planos sobre inventos que van desde armas que lanzan rayos especiales, naves espaciales, hasta máquinas de movimiento continuo. También hay cartas de personas que abogan por diversas disciplinas misteriosas, como la astrología, relatos de contactos con seres extraterrestres, ficción especulativa de Von Daniken, brujería, quiromancia, frenología, naipes de Tarot, el I-Ching, meditación trascendental, y experiencias psicodélicas. También, de vez en cuando, aparecen historias más tristes, como la de una mujer que recibió un mensaje verbal de los habitantes de Venus a través de la regadera de su ducha, o la de un hombre que intentó denunciar a la Comisión de Energía Atómica por seguir cada uno de sus movimientos con «rayos atómicos». Hay cierto número de personas que escriben diciendo que pueden recoger señales inteligentes extraterrestres de radio a través de los empastes de sus muelas, o sólo concentrándose en debida forma.

Pero al cabo de varios años hay una carta que siempre recuerdo como la más mordaz y encantadora de esta clase. Llegó por correo ordinario. Se trata de una carta de ochenta y cinco folios escritos a mano con bolígrafo verde, procedente de un caballero internado en un hospital psiquiátrico de Ottawa. Había leído un artículo en un periódico local en el que yo decía que creía posible existiese vida en otros planetas; el autor de la carta deseaba asegurarme que yo tenía toda la razón del mundo, dada su experiencia y conocimientos personales.

Para ayudarme a entender y penetrar en la fuente de sus conocimientos, pensó que me agradaría conocer algo de su historia personal, lo cual explica la enorme extensión de las ochenta y cinco páginas de la misiva. Cuando era todavía un hombre joven en Ottawa, próximo ya a estallar la Segunda Guerra Mundial, vio un cartel de reclutamiento militar de las Fuerzas Armadas norteamericanas: el clásico, el que se hizo tan famoso, el que mostraba a un sujeto señalando con un dedo al vientre de uno diciendo:

«El Tío Sam te necesita.»

El hombre se sintió tan impresionado por el atractivo rostro del Tío Sam, que inmediatamente decidió conocerle. El hombre tomó un autobús para California, lugar que, en su opinión, debía ser el punto de residencia más plausible para el Tío Sam. Una vez en el centro de reclutamiento, preguntó dónde podría hallar al Tío Sam. Tras alguna confusión sobre apellidos, el hombre fue recibido con miradas muy poco agradables. Al cabo de varios días de entusiástica búsqueda, nadie, en California, pudo explicarle el paradero del Tío Sam.

Regresó a Ottawa profundamente deprimido tras haber fracasado en su empresa. Pero casi inmediatamente, como si se tratara de la cegadora luz de un flash, percibió la labor de su vida. Se trataba de hallar «*los legendarios dioses de la Antigüedad*», frase que aparece repetida muchas veces en la carta. El hombre tenía la interesante idea de que los dioses solamente sobreviven mientras disponen de adoradores. Entonces, ¿qué ocurre con los dioses en los que nadie cree, como, por ejemplo, los dioses de la antigua Grecia o Roma? Bien, concluía el hombre, quedan reducidos al

estado de seres humanos corrientes, sin disfrutar para nada de los gajes y poderes de la divinidad. Tienen que trabajar para vivir, como todo el mundo. Por otra parte, el hombre creía que tales dioses debían mostrarse un tanto reservados acerca de sus desgraciadas circunstancias, pero que, a veces, se quejaban de tener que realizar labores serviles cuando en otro tiempo cenaban en el Olimpo. Razonaba que tales deidades retiradas debían ser internadas en establecimientos para dementes. Por tanto, el método más razonable de localizar a estos dioses sin túnicas era encarcelarse a sí mismo en la institución psiquiátrica de la localidad, cosa que no tardó en hacer.

Aunque podamos no estar muy de acuerdo con algunos puntos de su razonamiento, probablemente sí lo estaremos en que finalmente hizo lo mejor que podía hacer.

Mi informante decidió entonces que buscar a todos los legendarios dioses de la Antigüedad sería tarea realmente agotadora. Y así se fijó tan sólo en unos pocos: Júpiter, Mercurio, y en la diosa que aparece en el anverso del antiguo penique británico: probablemente la elección no fue muy idónea entre los dioses más interesantes, pero seguro que el trío era muy representativo. Ante su asombro (y ante el mío) encontró internados, en el mismo sanatorio en que él lo había hecho, a Júpiter, Mercurio y a la diosa del penique británico. Estos dioses admitieron inmediatamente su identidad y le contaron historias sobre los viejos tiempos en los que fluía libremente el néctar y la ambrosía.

Y, acto seguido, mi corresponsal alcanzó un éxito que sobrepasaba a todas sus esperanzas iniciales. Un día, junto a una fuente de cerezas, encontró a «*Dios Todopoderoso*» o, al menos, a alguien que se le parecía mucho, ya que lo cierto fue que el personaje que le ofreció las cerezas en aquel momento reconoció, modestamente, ser Dios Todopoderoso. Pues bien, el Dios Todopoderoso, por fortuna, tenía una pequeña nave espacial en los terrenos del sanatorio y se ofreció para llevar a mi informante a dar un paseo por el Sistema Solar, cosa que llevó a cabo en un abrir y cerrar de ojos.

«Y así, doctor Sagan, es como puedo asegurarle que los planetas están habitados.»

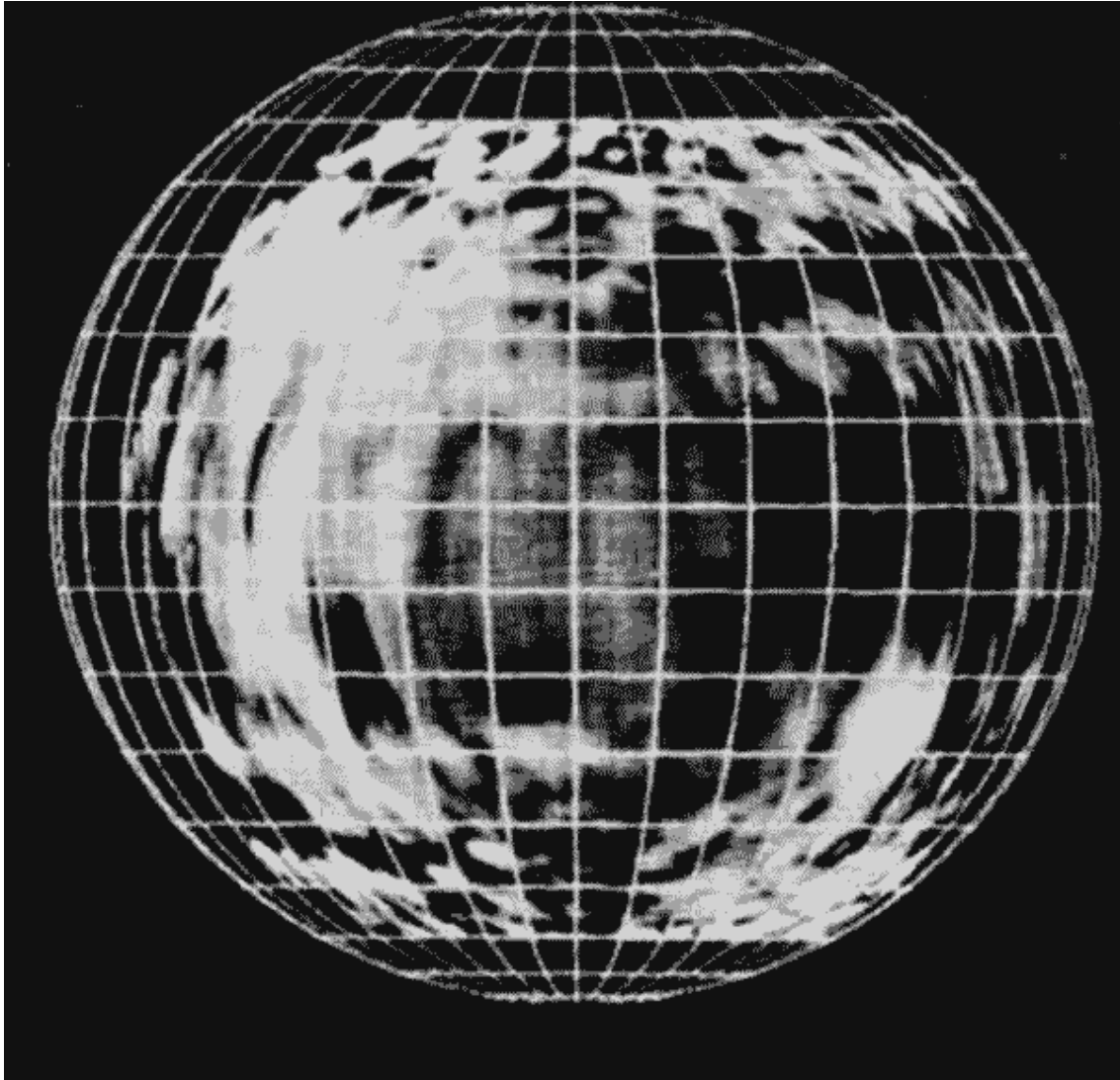
La carta terminaba más o menos así:

«Pero todo este asunto acerca de la vida en otros lugares se presta a mucha especulación y no vale la pena de que un científico como usted le preste un serio interés. ¿Por qué no orienta sus esfuerzos a solucionar un problema realmente importante como la construcción de un ferrocarril transcanadiense en latitudes muy al Norte?»

Y a continuación aparecía un detallado plano sobre la ruta que debía seguir tal ferrocarril, más la expresión de sus buenos deseos hacia mi persona.

Por supuesto, aparte de no pensar en trabajar sobre un ferrocarril transcanadiense en rutas de semejante latitud, la verdad es que nunca pude pensar en dar una respuesta adecuada a esta carta.

12. La historia detectivesca de Venus



Mapa de radar de la superficie de Venus, invisible para el ojo humano a causa de la densa atmósfera y de la cubierta de nubes del planeta. Cortesía del Arecibo Observatory, Cornell University.

Una de las razones por las cuales en nuestros días la astronomía planetaria se ha convertido en una auténtica delicia, es que resulta posible averiguar lo que es realmente correcto o exacto. En otras épocas, uno podía intuir o pronosticar a su gusto sobre un medio ambiente planetario, por muy improbables que fuesen tales cálculos, con la seguridad de que nadie iba a demostrar que se estaba equivocado. Hoy día, las naves espaciales u otros ingenios similares, cuelgan como espadas de Damocles sobre cada hipótesis emitida por los teóricos planetarios, y se puede

observar a los teóricos en curiosa amalgama de esperanzas y temores cada vez que nos llega a la Tierra nueva información proporcionada por los ingenios espaciales.

Antiguamente, cuando los astrónomos disponían de telescopios, ojos, y muy poco más para prestar ayuda a sus observaciones, Venus era un mundo hermano. A fines del siglo XIX se supo que Venus tenía aproximadamente la misma masa y radio que la Tierra. Venus es el planeta más cercano a la Tierra, y era natural que se pensara en él como algo muy parecido o igual a la Tierra, al menos en ciertos aspectos.

Immanuel Kant imaginó en Venus a una raza de seres tiernos y apasionados, casi humanos. Emmanuel Swedenborg y Annie Besant, una fundadora de la teosofía, encontraron –por métodos descriptos como viajes espirituales y proyección astral– criaturas muy parecidas a los seres humanos situándolas en Venus. En años más recientes, algunos de los relatos más audaces relacionados con los platillos volantes –por ejemplo, los de George Adamski– poblaron Venus con una raza de seres poderosos y benignos, muchos de los cuales aparecen con largos cabellos y también con largos vestidos blancos, claro simbolismo, en la América previa a 1963, de una intención profundamente espiritual. Hay una larga historia de ávidos caminos de pensamiento, especulación meditativa y fraude consciente o inconsciente, que produjo expectación popular sobre el hecho de que nuestro más cercano vecino planetario esté habitado por seres humanos, más bien parecidos a nosotros, o que sea un lugar habitable para los terrícolas.

Por tanto, se produjo considerable sorpresa y yo diría que incluso molestia, cuando finalmente se recibieron las primeras observaciones de radio sobre Venus. Estas mediciones llevadas a cabo por C. H. Mayer y sus colegas, en 1956, en el Laboratorio de Investigación Naval de los Estados Unidos, descubrieron que Venus era una fuente de emisión de radio mucho más intensa de lo que se había supuesto. A juzgar por la distancia que hay desde Venus al Sol y la cantidad de luz solar que devuelve al espacio, el planeta debía ser frío o fresco. Como Venus devuelve en su reflejo tanta luz al espacio, su temperatura debía ser incluso inferior a la de la Tierra, a pesar de su proximidad al Sol. El grupo de Mayer halló que Venus, en una longitud de onda de radio de 3 cm, proporcionaba tanta radiación como si fuera un cuerpo caliente a una temperatura de unos 315 °C. Posteriores observaciones realizadas con numerosos radiotelescopios a muchas y diferentes frecuencias de radio confirmaron la conclusión general de que Venus poseía una «*temperatura brillante*» de entre los 315 °C y los 425 °C aproximadamente.

Sin embargo, hubo una gran renuencia en la comunidad científica a creer que la emisión de radio procedía de la superficie de Venus. Un objeto caliente emite radiación en muchas longitudes de onda. ¿Por qué Venus sólo parecía caliente en longitudes de onda de radio? ¿Cómo podía mantenerse tan caliente la superficie de Venus? Y, finalmente –puesto que los factores psicológicos pueden ser dominantes, consciente o inconscientemente, incluso en la ciencia–, un planeta Venus caliente, mucho más caliente que un horno casero, era perspectiva menos agradable que el Venus poblado por seres graciosos con inclinaciones amorosas o espirituales, siguiendo la larga tradición desde Kant hasta Adamski.

Este problema del origen de la emisión de radio de Venus fue parte principal de mi tesis doctoral. Escribí unos veinte documentos científicos sobre el tema entre 1961 y 1968, cuando finalmente el problema se consideró solucionado. Miro hacia atrás y

contemplo con placer este período de tiempo. La historia de radio de Venus es muy similar a un relato detectivesco en cuyas páginas hay gran cantidad de posibles pistas. Algunas son vitales para la solución; otras son falsas y conducen a una dirección errónea. Algunas veces puede deducirse la verdadera respuesta teniendo en cuenta todos los hechos principales y recurriendo a un razonamiento plausible y lógico.

Había varias cosas que ya conocíamos acerca de Venus. Sabíamos cómo variaba con la radiofrecuencia la «*temperatura brillante*». Sabíamos cómo Venus reflejaba sobre la Tierra ondas de radio enviadas mediante grandes telescopios con radar. La primera prueba con éxito del hombre —el *Mariner 2* de los Estados Unidos— descubrió, en 1962, que Venus era más brillante en longitudes de onda de radio en su parte central que en sus bordes.

Había varias teorías en contra de tales observaciones. Podían agruparse en dos categorías generales: El modelo de superficie caliente, en el cual la emisión de radio procedía de la superficie sólida del planeta, y el modelo de superficie fría, en el cual dicha emisión provenía de cualquier otro lugar, desde una capa ionizada en la atmósfera venusina, de descargas eléctricas entre gotitas en las nubes de Venus, o de un hipotético gran cinturón de partículas cargadas eléctricamente que se movía con suma rapidez alrededor de Venus (como las que, de hecho, rodean a la Tierra y a Júpiter). Estas últimas hipótesis permitían que la superficie se mantuviera fría, situando la intensa emisión de radio sobre la superficie. Si deseábamos la presencia de buques en Venus, entonces nos convertíamos en defensores del modelo de superficie fría.

Si comparamos sistemáticamente los modelos de superficie fría con las observaciones hechas, hallamos que todos tropezaban con graves dificultades. El modelo o hipótesis en el cual la emisión de radio procedía de la ionosfera, por ejemplo, pronosticaba que Venus no debía reflejar, en absoluto, ondas de radio. Pero los telescopios-radar habían descubierto ondas de radio reflejadas desde Venus con una eficiencia del 10 ó 20 %. Para obviar tales dificultades, los que abogaban por el modelo ionosférico construyeron hipótesis muy sofisticadas en las que existían muchas capas ionizadas con orificios especiales en ellas para permitir el paso del radar a través de la ionosfera, tocar la superficie de Venus y regresar a la Tierra. Al mismo tiempo, no podían existir demasiados orificios, ya que de ser así la emisión de radio no sería tan intensa como se observaba. Estos modelos me parecieron excesivamente detallados y arbitrarios en sus circunstancias.

Poco antes de las notables observaciones de 1968 hechas por una nave espacial, acerca de Venus, entregué un documento a *Nature*, revista científica británica, en el cual resumía estas conclusiones y deducía que sólo el modelo o hipótesis de la superficie caliente era el que mejor se ajustaba a todas las pruebas. Antes de esto, ya había propuesto una teoría específica, en términos del efecto llamado «*invernadero*», para explicar cómo la superficie de Venus podía registrar tan elevadas temperaturas. Pero mis conclusiones en contra de los modelos de superficie fría, en 1968, no dependían de la validez de la explicación «*invernadero*»: sucedía que una superficie caliente explicaba los datos y una superficie fría no. A causa de mi interés por la exobiología, hubiese preferido un Venus habitable, pero los hechos me condujeron a otra parte. En un trabajo publicado en 1962, yo

concluía, por pruebas indirectas, que la temperatura promedio en la superficie en Venus era, aproximadamente, de 425 °C y la presión atmosférica promedio en la superficie era unas cincuenta veces mayor que en la superficie de la Tierra.

En 1968, una nave espacial americana, el *Mariner 5*, voló cerca de Venus, y una nave espacial soviética, el *Venera 4*, penetró en su atmósfera. En 1974, ya habían entrado en la atmósfera de Venus cinco cápsulas soviéticas con instrumentos. Las tres últimas descendieron sobre el planeta y enviaron datos de la superficie del planeta. Eran los primeros artificios de la Humanidad que se posaban en la superficie de otro planeta. El promedio de la temperatura de Venus era aproximadamente de 500° C; el promedio de presión en la superficie era de aproximadamente noventa atmósferas. Mis conclusiones iniciales eran bastante correctas, aun cuando un tanto conservadoras.

Es interesante, ahora que conocemos por mediciones directas las verdaderas condiciones de Venus, leer algunas de las críticas hechas al modelo de superficie caliente que se publicaron en la década de los sesenta. Un año después de haber recibido el título de doctor en Filosofía, hubo un famoso astrónomo planetario que me hizo una apuesta de diez contra uno, asegurando que la presión sobre la superficie de Venus no era diez veces superior a la de la Tierra. Gustosamente entregué mis diez dólares contra sus ciento, y he de confesar en honor suyo que me pagó los cien dólares, cuando tuvimos en la mano los resultados de las observaciones hechas en los aterrizajes soviéticos.

La teoría y los artificios espaciales obran recíprocamente en otras formas. Por ejemplo, el *Venera 4* radió su última temperatura, o, mejor dicho, su último punto de presión-temperatura a 230 °C y veinte atmósferas. Los científicos soviéticos concluyeron que éstas eran las condiciones de la superficie de Venus. Pero los datos de radio ya habían demostrado que la temperatura de la superficie tenía que ser mucho más elevada. Combinando el radar con los datos del *Mariner 5*, supimos que la superficie de Venus se hallaba mucho más abajo de donde los científicos soviéticos habían concluido que el *Venera 4* se había posado. Ahora parece demostrado que los diseñadores de la primera nave espacial *Venera*, creyendo que eran reales los modelos de superficie fría de los teóricos, construyeron una nave espacial relativamente frágil que quedó aplastada por el peso de la atmósfera de Venus muy por encima de la superficie, lo mismo que un submarino no construido para grandes profundidades resultaría aplastado en el fondo del océano.

En la reunión de la COSPAR *, celebrada en Tokio en 1968, yo emití la opinión de que la nave espacial *Venera 4* había dejado de funcionar a unos 30 km de altura sobre la superficie. Mi colega el profesor A. D. Kuzmin, del Instituto Físico Lebedev de Moscú, alegó que la nave había aterrizado en la superficie. Cuando le rebatí que los datos del radar y la radio no situaban la superficie a la altura deducida para el aterrizaje del *Venera 4*, el doctor Kuzmin respondió que el *Venera 4* había tocado la cima de una alta montaña. Acto seguido, repliqué que los estudios de radar realizados en Venus mostraban montañas con una altura máxima de 2.000 m y que, en consecuencia, era improbable que el *Venera 4* hubiese aterrizado sobre una montaña de 30.000 m de altura en Venus, aunque pudiera existir semejante montaña. El profesor Kuzmin me contestó preguntándome qué opinaba sobre la probabilidad de que la primera bomba alemana lanzada sobre Leningrado, en la

Segunda Guerra Mundial, hubiese liquidado al único elefante que había en el parque zoológico de la ciudad. Admití que la posibilidad era muy pequeña, sin duda alguna. El profesor respondió triunfalmente con la información de que éste había sido, en realidad, el destino del elefante de Leningrado.

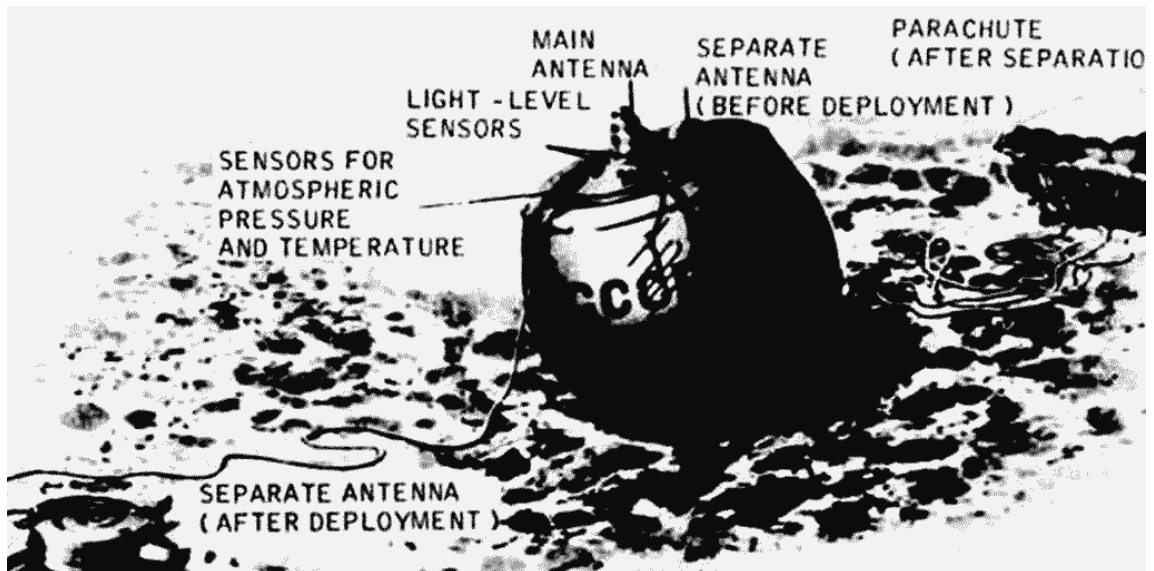
* _ Comisión de Investigación y Estudios Espaciales. N. del T..

Los diseñadores de las siguientes naves espaciales soviéticas, a pesar del caso del zoológico de Leningrado, tuvieron sumo cuidado en aumentar la fuerza material de las naves espaciales para sucesivas misiones. El *Venera 7* pudo soportar presiones ciento ochenta veces superiores a las que reinan en la superficie de la Tierra, margen adecuado para las reales condiciones de la superficie de Venus. Transmitió datos desde la superficie de Venus durante veinte minutos antes de quedar abrasada. El *Venera 8*, en 1972, transmitió durante cuarenta minutos. La presión de la superficie no es de veinte atmósferas y el espectacular monte Kuzmin no existe.

La principal conclusión acerca del método científico que saqué de esta historia es la siguiente: Aunque la teoría es útil en los proyectos o diseños de experimentos, sólo las experiencias directas convencerán a cualquiera. Basándose únicamente en mis conclusiones indirectas, hoy día habría mucha gente que no creería en un planeta Venus caliente. Como resultado de las observaciones del *Venera*, todo el mundo acepta las terribles presiones de Venus, calor fantástico, escasa iluminación y extraños efectos ópticos.

El hecho de que nuestro planeta hermano sea tan diferente a la Tierra es problema científico de primer orden, y los estudios de Venus son de sumo interés para comprender la más temprana historia de la Tierra. Por añadidura, ayuda a calibrar la seguridad de la proyección astral y viaje espiritual popularizados por Emmanuel Swedenborg, Annie Besant, e innumerables imitadores actuales, ninguno de los cuales captaron detalle alguno de la verdadera naturaleza de Venus.

13. Venus es el Infierno



Esquema del vehículo espacial *Venera 8*, que aterrizó sobre la superficie de Venus en 1972. De Tass.

El planeta Venus flota sereno y bello en el cielo de la Tierra como brillante punto de luz blancoamarillenta. Visto o fotografiado a través de un telescopio, se distingue un disco sin rasgos característicos; una capa de nubes enorme, enigmática y cerrada oculta la superficie a nuestra vista. Ningún ojo humano ha visto el suelo de nuestro más cercano vecino planetario.

Pero ahora sabemos muchas cosas sobre Venus. Por las observaciones de radiotelescopio y naves espaciales, sabemos que la temperatura de la superficie es de alrededor de 500° C. La presión atmosférica en la superficie de Venus es noventa veces superior a la que experimentamos en la Tierra. Como la gravedad del planeta es tan poderosa como la de la Tierra, hay noventa veces más moléculas en la atmósfera de Venus que en la de la Tierra. Esta densa atmósfera actúa como una especie de manta aislante, manteniendo la superficie caliente mediante el efecto de «*invernadero*» y suavizando diferencias de temperatura de un lugar a otro. Es probable que el polo de Venus no sea significativamente más frío que su ecuador, y en Venus hace tanto calor a mediodía como a medianoche.

A 80 km sobre la superficie se extiende la espesa capa de nubes que vemos desde la Tierra. Hasta fecha muy reciente nadie conocía la composición de estas nubes. Yo había sugerido que quizás estuvieran formadas, en parte, por agua, un material muy abundante cósmicamente, lo que podría abonar muchas, pero no todas, por supuesto, de las propiedades observadas en las nubes de Venus. Pero también se sugerían otros materiales, entre ellos cloruro de amonio, varios silicatos, soluciones de ácido clorhídrico, cloruro férrico hidratado, hidrocarburos, siendo sugerido este

último producto por Immanuel Velikovski, en su novela *Mundos en colisión*, para proporcionar maná a los israelitas en sus cuarenta años de vagar por el desierto. Los otros materiales que se insinuaron pisaban terreno más firme. Sin embargo, cada uno de ellos entraba en conflicto con una o más de las observaciones realizadas.

Pero, recientemente, se ha sugerido un material que parece ajustarse a la perfección a toda medición. El astrónomo americano Andrew T. Young ha demostrado que las nubes de Venus es probable que sean una solución concentrada de ácido sulfúrico. Una solución del 75 % de H_2SO_4 se ajusta al índice de refracción de las nubes de Venus determinado por observaciones polarimétricas efectuadas desde la Tierra. Ninguno de los otros materiales se acerca a este cálculo. Tal solución es líquida a las temperaturas y presiones reinantes en las nubes de Venus. El ácido sulfúrico posee una característica de absorción determinada por el espectroscopio infrarrojo, en una longitud de onda de 11,2 micrones. De todos los materiales propuestos o sugeridos, tan sólo el H_2SO_4 posee tal característica de absorción. La serie soviética de los *Venera* encontró grandes cantidades de vapor de agua por debajo de las nubes visibles de Venus. Las observaciones que se han hecho en busca de agua mediante procedimientos espectroscópicos han hallado solamente una insignificante cantidad de vapor de agua en las nubes de Venus. Las dos observaciones estarán de acuerdo en el caso de que entre estas dos regiones haya un eficaz agente secador. El ácido sulfúrico es tal agente.

En la atmósfera de la Tierra hay gotitas de agua a gran altura y vapor de agua en las capas atmosféricas más inferiores. De la misma manera en Venus: Si hay gotitas de ácido sulfúrico en las nubes altas, debe haber más abajo ácido sulfúrico gaseoso, a una concentración relativamente elevada cerca de la superficie. Los astrónomos también han hallado pruebas inequívocas de la existencia de ácidos clorhídrico y fluorhídrico como gases en la atmósfera superior de Venus. También deben existir a elevada concentración, por ejemplo, en las proporciones relativas del *smog* en el aire de Los Angeles, en la atmósfera más baja de Venus. Estos tres ácidos constituyen una mezcla sumamente corrosiva. Cualquier nave espacial que haya de sobrevivir en la superficie de Venus no solamente debe estar protegida contra las altas presiones, sino también contra la atmósfera corrosiva.

En la actualidad, la Unión Soviética se halla inmersa en un programa muy activo de exploración de Venus, sin, por supuesto, presencia humana en tales exploraciones. Ahora sabemos que a mediodía hay suficiente luz en Venus para hacer fotografías. Llegará el día, quizá dentro de algunos años, no muchos, en que podamos tener las primeras fotografías de la superficie de Venus. ¿Cómo será esta superficie? Podemos hacer predicciones en cierta medida.

A causa de la atmósfera muy densa de Venus, se producen algunos efectos ópticos muy interesantes. El más importante de todos se debe a la dispersión Rayleigh, llamada así en honor del inglés Lord Rayleigh. Cuando la luz del Sol toca la atmósfera clara y limpia de polvo de la Tierra, dicha luz se dispersa. Los fotones chocan con las moléculas de la atmósfera terrestre y rebotan. Pueden darse muchos de tales rebotes. Pero como las moléculas de aire son mucho más pequeñas que la longitud de onda de la luz, resulta que las longitudes de onda corta se dispersan o rebotan mediante las moléculas de aire más eficazmente que las longitudes de onda largas. La luz azul se dispersa mucho mejor que la luz roja. Éste es un hecho que ya

conocía Leonardo da Vinci, quien pintaba los paisajes lejanos o de fondo con un primoroso azul cerúleo. Por eso hablamos de montañas azules, y por eso el cielo es azul. La luz del Sol se dispersa o extiende por toda nuestra atmósfera, parte de ella se dispersa hacia arriba y hacia afuera de nuevo, pero otras fracciones de luz solar se dispersan mediante las moléculas de nuestra atmósfera y entonces, siguiendo una dirección completamente distinta a la del Sol, vuelve a nuestros ojos. En ausencia de atmósfera, como en la Luna, el cielo es negro. Cuando miramos una puesta de Sol estamos viendo al Sol a través de un sendero más largo en la atmósfera de la Tierra que cuando lo contemplábamos a mediodía. La luz azul ha abandonado este sendero, dejando que la luz roja toque nuestros ojos. La belleza de las puestas de Sol, del cielo y de los distintos paisajes se debe a la dispersión Rayleigh.

¿Y qué hay de la dispersión Rayleigh en Venus? Como la atmósfera es mucho más densa, allí es mucho más importante la dispersión Rayleigh. Si pudiésemos suprimir las nubes de Venus, aún seríamos incapaces de ver su superficie desde arriba. En la atmósfera de Venus se dispersaría la luz de todos los colores tantas veces que no se podría distinguir ningún detalle de la superficie del planeta. Con longitudes de onda más largas a las que es sensible el ojo humano, se podría ver la superficie desde arriba, pero hay nubes. Las ondas de radio penetran en las nubes y atmósfera de Venus, y así se están confeccionando los primeros mapas de radar de Venus. Dentro de muy pocos años, el gran telescopio Arecibo, de la Cornell University, en Puerto Rico, comenzará a trazar el mapa de Venus, por radar, con mayor precisión que los mapas que se han hecho ópticamente de la Luna. Ya se tienen indicios de que en la superficie de este enigmático planeta hay cadenas montañosas y enormes cráteres.

En la superficie de Venus, la dispersión Rayleigh produce también otro importantísimo efecto. Así como no podemos ver la superficie en luz visible desde la parte superior de Venus, tampoco podemos ver el Sol, en luz visible, desde la superficie de Venus, aunque se abriese un enorme claro en las nubes. Por otra parte, si hubiese vida inteligente en Venus, la astronomía se desarrollaría muy lentamente, siendo así que surgiría primero la radioastronomía. La nave espacial *Venera 8* halló que la luz solar alcanza la superficie de Venus durante el día, pero queda tan atenuada por su paso entre las nubes y atmósfera que, incluso a mediodía, no es más brillante en Venus que en pleno crepúsculo de la Tierra. La luz solar sería así un brumoso y confuso retazo de luz de color rubí oscuro, cuya salida y puesta podrían determinarse muy vagamente.

Si pudiéramos hallarnos sobre la superficie de Venus vestidos con traje protector y los ojos cubiertos por gafas de Sol color violeta, no se vería nada en absoluto más allá de unos cuantos metros. La dispersión Rayleigh en luz azul es tan fuerte en Venus que la visibilidad en el color violeta es muy pequeña. Pero como la luz de larga longitud de onda se dispersa menos que la azul, en el final rojo del espectro visible —ojos cubiertos con gafas de Sol color rojo—, la visibilidad probablemente podría alcanzar los 200 ó 300 metros. En la superficie de Venus, todo debe estar bañado por una obscuridad de profundo color rojo.

Percibiríamos el color, pero tan sólo de aquellos objetos que estuviesen muy cerca de nosotros. Todo lo demás, todo cuanto nos rodeara, aparecería como un borrón rosado.

Así pues, Venus parece ser un lugar completamente diferente a la Tierra y, además, muy poco atractivo: temperaturas de verdadera parrilla, presiones aplastantes, gases corrosivos y malsanos, olores a azufre, y un paisaje inmerso en obscuridad rojiza.

Resulta curioso, pero hay un lugar asombrosamente parecido a éste en las leyendas, folklore y superstición de los hombres. Le llamamos Infierno. En la antigua creencia –por ejemplo, la de los griegos–, era el lugar a donde viajaban todas las almas humanas después de la muerte. En la época cristiana, se piensa en el Infierno como destino *post mortem* para una de las dos categorías de persuasión moral. Pero existen pocas dudas de que el punto de vista sobre el Infierno, en cuanto concierne al individuo medio –azufre, color rojo, llamas, etc.– se ajusta, en todo, a la superficie de Venus.

Aunque las moléculas biológicas terrestres rápidamente se harían pedazos en Venus, hay moléculas orgánicas –por ejemplo, algunas con una compleja estructura circular– que se mantendrían estables en las condiciones de Venus. Es difícil excluir la vida allí, pero ciertamente podemos decir que sería por completo diferente a la que para nosotros es familiar. Cualquier criatura que viva allí sin duda alguna ha de poseer piel muy correosa. A causa de las altas temperaturas atmosféricas, incluso sería normal que también dispusiera de pequeñas alas, cortas y rígidas, que llevasen al que las poseyera de un lado a otro en aleteo excepcionalmente enérgico y activo. Un diablo es un perfecto modelo –excepto en su aspecto de macho cabrío y humano– para un habitante de Venus. Milton e Isaías llamaron a Lucifer «*Hijo de la mañana*», de la estrella de la mañana. Durante miles de años, Venus y el Infierno se han identificado.

Por supuesto, que ésta no es más que una curiosa coincidencia y no creo que pueda ser algo más que eso. Aquí, el detalle principal es que en todas las leyendas uno se va al Infierno hacia abajo y no hacia arriba. El mundo clásico de Grecia y Roma y el antiguo Oriente Próximo estaba sazonado de volcanes en actividad. Estos terrenos volcánicos, como en las Islandia y Hawai contemporáneas, son lugares desolados, desnudos, aunque también paisajes de pavorosa belleza. De los cráteres volcánicos surgen gases sulfurosos; fuentes y ríos de lava tiñen los alrededores de rojo. Hace mucho calor. Uno se chamusca las cejas y pestañas si se acerca demasiado a una salida de lava. Y todo este calor, color rojo y malos olores vienen de abajo. No fue muy difícil para nuestros antepasados imaginar que los terrenos volcánicos eran aberturas que daban paso a un mundo en llamas completamente diferente, que se llamaba Infierno.

El interior de la Tierra y el exterior de Venus son parecidos, pero no idénticos. Los dos son lugares desagradables para los seres humanos, pero a la vez ambos poseen extremado interés científico, lugares que vale la pena visitar, ya que no lugares donde residir. Dante sabía mucho sobre esto.

14. Ciencia e «Inteligencia»



Variado grupo de agregados militares extranjeros agrupados para ver el lanzamiento del *Apollo 15*. Fotografía del autor.

Pasé los primeros dos años después de doctorarme en la Universidad de California, Berkeley, donde, entre otras cosas, me preocupó la búsqueda de vida en otros lugares y la esterilización de vehículos espaciales destinados a lugares como Marte, pues no deseábamos contaminar el medio ambiente marciano con microbios de la Tierra.

En un brillante día de primavera, recibí una llamada telefónica de un general de las Fuerzas Aéreas a quien había conocido y encontrado en varias reuniones de carácter científico. El general había trabajado principalmente en la medicina aplicada a la Aviación. Le llamaré aquí Bart Doppelganger. El general Doppelganger me informó que se encontraba en Los Angeles con tres científicos soviéticos, uno de los cuales estaba encargado del esfuerzo soviético de construir instrumentos para investigar la vida extraterrestre. Su nombre era Alexandr Alexandrovich Imshenetski (no hay razón alguna para cambiar su nombre; a diferencia de otros, en este relato, no tiene nada de que avergonzarse). Era la primera visita que hacía Imshenetski a los Estados Unidos. Sí, por supuesto que me interesaba conocerle. ¿Cuándo? La respuesta fue: «Inmediatamente.» Así que partí en automóvil hacia el aeropuerto de San Francisco, volé a Los Ángeles, donde tomé un taxi para dirigirme a una dirección que me había facilitado nuestro general Doppelganger.

Era el hogar de un fisiólogo muy conocido profesionalmente, un buen cerebro de la UCLA. En la sala de estar, a mi llegada, se encontraba el fisiólogo, otros expertos en medicina para la Aviación de la UCLA, el general Doppelganger, tres científicos soviéticos (dos expertos en medicina espacial y el académico Imshenetski) y un intérprete. Llamaré al intérprete Igor Rogovin; era un empleado americano de la Biblioteca del Congreso destinado a servir de intérprete para los tres rusos durante su visita a los Estados Unidos. La única cosa que me sorprendió como algo peculiar fue que el inglés de los tres rusos era realmente excelente. Entonces, ¿para qué necesitaban un intérprete?

Todo el mundo aparecía alegre, se cambiaron frases de suma cortesía y circularon bebidas (Igor también tomó parte en esto). No había conversación en la cual él estuviera ausente durante más de cinco minutos. Estaba muy atareado, como una abeja maniaca que obsesivamente revoloteara de flor en flor.

Al cabo de un rato, todos acordamos trasladarnos al aeropuerto internacional de Los Angeles, donde los rusos más tarde tomarían un avión. Pero, antes de emprender el viaje, cenaríamos juntos. Todos no cabíamos en un solo coche, por lo cual Rogovin no podía viajar en dos vehículos a la vez. Imshenetski, algunos otros y yo subimos a un coche, y Rogovin y los demás tomaron un segundo automóvil. Durante los veinte o treinta minutos que duró el viaje, Imshenetski y yo intercambiamos interesantes puntos de vista sobre métodos de detección de vida y esterilización de vehículos espaciales y su tecnología. Era el primero de los contactos que yo tenía con un científico soviético.

Llegamos al aeropuerto, donde registraron las maletas; luego los soviéticos se excusaron para ir al lavabo. Mientras les esperaba en el exterior, me encontré a solas con Igor Rogovin, quien inmediatamente me dijo, hablando por una de las comisuras de la boca y con el tono propio de un James Cagney o Humphrey Bogart:

–¿Qué hay muchacho? ¿Qué has averiguado?

Como no estaba muy al corriente de los métodos y costumbres mundanas, y sintiéndome muy complacido por la información que Imshenetski y yo habíamos intercambiado, rápidamente resumí lo que había aprendido.

–Muy bueno, muchacho. ¿Para quien trabajas?

–Para la Universidad de California, en Berkeley –repliqué en tono de suma satisfacción.

–No, no, muchacho; la tapadera no.

Poco a poco me fui dando cuenta de cuál era la ocupación de Igor Rogovin, ya que no de su identidad. Con creciente cólera, le expliqué que si era posible sostener una conversación con un científico soviético, tal conversación redundaría más en beneficio de la ciencia que en beneficio de los servicios americanos de Información Militar. Antes de que Rogovin pudiese decir algo, salieron del lavabo nuestros invitados soviéticos y todos nos fuimos a cenar.

Aunque me hallaba sentado junto a Imshenetski me sentí incapaz de hablar de nuevo con él acerca de cualquier tema que se pareciera a la ciencia. Todavía recuerdo que nuestros principales temas de conversación fueron las películas americanas y los poetas soviéticos. Tras haber bebido algunas copas, Alexandr Alexandrovich Imshenetski declaró que William Shakespeare era el poeta más leído en Rusia y que las películas americanas de vaqueros eran excesivamente violentas. Transcurrieron varias horas durante las cuajales sólo hablamos sobre estos dos temas.

Cuando los rusos partieron hacia su país, yo regresé a Berkeley.

A la mañana siguiente examiné las páginas de la guía telefónica de San Francisco y, bajo «Gobierno de los Estados Unidos», encontré una sección marcada «Central Intelligence Agency». Al marcar el número en cuestión, una voz de tono alegre dijo algo parecido a «Yukon 4-2143».

–¡Oiga! ¿Es la CÍA? –pregunté.

–¿En qué podemos servirle, señor?

–Quiero presentar una queja. Más bien hacer una reclamación.

–Un momento, señor; le pondré con el Departamento de Reclamaciones.

Esto ocurrió poco después del episodio de la Bahía de los Cochinos y supongo que la CÍA estaba recibiendo montañas de reclamaciones y quejas.

Cuando, por fin, logré que me pusieran con el Departamento de Reclamaciones, me lancé rápidamente a hacer un resumen de mi encuentro o, más bien, choque con el señor Rogovin, pero al cabo de unos segundos me silenciaron alegando que aquél no era tema adecuado para tratar por teléfono. La voz que me impuso silencio no llegaba a mis oídos por la misma línea. Seguramente la línea estaba intervenida. En

consecuencia, establecimos una cita para más tarde en aquel mismo día y en mi despacho.

Por supuesto, y a la hora prescrita, llegaron dos hombres jóvenes, muy bien vestidos, que me mostraron dos tarjetas de identificación con la firma de John McCone, quien recientemente había sido nombrado director de la CÍA. Tras expresar mi estado de ánimo, molesto sin duda alguna, mediante un detallado escrutinio de sus tarjetas de identificación, comencé a relatar mi historia. Vi que en sus rostros se reflejaba una creciente preocupación. Al final de mi relato, me explicaron que el comportamiento de Rogovin no podía ser de ninguna manera el que correspondía a un empleado de «la Agencia». Se mostraron muy preocupados por mi relato, particularmente a causa de la «mala prensa» que estaban sufriendo después de lo de la Bahía de los Cochinos. Harían todo lo posible por arreglar las cosas, si yo no molestaba a la Agencia dando más publicidad a la historia en cuestión. Acepté guardar silencio durante un tiempo, y los dos hombres abandonaron mi despacho.

Una semana más tarde me llamaron por teléfono:

—Doctor Sagan, soy el señor Smith, el que estuvo charlando con usted en su despacho la semana pasada. ¿Recuerda el asunto que entonces tratamos?

Sospeché que el teléfono también esta vez se hallaba intervenido.

—Hemos podido establecer que la parte en cuestión —¿sabe a quién me refiero?— no trabaja para nosotros; bien, para nuestra organización, con ese nombre. Desde luego, estamos buscando otros nombres y le iremos a ver tan pronto como podamos.

Les había costado una semana estudiar la nómina personal de la CÍA. O la nómina era muy larga o muy secreta.

Algunos días más tarde, y empleando un lenguaje igualmente velado, me llamaron y me dijeron —en un tono de voz que parecía reflejar suma preocupación— que Igor Rogovin no trabajaba para la CÍA con ningún otro nombre y que, en tales circunstancias, naturalmente sentían mucha curiosidad por saber para quién lo hacía.

Transcurrió otra semana. Entonces la CÍA deseó hablar conmigo de nuevo en mi despacho. Llegaron los dos caballeros que ya me habían visitado anteriormente y, una vez más, me enseñaron las dos tarjetas de identificación firmadas por John McCone. Me informaron que, tras fatigosas investigaciones, habían descubierto que Igor Rogovin era en realidad un agente del Servicio Secreto de las Fuerzas Aéreas. De nuevo me aseguraron que ningún representante de su Agencia se hubiese comportado de tal manera, y acto seguido, se fueron. Lo que sí quedaba claramente establecido era que a la CÍA le había costado dos semanas determinar la personalidad de un miembro de una organización paralela de un Departamento de Información de los Estados Unidos.

La historia tiene una continuación. Un año o dos más tarde, se reunía en Florencia, Italia, la organización internacional espacial COSPAR. Como espléndido regalo a tales reuniones, se abrió la Galería Uffizi una tarde, especialmente para que pudieran verla las delegaciones COSPAR de varias naciones. Tenía que darse la

casualidad de que yo estuviera con Alexandr Alexandrovich Imshenetski cuando entramos en una sala enorme aparentemente desierta, pero inundada de Botticelli. Y allí, en el otro extremo de la galería había una figura humana que se distinguía con cierta dificultad. Noté cómo Imshenetski se envaraba. Forzando un tanto los ojos, pude ver el rostro de Igor Rogovin, rostro disfrazado con poblada barba. Sin duda viajaba de incógnito. Imshenetski se inclinó hacia mí y musitó:

—¿No es ése el individuo que estuvo con nosotros en Los Ángeles?

Cuando asentí con un movimiento de cabeza, Imshenetski murmuró:

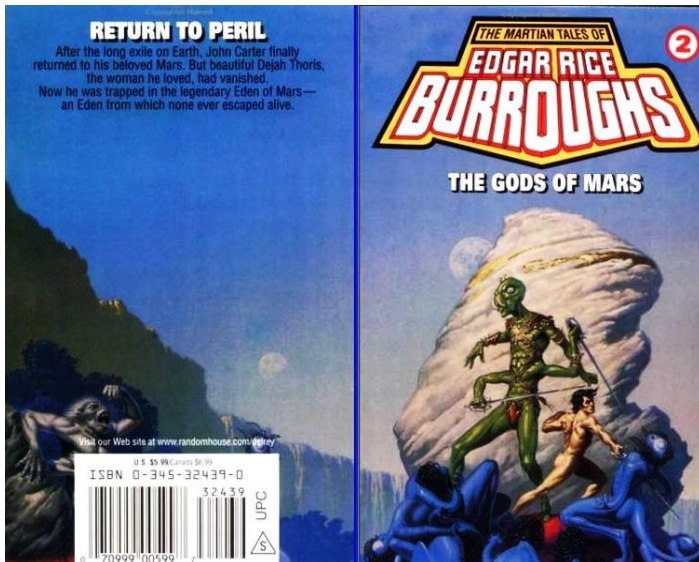
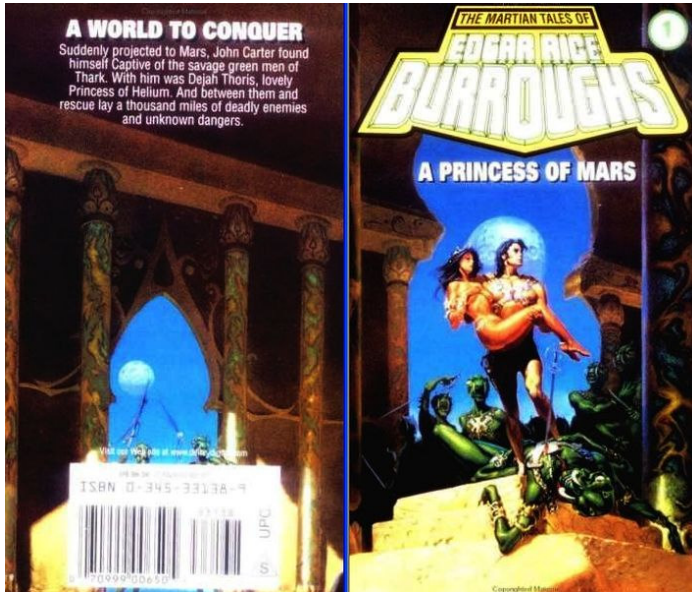
—¡Estúpido individuo!

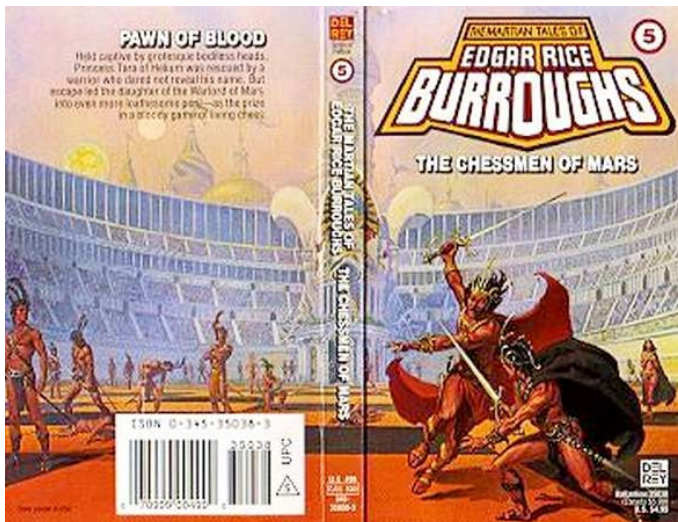
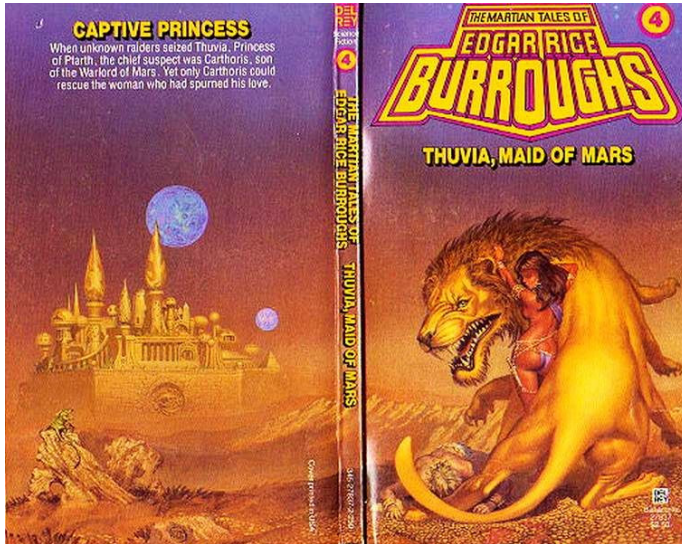
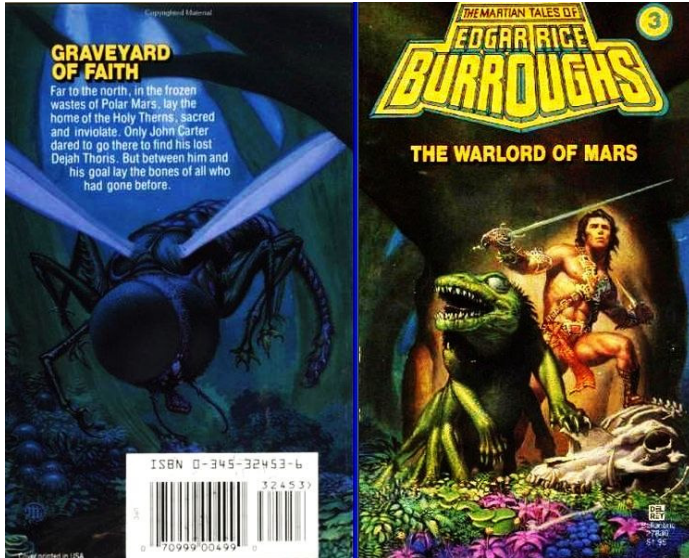
El hecho de que Rogovin trabajara para el Servicio de Información de las Fuerzas Aéreas, mirando ahora al pasado, no era nada sorprendente, puesto que el general Doppelganger me había invitado a Los Angeles. Pero si es muy sorprendente que las Fuerzas Aéreas se sintieran interesadas por los planes soviéticos en lo que se refería a la detección de vida en otros planetas y a la esterilización de naves espaciales. Y el hecho de que los Servicios de Información americanos intentaran emplear a inocentes y jóvenes científicos (yo tenía entonces veintisiete años y políticamente era aséptico) para llevar a cabo tales propósitos, es realmente sorprendente. Al menos, a mí me asombra.

Hay otras muchas historias en las que están implicadas las organizaciones de espionaje soviéticas y americanas. El efecto general de tales incidentes es disminuir la verosimilitud del intercambio científico entre los expertos de diferentes países. Tales intercambios son sumamente necesarios en una época en la que existe el peligro de una hecatombe nuclear y en la cual los científicos tienen acceso a lugares muy cercanos a los políticos que están en el poder. El hecho de que tales actividades de espionaje se practiquen de forma enteramente regular e invariable por parte soviética no debilita, en mi opinión, este razonamiento. La intromisión del espionaje en los intercambios científicos internacionales de esta clase es, sea cual fuere su objetivo final, poco o nada inteligente.

15. Las lunas de Barsoom

Durante mi adolescencia tuve la suerte de tropezar con una serie de novelas ampulosamente escritas con títulos como: *Thuvia, maid of Mars*, *The chessman of Mars*, *The princess of Mars*, *The warlords of Mars*, y así sucesivamente. Ni que decir tiene, se trataba de novelas sobre Marte. Pero no acerca de nuestro Marte, el Marte revelado por el *Mariner 9*.





Probablemente, la hipótesis más notable propuesta por Burroughs en estas novelas era que los seres humanos y los habitantes de Marte podían tener descendencia, prole, proposición biológicamente imposible si los marcianos y nosotros tenemos orígenes biológicamente distantes. Burroughs escribió muy honestamente acerca de la interfertilidad de un virginiano, milagrosamente transportado a Marte, y de Dejah Thoris, la princesa de un reino con el improbable nombre de Helium. No tengo dudas de que el precedente de un reino llamado Helium condujera directamente al planeta llamado Kryptón, patria de *Superman*, el protagonista de una historieta para niños. Hay aquí una rica vena de material literario que aún no se ha explotado bastante. El futuro puede mostrar planetas, estrellas, o incluso galaxias completas, llamadas Neón, Argón, Xenón, y Radón, gases nobles.

Pero el nombre ideado por Burroughs, que a través de los años me ha obsesionado, es el que imaginó que los marcianos dieron a Marte: *Barsoom*. Y fue una frase suya más que ninguna otra cosa la que se grabó en mi pensamiento:

«*Las violentas lunas de Barsoom.*»

Pues, sin duda, Marte es un mundo con dos lunas, situación que parecería completamente natural para los habitantes de dicho planeta como para nosotros lo es contar con una sola Luna. Sabemos cómo se presenta nuestro solitario satélite a simple vista desde la superficie de la Tierra. Pero, desde la superficie de Marte, ¿qué aspecto tienen las lunas de Barsoom? Esta pregunta que, de vez en cuando, me preocupaba en mi adolescencia, no iba a tener respuesta hasta el año 1971 y el viaje del *Mariner 9*.

Las lunas de Marte fueron creación de Johannes Kepler, el descubridor de las leyes del movimiento planetario y hombre de escasa talla intelectual. Pero vivió en el siglo XVI, en un clima intelectual muy diferente del actual. Confeccionaba horóscopos para poder comer; la astronomía era su pasión más que su ocupación. Su madre fue juzgada y condenada por bruja. Cuando Kepler se enteró del descubrimiento de Galileo, con uno de los primeros telescopios astronómicos, de las cuatro grandes lunas de Júpiter, él inmediatamente concluyó que Marte tenía dos lunas. ¿Por qué? Porque Marte se hallaba a una distancia intermedia del Sol, entre la Tierra y Júpiter. Sin duda, parecía evidente que debía poseer un número intermedio de lunas. Las observaciones parecían demostrar que Venus carecía de lunas, la Tierra contaba con una y Júpiter con cuatro (el verdadero número que hoy día conocemos es de doce). Kepler pudo haber deducido dos o tres lunas para Marte, pero la pasión de toda una vida por las progresiones geométricas le llevó a elegir dos. El razonamiento, por supuesto, es falso. Las diez lunas de Saturno, las cinco de Urano y las dos de Neptuno no encajan en este esquema, que no es científico, sino más bien estético.

Pero el prestigio de Kepler era inmenso, particularmente después de que las leyes del movimiento planetario se derivasen de la teoría de la gravitación de Isaac Newton; y así, las alusiones literarias a las dos lunas de Marte perduraron a lo largo de los siglos. En la un tanto larga historia corta de Voltaire, *Micromegas*, un ciudadano de la estrella Sirio se da cuenta, por casualidad, cuando viajaba por nuestro Sistema Solar, de que Marte tenía dos lunas. Hay una referencia más famosa a las dos lunas marcianas en la sátira de Jonathan Swift de 1726, *Viajes de Gulliver*, no en las partes de los liliputienses, ni en la de los gigantes o en la de los

caballos inteligentes, sino en la menos leída de todas, la que se refiere a la isla flotante y aérea de Laputa. El episodio es, sin duda, una crítica descaradamente razonada de las tensas relaciones hispano-británicas en la época de Swift, porque *la puta* es una palabra española que equivale a prostituta. Las metáforas políticas son oscuras, al menos para mí. De todos modos, Swift anuncia casualmente que los astrónomos de Laputa han descubierto dos lunas de Marte, las cuales poseen rápidos movimientos y han proporcionado información sobre su distancia a Marte y sus períodos de traslación alrededor de Marte, información que es incorrecta, pero que es inteligente como intuición. Existen toda una serie de publicaciones sobre cómo era posible que Swift conociera las lunas de Marte, incluyendo la sugerencia de que Swift era marciano. Sin embargo, las pruebas demuestran que Swift no era marciano y que su conocimiento sobre las dos lunas, sin duda, puede deberse a las especulaciones de Kepler.

El verdadero descubrimiento de las dos lunas de Marte se hizo desde las afueras de Washington D.C., en 1877. El Observatorio Naval de los Estados Unidos acababa de terminar un gran telescopio refractor. El astrónomo del observatorio, Asaph Hall, intentó averiguar si las lunas de Marte, ensalzadas en canciones y en la literatura, existían realmente. Sus primeras noches de observación constituyeron un fracaso, y de mal humor incluso anunció a su esposa que se proponía abandonar la búsqueda. La señora Hall no admitió esto y animó a su marido a que trabajara unas cuantas noches más con el telescopio, hasta que el hombre tuvo a su alcance los satélites marcianos. Durante un corto período de tiempo pensó que había hallado tres satélites, porque el interior se movía tan rápidamente que en una noche le vio a un lado de Marte y a la noche siguiente en el otro. Hall bautizó a las lunas con los nombres de Fobos y Deimos, como los caballos que arrastraban la cuadriga del dios de la guerra en la mitología griega; significan, respectivamente, temor y terror. (Los adjetivos adecuados implican algunos problemas: ¿Hablamos de órbitas fóbicas y de noches deimónicas?) Si algún día se descubre otra luna de Marte, espero que se la bautice con un nombre menos feroz y más optimista, como, por ejemplo, «Paz».

También confío en que cuando se fijen definitivamente las características de Fobos y Deimos por parte de la Unión Astronómica Internacional, una de ellas se llame como la señora Hall. Pero como la otra seguramente será llamada como Asaph Hall, tendremos un problema: dos cráteres llamados Hall serían algo perturbador. En una charla que di en Harvard, sobre astronomía comenté que el problema se resolvería si conociésemos el nombre de soltera de la señora Hall. Mi amigo Owen Gingerich, profesor de Historia de la Ciencia en Harvard, inmediatamente se puso en pie replicando: «Angelina Stickney» Así pues, cuando llegue el momento, espero que habrá un «Stickney» en una de las lunas de Barsoom.

El subsiguiente estudio de Fobos y Deimos llevado a cabo entre 1877 y 1971 tiene una curiosa historia. Las lunas de Marte son tan pequeñas que aparecen, incluso contempladas con los mejores telescopios, como simples puntos de luz. Son excesivamente pequeñas para haber sido observadas con los telescopios anteriores a 1877. Sus órbitas pueden calcularse anotando sus posiciones en varios tiempos. En 1944, en el Observatorio Naval de los Estados Unidos (donde sin duda debió desarrollarse un comprensible interés por Fobos y Deimos), B. P. Sharpless reunió todas las observaciones que tenía a su disposición por entonces para determinar las órbitas con la mayor precisión. Halló –sin duda con enorme sorpresa– que la órbita

de Fobos parecía decaer en lo que los astrónomos llamaban aceleración secular. En largos períodos de tiempo, el satélite parecía estar aproximándose cada vez más a Marte, a la vez que se movía también mucho más rápidamente. Este fenómeno nos es muy familiar hoy día. Las órbitas de los satélites artificiales decaen durante todo el tiempo en la atmósfera de la Tierra. Inicialmente se reducen a causa de las colisiones con las difusas capas superiores de la atmósfera de la Tierra, pero mediante las leyes de Kepler el resultado neto es un movimiento más rápido.

La conclusión de Sharpless, de una secular aceleración para Fobos, continuó siendo una curiosidad sin explicar y casi sin examinar, hasta que alrededor de 1960 la tuvo en cuenta el astrofísico soviético I. S. Shklovskii. Éste pensó en una amplia gama de hipótesis en cuanto se refería a la aceleración secular, entre ellas la influencia del Sol, la de un campo magnético de Marte y la de la gravedad de este planeta. Halló que ninguna de estas hipótesis encajaba con exactitud. Entonces volvió a considerar la posibilidad del arrastre atmosférico. En los días anteriores a la investigación de Marte con naves espaciales, se conocía escasa e indirectamente el tamaño exacto de los satélites marcianos, pero se sabía que Fobos tenía unos 20 km de diámetro. La altitud de Fobos sobre la superficie de Marte también se conocía. Shklovskii y otros antes que él descubrieron que la densidad de la atmósfera marciana era demasiado baja para producir el arrastre indicado por Sharpless. Fue precisamente en este momento cuando Shklovskii hizo una audaz y brillante suposición.

Todos los cálculos efectuados para demostrar que no existía arrastre atmosférico habían presupuesto que Fobos era un objeto de densidad corriente. Pero, ¿y si su densidad era muy baja? A pesar de su enorme tamaño, entonces su masa sería muy pequeña, y su órbita podría resultar afectada por la enrarecida superior atmósfera marciana.

Shklovskii calculó la precisa densidad de Fobos y halló un valor que alcanzaba a una milésima parte de la densidad del agua. Ningún objeto natural o sustancia tiene una densidad tan baja; hay una madera que tiene la mitad de la densidad del agua. Así pues, con densidad tan baja sólo quedaba una conclusión posible: Fobos tenía que estar hueco. Un objeto enorme y hueco, con 20 km de diámetro, no podía crearse mediante procesos naturales. Por tanto, Shklovskii concluyó que había sido creado por una avanzada civilización marciana. Indudablemente, un satélite artificial de 20 km de diámetro requiere una tecnología mucho más avanzada que la nuestra.

Como no había señales de tal civilización avanzada en Marte, Shklovskii supuso que Fobos –y posiblemente Deimos– habían sido lanzados al espacio en un lejanísimo pasado por una desaparecida civilización marciana. (El lector que se sienta interesado por este tema hallará más detalles de este notable razonamiento de Shklovskii en el libro *Vida inteligente en el Universo*, escrito en colaboración por Shklovskii y por mí [San Francisco, Holden-Day, 1966; New York, Delta Books, 1967].) A continuación de los primeros trabajos de Shklovskii sobre el tema, los movimientos de las lunas de Marte fueron examinados en Inglaterra por G. A. Wilkins, quien manifestó que era probable no existiera aceleración secular. Pero no podía estar seguro.

La extraordinaria sugerencia de Shklovskii en el sentido de que las lunas de Marte podrían ser artificiales es una de las tres hipótesis que hay sobre su origen. Las otras dos –interesantes por derecho propio, pero sin duda muy inexpresivas en

comparación con la hipótesis de Shklovskii— son: 1) que las lunas son asteroides capturados, o 2) que son una especie de restos que quedaron allí cuando se formó Marte. Los asteroides son pedazos de roca y metal que giran alrededor del Sol entre las órbitas de Marte y Júpiter. No es probable, aunque teóricamente posible, que sean escenarios en los cuales la gravedad de Marte pueda capturar a un asteroide que pase a su alcance.

En la hipótesis de «restos marcianos» se considera que trozos de roca de diversos tamaños se unieron para formar Marte; que la última generación de tales piezas produjo los enormes y antiguos cráteres sobre Marte, y que Fobos y Deimos son, por casualidad, los únicos restos que aún perduran de la primitiva historia catastrófica de Marte.

Es evidente que el hecho de confirmar alguna de estas hipótesis, cualquiera de las tres, sobre el origen de las lunas de Marte, sería un logro de suma importancia científica.

La misión del *Mariner* sobre Marte, en 1971, en la cual tuve el placer de trabajar, en principio implicaba el empleo de dos naves espaciales, el *Mariner 8* y el *Mariner 9*. Iban a situarse en órbitas diferentes también con distintos propósitos en el estudio de Marte. Cuando finalmente hubo acuerdo acerca de estas órbitas me percaté de que no estaban lo suficientemente lejos de las órbitas de Fobos y Deimos. También me pareció que las observaciones realizadas por televisión y con otros medios sobre Fobos y Deimos, por la nave espacial *Mariner*, podrían permitirnos determinar parte de su origen y naturaleza. Por tanto, solicité permiso a los funcionarios de la NASA que organizaban y dirigían la misión, para programar observaciones de Fobos y Deimos. Aun cuando los directores de la misión en el Jet Propulsion Laboratory, verdadera organización operativa, no se mostraran muy contrarios a la idea, algunos funcionarios de la NASA se oponían a ella. Por supuesto, existía un plan de la misión escrito en un grueso libro donde se determinaba taxativamente lo que harían los *Mariner 8* y *9*. Pero en dicho plan no se mencionaba para nada a Fobos y Deimos. Así pues, yo no podía mirar ni observar a Fobos ni a Deimos. Pura burocracia.

Indiqué que mi propuesta solamente requería mover las plataformas de registro en la nave espacial para que las cámaras pudiesen observar los satélites marcianos. La respuesta, una vez más, fue negativa. Poco tiempo después presenté otro documento en el que decía que, si Fobos y Deimos eran asteroides capturados, el hecho de examinarlos desde el *Mariner 9* equivalía a efectuar una misión casi o del todo gratuita en el cinturón de asteroides. La maniobra que les había propuesto en la plataforma de la nave espacial ahorraría a la NASA doscientos millones de dólares o así. En algunos círculos esta propuesta se consideró como más apremiante. Al cabo de un año y tras muchos cabildeos, se formó un grupo técnico y se hicieron proyectos para examinar Fobos y Deimos. El grupo que podríamos llamar de trabajo sobre astronomía de satélites, ante mis sugerencias, lo presidió el doctor James Pollack, antiguo alumno mío; pero uno de los signos que dio la NASA acerca de su mala disposición fue que el grupo se formó con posterioridad al lanzamiento del *Mariner 9* y sólo dos meses antes de su llegada a Marte. (Mientras tanto, había fallado el *Mariner 8*.) Cuando el *Mariner 9* llegó a Marte, encontramos un planeta casi enteramente oscurecido por el polvo. Puesto que en Marte había muy poco que observar, de repente estalló un insólito entusiasmo por examinar Fobos y

Deimos. El primer paso fue tomar fotografías desde cierta distancia con objeto de establecer con cierta precisión las órbitas y situaciones de las lunas. Esta tarea se cumplió de forma preliminar dos semanas después de que la nave espacial penetrara en la órbita marciana. El *Mariner 9* tiene un período orbital de aproximadamente doce horas, de manera que daba la vuelta a Marte dos veces al día.

Las fotografías que el *Mariner 9* envió por televisión a la Tierra fueron radiadas de forma muy parecida a como se envían en nuestro planeta fotografías de un continente a otro por cable. La fotografía está dividida en gran número de pequeños puntos (para el *Mariner 9*, varios centenares de miles), cada uno de los cuales con su propio brillo, o sombra o gris, desde el negro al blanco. Una vez que la nave espacial ha tomado la fotografía y allí se registra sobre cinta magnética se envía a la Tierra punto por punto. En efecto, la comunicación dice: Punto número 3277, nivel gris 65; punto número 3278, nivel gris 62, y así sucesivamente. La fotografía se «reúne» por medio de computadora en la Tierra, esencialmente siguiendo los puntos.

La primera fotografía de Fobos, un primer plano relativamente claro, se obtuvo en la revolución 31. A continuación se muestra una foto Polaroid de la imagen del videomonitor de Fobos en la revolución 31, recibida el día 30 de noviembre de 1971. Aun así la imagen es excesivamente borrosa como para poder llegar a conclusión alguna.



La primera imagen de Fobos vista desde el *Mariner 9*, sin procesar por computadora.

Ya tarde, aquella misma noche, el doctor Joseph Veverka, de Cornell, otro antiguo alumno mío, y yo, trabajamos durante la madrugada en el Image Processing Laboratory de JPL para conseguir –mediante técnicas de ampliación y contraste por computadora– todos los detalles que se pudiesen lograr de la imagen. El resultado se muestra a continuación. La forma es irregular. ¿Son cráteres esos manchones?



La misma fotografía, pero ampliada por computadora y mostrando cráteres.

Nuestra fotografía mejorada se construyó en el vídeo-monitor de la computadora, línea por línea y de arriba abajo. A medida que emergió gradualmente lo que parecía ser el mayor cráter, vimos un punto brillante en su centro; sólo por un momento tuve la sensación de que estábamos viendo una estrella a través de un enorme orificio en Fobos, o, aún más emocionante, que estábamos viendo una luz artificial. Pero cuando pedimos a la computadora que suprimiera todos los pequeños errores, el punto brillante desapareció.

En la revolución 34, el *Mariner 9* y Fobos se aproximaron mutuamente a menos de 8.000 km, uno de los mayores acercamientos en toda la misión. Por la noche, tarde, al recibir la fotografía, Veverka y yo nos pusimos a trabajar de nuevo con la computadora. Nuestros resultados fueron los que se muestran en la siguiente figura. No estoy seguro de cuál es el aspecto que presenta un satélite artificial de 20 km de diámetro, pero no parece, ser esto. Fobos más bien se parece a una patata podrida.

De hecho, está lleno de cráteres. Para que se hayan acumulado tantos cráteres en esa parte del sistema solar debe de ser muy viejo, probablemente de miles de millones de años. En su conjunto Fobos parece ser un fragmento natural de una roca mayor, terriblemente vapuleada por repetidas colisiones; allí se han abierto o excavado orificios y se le han arrancado trozos, como a golpes de hacha. En Fobos no hay señal alguna de tecnología. Fobos no es un satélite artificial. Cuando, mediante la misma labor realizada en la computadora, se ampliaron las fotos de Deimos ocurrió lo mismo, y así llegamos a la misma conclusión.



Una imagen posterior, aunque mucho más detallada, de Fobos que muestra su verdadera Naturaleza.

Fobos y Deimos son los primeros satélites de otro planeta que han sido fotografiados en primer plano. También se observaron mediante el espectrómetro ultravioleta y el radiómetro infrarrojo a bordo del *Mariner 9*. Pudimos determinar sus tamaños y formas y algo de su color. Son objetos extremadamente oscuros, más oscuros que el material más negro que haya en la habitación donde ahora mismo esté sentado el lector. Por supuesto, figuran ya entre los objetos más oscuros del Sistema Solar. Como hay tan pocos objetos con esta oscuridad en cualquier otra parte, esperamos poder llegar a saber algo sobre su composición. Ambos están cubiertos al menos por finas capas de material muy pulverizado. Proporcionan importantes indicios en cuanto se refiere a procesos de colisión en el Sistema Solar inicial. Creo que estamos contemplando al producto final de una especie de selección de colisión natural, en la cual se han separado fragmentos de un cuerpo principal mayor y estamos viendo únicamente esos dos trozos que ahí quedan y que son Fobos y Deimos. Las lunas de Marte también son importantes calibradores de colisión para Marte. Probablemente, Fobos, Deimos y Marte estuvieron juntos en la misma parte del Sistema Solar durante un largo período de tiempo. El número de

cráteres, de un tamaño dado, que hay en Marte, es mucho menor, en general, que en Fobos o en Deimos, proporcionando así importante información acerca de procesos de erosión marciana, cosa que no existe en Fobos y Deimos, sin aire y sin agua.

Como ahora poseemos una buena información acerca del tamaño y forma de estos objetos, y como también contamos con buenas razones para pensar que ambos tienen densidades típicas de roca ordinaria, podemos calcular algo sobre lo que significaría encontrarnos, por ejemplo, en Fobos. En primer lugar, Marte a menos de 12.000 km de distancia llenaría aproximadamente la mitad del cielo de Fobos. La salida o alzhamiento de Marte sería un acontecimiento espectacular. No sería mala idea la eventual construcción de un observatorio en Fobos para examinar Marte. Sabemos, por el *Mariner 9*, que Fobos y Deimos giran de la misma manera que lo hace nuestra Luna, siempre mostrando la misma cara a su planeta. Cuando Fobos está por encima del hemisferio diurno de Marte, la luz rojiza de este último sería suficiente para leer por la noche en Fobos.

Debido a su pequeño tamaño, Fobos y Deimos poseen aceleraciones de gravitación muy bajas. Sus gravedades no atraen con mucha fuerza. La de Fobos equivale tan sólo a una milésima parte de la de la Tierra. Si en la Tierra se da un salto de digamos 1 metro aproximadamente, ese mismo salto en Fobos alcanzaría una altura de alrededor de 800 metros. No se precisarían muchos saltos para circunnavegar Fobos. Podrían ser saltos en arco graciosos y lentos, que tardarían varios minutos en alcanzar el punto más elevado de la trayectoria de autopropulsión, para luego regresar delicadamente a la Tierra.

Aún más interesante sería, por ejemplo, jugar un partido de béisbol en Fobos. La velocidad necesaria para lanzar un objeto en órbita alrededor de Fobos es solamente de unos 40 km por hora. Un lanzador aficionado de béisbol podría fácilmente lanzar una pelota en órbita alrededor de Fobos. La velocidad de escape de Fobos es sólo de cerca de 60 km por hora, velocidad alcanzada fácilmente por los lanzadores profesionales de béisbol. Una pelota de béisbol que escapara de Fobos orbitaría alrededor de Marte, diminuta luna lanzada por el hombre. Si Fobos fuese perfectamente esférico, un astronauta solitario, aficionado al béisbol, podría inventar una curiosa versión, aunque algo perezosa, de este juego, ya de por sí un tanto perezoso. Primero, como *pitcher* o lanzador podría arrojar la pelota de lado, hacia el horizonte, a unos 50 km por hora. Entonces podría irse a casa a almorzar, porque la pelota tardaría un par de horas en dar la vuelta a Fobos. Después de almorzar, tomaría el bate, caminaría en dirección opuesta a la del lanzamiento, y esperaría a la pelota lanzada dos horas antes. Aparte del hecho de que los buenos lanzadores rara vez son buenos con el bate, pegar a este lanzamiento sería cosa muy fácil. Como la luz del día en Fobos sólo dura cuatro horas, todo el juego tendría que modificarse para poder jugar durante ese corto período de luz.

Probablemente, estas posibilidades deportivas dentro de uno o dos siglos, sean industria turística para Fobos y Deimos. Pero el béisbol, en Fobos, sería un curioso entretenimiento, que asimismo podría disfrutarse casi en idénticas circunstancias en la Luna. Sin embargo el interés científico por las lunas de Marte —ya sean asteroides capturados o restos de la formación del planeta— es inmenso. Más pronto o más tarde, por supuesto en una escala de siglos, habrá instrumentos que permitan al

hombre sobre la superficie de Fobos contemplar con asombro al inmenso planeta rojo que llena el horizonte casi por completo.

¿Y qué decir del panorama opuesto? ¿Qué aspecto pueden tener las lunas de Barsoom vistas desde la superficie de Marte? Como Fobos está tan cerca de Marte, se vería como un disco clarísimo, aunque es un objeto diminuto. De hecho, Fobos aparecería en el espacio con el tamaño aproximado de la mitad de nuestra Luna contemplada desde la Tierra. Sabemos, por el *Mariner 9*, que tan sólo un lado de Fobos es visible desde Marte, al igual que nos ocurre en la Tierra con la Luna. Esa cara de Fobos es, aproximadamente, la que se muestra en la segunda imagen de dicho satélite. Hasta que se llevó a cabo el viaje del *Mariner 9*, nadie —excepto los marcianos, si los hay— ha visto jamás esa cara.

Por otra parte, como Fobos está tan cerca de Marte, las leyes de Kepler le impulsan a moverse con rapidez comparativa alrededor del planeta. Efectúa aproximadamente dos órbitas y media alrededor de Marte en 24 horas. Por otra parte Deimos tarda treinta horas y dieciocho minutos en terminar su órbita alrededor de Marte. Ambas lunas giran en sus órbitas en la misma dirección o sentido que Marte efectúa la rotación sobre su eje. Así, Deimos sale por el Este y se pone en el Oeste, como debe hacerlo todo buen satélite que se juzgue a sí mismo como tal. Pero Fobos lo hace una vez alrededor de su órbita en menos tiempo de lo que tarda Marte en su giro. En consecuencia, Fobos sale por el Oeste y se pone por el Este, tardando cinco horas y media en pasar de un horizonte a otro. Éste no es, exactamente, un movimiento violento —el movimiento no sería fácilmente perceptible contra el campo de estrellas durante un minuto de contemplación—, pero tampoco es lento. Habrá algunas noches en el ecuador de Marte, cuando Fobos se ponga por el Este durante la puesta de Sol y luego salga por el Oeste mucho antes del amanecer.

Fobos está tan cerca del plano ecuatorial de Marte que resulta completamente invisible desde las regiones polares del planeta. Si fuésemos a imaginar la presencia de seres inteligentes en Marte, la astronomía sería competencia de las sociedades ecuatoriales y no de las de las altas latitudes. No estoy seguro de si Helium era un reino ecuatorial.

Freud dice, en alguna parte, que los únicos hombres felices son aquellos que han hecho realidad los sueños de su juventud. Yo no puedo decir que sea éste mi caso del todo, pero jamás olvidaré aquellas tempranas horas, en un frío noviembre californiano, cuando Joe Veverka, técnico de la JPL y yo, fuimos los primeros seres humanos que vimos la cara de Fobos.

El Estado de California fue lo suficientemente amable como para concederme una matrícula automovilística rotulada con el nombre de «PHOBOS». Mi coche no es demasiado perezoso o lento, pero tampoco es capaz de girar alrededor de nuestro planeta dos veces al día. La matrícula me agrada. Hubiese preferido «BARSOOM», pero en California existe un límite de seis letras para las matrículas de los automóviles.

16. Las montañas de Marte - 1. Observaciones desde la Tierra



Mapa topográfico, basado en estudios de radar, de elevaciones y altitudes medias de Marte. Laboratorio de Estudios Planetarios, Cornell University.

Las montañas de la Tierra son el producto de épocas en las cuales ocurrieron grandes catástrofes geológicas. Se cree que las mayores cadenas montañosas se produjeron por la colisión de enormes bloques continentales durante su deriva. El movimiento de los continentes acercándose y separándose unos de otros, aproximadamente a unos dos centímetros por año nos parecerá, sin duda, sumamente lento. Pero como la Tierra tiene miles de millones de años de antigüedad, se dispuso de mucho tiempo para que los continentes chocasen en todo nuestro planeta.

Las montañas más pequeñas se deben a fenómenos volcánicos. La roca fundida y ardiente, llamada lava, asciende a través de tuberías situadas en las capas superiores de la Tierra –tuberías, por llamarlas de alguna manera, de débil estructura a través de las cuales se alivia y libera la presión inferior– y producen enormes pilas de escoria volcánica que se enfrían. El orificio abierto en la cima del

volcán –los geólogos le llaman caldera de la cumbre– es el conducto a través del cual se producen sucesivas erupciones de lava. En la caldera de la cima o cumbre de un volcán en actividad, como, por ejemplo, en Hawai, podemos ver auténtica lava fundida. Estas montañas volcánicas individuales y cadenas montañosas o cordilleras, que son realmente entidades separadas, constituyen muestras de que existe una Tierra vigorosa y dinámica.

¿Y qué hay de Marte? Es un planeta más pequeño que la Tierra; su presión central y temperaturas también son inferiores; posee, asimismo, un promedio de densidad inferior al de la Tierra. Estas circunstancias parecen combinarse para sugerir que Marte debe ser menos activo geológicamente que la Tierra y la Luna. Pero incluso en la Luna, objeto mucho más pequeño que Marte, con temperaturas internas inferiores a las de este planeta, al parecer existe una actividad volcánica tal y como lo han descubierto las misiones Apolo. Aún hoy no comprendemos la conexión que pueda haber entre el tamaño y estructura de un planeta y la presencia de montañas y actividad volcánica, aunque sabemos que en la Luna no hay importantes cordilleras.

Nuestra actual ignorancia sobre este tema, por supuesto, casi deja de ser tal comparada con la ignorancia de los primeros astrónomos planetarios, quienes hace menos de un siglo contemplaban el firmamento mediante pequeños telescopios tratando de averiguar a qué distancia se hallaba Marte. Uno de los primeros astrónomos que se preocupó por el tema de las montañas de Marte, fue Percival Lowell. Éste creía (véase el Capítulo 18) haber hallado pruebas de la existencia de una extensa red de líneas rectas que cruzaban la superficie marciana con notable regularidad y dirección, y que sólo habían podido ser producidas por una raza de seres inteligentes en aquel planeta. Creía que estos «canales» transportaban agua.

Ahora sabemos que el problema o, más bien, sus conclusiones obedecían más a su lógica personal que a sus observaciones; ninguno de los *Mariner* ni tampoco otras recientes observaciones de Marte han demostrado la existencia de tales canales lowellianos.

En la última década del pasado siglo, Lowell sugirió que Marte no debía tener montañas, porque éstas serían un grave obstáculo para la construcción de canales. Pero seguramente una raza que podía construir tan enorme red de canales también podría suprimir o evitar una montaña mal situada.

Sin embargo, Lowell se hallaba entre los primeros astrónomos en aplicar auténticas pruebas de observación al problema de la existencia de montañas en Marte. Miró más allá del límite de iluminación. Este límite de iluminación es la línea –aguda o, más bien, algodonosa, dependiendo siempre de la ausencia o presencia de una atmósfera planetaria– que separa el día de la parte nocturna de un planeta. El límite de iluminación se mueve alrededor del planeta una vez al día –el día planetario local–, pero si hay montañas en el lado oscuro del límite de iluminación, las montañas recibirán los rayos del Sol poniente cuando sus valles adyacentes estén sumidos en la obscuridad. Galileo empleó primero esta técnica para descubrir lo que él llamó las montañas de la Luna, aunque las montañas lunares son principalmente enormes fragmentos de piedra que cayeron del cielo en las fases finales de la formación de la Luna más que montañas del tipo terrestre, que, como ya hemos dicho, se produjeron debido a una actividad geológica interior.

Lowell y sus colaboradores hallaron casos de brillantes proyecciones más allá del límite de iluminación, producidas por los rayos del Sol poniente. Pero cuando calcularon sus altitudes –tarea fácil para cualquier experto en geometría a nivel de segunda enseñanza– se encontraron con que tales montañas medían decenas, muchas decenas de miles de metros de altura. Tales elevaciones en Marte le parecieron absurdas a causa de su teoría de los canales. Además, al día siguiente – el día en Marte tiene exactamente igual duración que en la Tierra– cuando tal característica se observó nuevamente, su posición había cambiado. Este proceder o comportamiento es muy característico en montañas de cualquier origen, y Lowell llegó a la correcta conclusión de que había visto tormentas de polvo durante las cuales las finas partículas de la superficie marciana habían ascendido a muchísimos miles de metros en la atmósfera de Marte.

Tales tormentas de polvo también se observan cuando contemplamos a través del telescopio la parte iluminada de Marte. Algunas veces vemos que la configuración característica de marcas brillantes y oscuras en el planeta se oscurece temporalmente. Hay una intrusión de materia brillante en la zona oscura seguida de una reaparición de la antigua configuración. Estos cambios se interpretaron en la época de Lowell como tormentas de polvo que estallaban en las zonas iluminadas, oscureciendo todavía más las ya oscuras áreas adyacentes. La interpretación actual, basada en las detalladas observaciones de largo alcance del *Mariner 9*, confirman este punto de vista (véase el Capítulo 19).

Lowell y sus contemporáneos denominaron a las áreas brillantes «desiertos», y esto también parece ser exacto. Los lowelianos se preocuparon por el problema de si tales zonas brillantes o iluminadas tendían a estar más altas o más bajas que las zonas oscuras, aunque se esperaba que la diferencia de esta elevación fuese extremadamente pequeña. Una zona oscura vista en el limbo iluminado o borde del planeta parecía ser una muesca o depresión; pero esto podía entenderse simplemente en términos de la oscuridad de la zona oscura: si estuviese oscura contra un cielo oscuro no la veríamos en absoluto. Podríamos obtener la impresión errónea de que se trataba de una muesca o depresión. La opinión predominante entre los astrónomos parece haber sido que las zonas oscuras estaban ligeramente más bajas que las brillantes o iluminadas, pero esta diferencia fue calculada por Lowell como de sólo un kilómetro o menos. En 1966 volví a examinar este problema con el doctor James Pollack. Recurrimos a dos principales argumentos. Marte tiene en su hemisferio de invierno un gran casquete polar que, de vez en cuando, se ha atribuido a la presencia de agua congelada o anhídrido carbónico helado. Incluso en la actualidad se ignora su composición. Probablemente se hallen presentes ambas sustancias. Cuando el casquete polar se retira en cada hemisferio una vez al año, hay regiones donde queda hielo atrás. Más tarde, cuando el hielo abandona estas zonas, resultan mucho más brillantes que sus alrededores. Por analogía con la Tierra, podríamos suponer que sean zonas montañosas que permanecen heladas cuando se han fundido o evaporado las nieves de los valles. Y, desde luego, una región polar marciana –las llamadas montañas de Mitchell– se ha identificado como montañosa sólo mediante este razonamiento.

Pero, ¿Por qué las montañas terrestres son los últimos lugares que quedan libres de nieve? Porque a medida que ascendemos hace más frío, como saben todos los montañeros. Pero, ¿por qué la temperatura se va haciendo cada vez más fría a

medida que ascendemos? ¿Acaso pueden aplicarse a Marte estos razonamientos que en la Tierra hacen que las cimas de las montañas sean más frías que sus bases?

Llegamos a la conclusión de que todos los sectores que en la Tierra hacen que el frío sea más intenso a medida que ascendemos, no se podían aplicar a Marte en modo alguno, principalmente porque en Marte la atmósfera está muy enrarecida. Pero los vientos, en Marte, deben ser más fuertes en las cimas de las montañas que en los valles, al igual que en la Tierra. Ésta no es una conclusión por analogía, sino que se basa en la física idónea. Por tanto, imaginemos que los fuertes vientos barren la nieve en las cimas de las montañas marcianas y que las zonas brillantes que retienen el hielo, en Marte, son o están, por consiguiente más bajas.

Nuestra segunda línea de ataque se basó en las observaciones de Marte hechas por radar, las cuales se iniciaron a mediados de 1960. Había una prueba que inmediatamente nos llamó la atención. Cuando la pequeña parte central de la señal del radar se situaba directamente sobre una zona oscura de Marte, únicamente regresaba a la Tierra una fracción muy pequeña de la señal del radar. Pero cuando una zona brillante y adyacente, a un lado u otro de esta región oscura, se situaba bajo el centro de la señal del radar, el reflejo era mucho más fuerte. Esto podía entenderse si la zona oscura era mucho más alta o mucho más baja que la zona brillante adyacente. A juzgar por esta preliminar prueba de radar, concluimos que ya se tratara de una u otra de estas dos alternativas, las zonas oscuras tenían que hallarse sistemáticamente altas en Marte. Llegamos a la conclusión de que existían en Marte grandes diferencias de elevaciones, en algunos casos hasta 18 km entre zonas oscuras y brillantes. Las laderas sólo mostraban unos pocos grados de inclinación, y tanto las diferencias de elevación como las laderas se podían comparar con las de la Tierra, aunque las elevaciones parecían ser mayores que aquí. La noción de que los desiertos generalmente eran tierras bajas pareció ser compatible con la noción de que en los valles bajos la fina arena y el polvo se acumulaban, mientras que en las cimas de las montañas –donde los vientos eran más fuertes– no había ninguna partícula pequeña, brillante, o fina.

En los pocos años que siguieron a nuestro análisis, se hicieron estudios de radar más detallados, principalmente por un grupo de científicos en el Haystack Observatory, del Instituto de Tecnología de Massachusetts, dirigido por el profesor Gordon Pettengill. Por primera vez fue posible realizar medidas de altitud mediante radar directo. En lugar de emplear nuestros argumentos indirectos, la tecnología había alcanzado ya un punto en el cual era posible medir cuánto tardaba la señal de radar en llegar a Marte y regresar aquí. Aquellos lugares de Marte desde donde la señal de radar tardaba más en regresar se hallaban más lejos de nosotros, y, por tanto, más profundos. Aquellas regiones de Marte desde donde la señal de radar tardaba menos en regresar se hallaban más cerca de nosotros, y, por tanto, más elevadas. De esta manera se construyeron los primeros mapas topográficos de algunas regiones seleccionadas de Marte. Las máximas diferencias de elevación y las pendientes eran, aproximadamente, las que habíamos calculado nosotros con medios mucho más indirectos.

Pero las zonas oscuras no parecían ser sistemáticamente más altas que las iluminadas. Pettengill y sus colegas descubrieron que una región brillante de Marte

llamada Tharsis era muy alta, probablemente la región más alta localizada en el planeta. Una zona circular y brillante, marciana, llamada Helas, que en griego significa "Grecia", resultó que era muy baja a juzgar por las observaciones llevadas a cabo con posterioridad, sin radar. Sin embargo, otro lugar parecido, llamado Elysium, también grande y brillante, se descubrió que era alto. La zona marciana más oscura, Syrtis Major, resultó ser una pendiente escalonada.

¿Por qué Pollack y yo teníamos razón sólo parcialmente? Debido al llamado Occam's Razor, principio usado con frecuencia en el terreno de la ciencia, pero que no es infalible. El Occam's Razor recomienda que, cuando uno se enfrenta a dos hipótesis igualmente buenas, debemos elegir la más sencilla. Habíamos supuesto que las zonas oscuras eran, bien sistemáticamente altas o sistemáticamente bajas. Si éste fuera el caso, las zonas oscuras tenían que ser necesariamente altas. Pero éste no es el caso; las zonas oscuras pueden ser o altas o bajas. Nuestras conclusiones tan sólo reflejaron nuestras suposiciones.

Pero me siento muy complacido de que hayamos podido, mediante la lógica y la física, alcanzar parte de la verdad y demostrar que hay enormes diferencias de elevación en Marte, elevaciones muchísimo más grandes de lo que sospechó Lowell. Encuentro más difícil, pero más divertido, obtener la respuesta correcta mediante razonamiento indirecto y antes de que todas las pruebas estén en el bolsillo. Es lo que hace un teórico en la ciencia. Pero las conclusiones a que se llegan de esta forma son, evidentemente, más arriesgadas que las que se obtienen a través de una medida directa, hasta el punto de que la mayoría de los científicos se reservan sus juicios o criterios hasta que disponen de pruebas más directas y más seguras. La principal función de semejante tarea detectivesca –aparte de entretener al teórico– es, quizás, encolerizar y molestar a los «observadores», para que así se vean obligados, en plena furia de incredulidad, a poner en práctica medidas críticas.

17. Las montañas de Marte - 2. Observaciones desde el espacio



Mosaico de cuatro fotografías, tomadas desde el *Mariner 9*, del mayor volcán conocido en el Sistema Solar, el Nix Olímpica, visto verticalmente desde arriba. Cortesía de la NASA.

El épico vuelo del *Mariner 9* a Marte, en 1971, dio lugar a un nuevo conjunto de medidas directas y definitivas relacionadas con las montañas y elevaciones de Marte. Se han confeccionado algunos mapas de los terrenos elevados de Marte, mapas moderadamente completos, como resultado de los experimentos llevados a cabo por el *Mariner 9* con su espectrómetro ultravioleta, espectrómetro infrarrojo y otros instrumentos de enorme precisión. Pero la información más sorprendente acerca de las montañas de Marte se debe al experimento de la televisión.

Las primeras fotografías que el *Mariner 9* envió de Marte, obtenidas incluso antes de la inserción orbital el 14 de noviembre de 1971, mostraban un planeta casi sin rasgos característicos. Apenas se distinguía el casquete polar sur, pero las marcas oscuras y brillantes que se habían visto y debatido durante un siglo no se observaban por parte alguna. Esto no era un fallo de la cámara de televisión, sino más bien el resultado de una espectacular tormenta de polvo en todo el planeta, que se había iniciado a fines de septiembre y no cesaría hasta principios de enero.

Las primeras fotos preorbitales y los primeros días de fotografías orbitales tampoco mostraron significativos detalles excepto en la región de Tharsis. Aquí, había cuatro lugares oscuros y un tanto irregulares, tres de ellos situados en línea casi recta y extendiéndose desde el Nordeste al Sudoeste; el cuarto estaba alejado de ellos y hacia el Oeste. Por otra parte, como no había en el planeta nada más visible, dediqué alguna atención a estos lugares en las primeras fases de la misión, tanta atención que durante cierto tiempo fueron conocidos con el nombre de «Carl's Marks» por varios de mis ingeniosos compañeros de investigación. A mi vez, propuse llamarles Harpo, Groucho, Chico y Zeppo, pero todo esto ocurrió antes de que se estableciese su significado.

El lugar que aparecía aislado correspondía por su posición con la clásica característica marciana llamada Nix Olympica, en recuerdo de las Nieves del Olimpo, morada de los dioses. Los otros tres lugares no parecían corresponder a ningún rasgo característico o más familiar de la superficie de Marte. Pero Bradford Smith, astrónomo de la Universidad del Estado de Nuevo México, señaló que correspondían (como Nix Olympica) a lugares en Marte que muestran iluminación local a mediodía observados desde la Tierra. En algunas de las fotografías telescópicas de Smith, obtenidas con un filtro violeta azul y cuando no había tormentas de polvo en Marte, estos cuatro lugares aparecían como lugares blancos muy brillantes, aun cuando el contraste entre las zonas normalmente brillantes y oscuras era muy pequeño y las marcas corrientes de Marte no se distinguían (situación usual cuando se ve a Marte bajo luz violeta o azul en lugar de roja o anaranjada). ¿Acaso estaríamos observando alguna especie de nubes oscuras en medio de una tormenta de polvo, en lugares donde se encontraban normalmente nubes brillantes?

Otro experimentador, William Hartmann, de Science Applications, Inc., Tucson, Arizona, trabajó con una computadora ampliando y contrastando las fotografías originales de los cuatro lugares y encontró débiles indicios de regiones circulares centrales, en por lo menos dos de ellas. Por supuesto, las fotografías tomadas por los *Mariner 6* y *7* de Nix Olympica, en 1969, mostraban indicios similares.

Por entonces, la extensión y gravedad de la tormenta de polvo se había hecho más que evidente y, en consecuencia, hubo que demorar nuestra proyectada misión de trazar el mapa del planeta mediante la ayuda del *Mariner 9*. La nave espacial demostró poseer enorme capacidad para tomar fotografías e incluso primeros planos de los cuatro lugares en cuestión. Estos experimentos fueron posibles porque el *Mariner 9* poseía, a la vez, formidable capacidad de adaptación. La plataforma sobre la cual iban las cámaras podía orientarse hacia cualquier punto que se deseara en Marte, y el personal técnico del Jet Propulsion Laboratory del Instituto de Tecnología de California pudo cambiar sus planes con la suficiente rapidez para ajustarse a las

nuevas necesidades científicas de la misión. Debido al diseño del artilugio espacial y a la adaptabilidad de sus controladores, comenzaron a llegar los primeros planos de los cuatro lugares.

Cada uno de ellos tenía un centro vagamente circular. Había segmentos paralelos y arqueados. Asimismo había una especie de concha. Todas estas características aparecían un tanto oscuras destacándose contra unos brillantes alrededores, correspondiendo a la apariencia oscura de los lugares vistos al principio en baja resolución.

Las formas particulares que habíamos visto en las primeras fotografías carecían de significado para mí. Pero me sentí muy sorprendido por el hecho de que estos rasgos circulares se daban en Tharsis, la región más alta de Marte. Estos rasgos eran cráteres. ¿Por qué les veíamos y virtualmente no observábamos otros rasgos o características marcianas? Porque deben ser las regiones más altas de Tharsis, zona ya enormemente elevada. Los cuatro lugares, por tanto, me parecieron grandes montañas que asomaban a través del polvo. Entonces propuse que, a medida que fuera pasando el tiempo y se calmasen las tormentas de polvo (debido a la experiencia con otras tormentas globales en Marte, experiencia con décadas de observación, sabíamos que las tormentas de polvo se irían calmando gradualmente), observásemos con más atención estas montañas, incluso hasta sus bases. Por otra parte, llegué a pensar en que podríamos trazar mapas topográficos de las mismas cuando el polvo se asentara. Por desgracia, vimos que el asentamiento del polvo era operación muy irregular y esta sugerencia no dio ningún fruto.

Los geólogos, miembros del equipo de televisión del *Mariner 9*, como Harold Masursky y John McCauley, de la U. S. Geological Survey, se encariñaron inmediatamente de la *forma* de los cráteres y muy pronto les identificaron –por analogía con características similares de la Tierra– como grandes amontonamientos volcánicos con calderas en la cumbre. Yo siempre he desconfiado de argumentos o alegatos basados en analogías terrestres. Después de todo, Marte es otro lugar. En cuanto a lo que sabíamos –o, al menos, en cuanto a lo que yo sabía–, creíamos que allí podían darse procesos geológicos muy diferentes, y que las características similares a las de la Tierra podían producirse por muy diversas causas.

Sin embargo, y siguiendo una ruta diferente, llegué a la misma conclusión que los geólogos: sólo conocemos dos procesos capaces de producir cráteres: el impacto de restos interplanetarios (origen, por ejemplo, de la mayor parte de los cráteres de la Luna) y el vulcanismo. Sería mucho pedir esperar que los grandes meteoritos o pequeños asteroides que «cavaron», por así decirlo, cuatro de los mayores cráteres de impacto en Tharsis fueran lo suficientemente «inteligentes» como para caer sobre la cima de las cuatro montañas más altas de Tharsis. Mucho más plausible es la idea de que el mecanismo que hizo la montaña hizo también el cráter. El mecanismo se llama vulcanismo.

A medida que la tormenta de polvo fue amainando, se hizo mucho más clara la auténtica magnitud de estas cuatro montañas volcánicas. La más grande de ellas, la Nix Olympica, mide 400 km de un lado a otro, mayor que cualquiera de características similares de la Tierra, como, por ejemplo, las islas Hawai. No se han determinado aún las alturas de los lugares en cuestión, pero parecen tener entre 9.000 y 18.000 m sobre el nivel del planeta. (No podemos hablar de nivel del mar en

Marte, porque no hay –al menos por ahora– ningún mar allí.) Desde entonces se han descubierto una docena más de volcanes en otras regiones de Marte.

El radiómetro infrarrojo del *Mariner 9* no mostró señales de la presencia de lava caliente en las calderas de los cráteres. Por otra parte, su aspecto fresco y la casi total ausencia de cráteres producidos por meteoritos en sus laderas demostraban ser objetos muy jóvenes, geológicamente hablando, quizá no tendrían más de unos cuantos centenares de millones de años o acaso un poco más jóvenes.

La asociación de nubes con estas montañas volcánicas podía deberse a una salida contemporánea de gases de las calderas, vapor, por ejemplo, expulsado por las «troneras» volcánicas. Pero parece más probable que las nubes se encuentren sobre la cima de estas montañas, precisamente porque estas montañas son tan altas. Una imaginaria parcela de aire marciano que ascienda por la ladera de la montaña se extiende y enfría. (El aire se enfría cuando ascendemos en la atmósfera marciana. Pero, como el aire está tan enrarecido en Marte, no puede cambiar bien el calor con la superficie; así la superficie no se enfría cuando ascendemos por una montaña en Marte, como ya hemos dicho anteriormente.) Cuando la temperatura en la zona de aire desciende por debajo del punto de congelación del agua, todo el vapor de agua contenido en ella se condensa formando cristales de hielo. La cantidad de vapor de agua que sabemos existe en la atmósfera marciana, las alturas de las montañas y la cantidad de pequeños cristales de hielo necesarios para producir una nube visible, parecen unirse y formar un conjunto que explique de forma racional las nubes que hay sobre las montañas de Marte.

El reciente vulcanismo de Marte implica salida de gases, sean o no señales de tal fenómeno las nubes que vemos en la cima de estos volcanes. Cuando la lava caliente fluye a la superficie, lleva consigo una importante cantidad de gas, en la Tierra, principalmente agua, pero acompañada de otra importante cantidad de diversos materiales. Así, los volcanes que vemos en Marte han debido contribuir, en gran medida, a la formación de la atmósfera marciana. En parte, al menos, el aire ha salido por estos orificios al exterior. Como Marte es hoy tan frío, el agua puede estar como atrapada de muchas formas, como, por ejemplo, en forma de hielo, y no abundar en la atmósfera. Es probable que estos volcanes hayan producido mucho más gas que el que vemos hoy día en la atmósfera marciana. Si hay vida en Marte, seguramente debe basarse en el cambio de material con la atmósfera, igual que en la Tierra, donde predomina el ciclo de fotosíntesis de las plantas y la respiración animal. Si hay vida en Marte, estos volcanes pueden, al menos indirectamente, haber desempeñado un importante papel en su actual desarrollo.

Cuando la tormenta de polvo amainó, se situó al *Mariner 9* en una órbita más alta para facilitar el trazado de los mapas geológicos. La nave espacial trabajó muchísimo más de lo que esperaban sus diseñadores. Los mapas geológicos así acabados revelan una enorme formación de cordilleras longitudinales que rodean la Meseta de Tharsis, como si una tercera o cuarta parte de toda la superficie de Marte se hubiera quebrado durante algún colosal fenómeno geológico reciente que alzó a Tharsis. La más espectacular de estas características, casi longitudinales, es un enorme valle que en forma de quebrada se halla en una región llamada Coprates. Es casi tan largo como la mayor quebrada de la Tierra, la situada en el Este de África y que recorre toda la costa africana hasta el mar Muerto. Como Marte es un planeta

más pequeño, la quebrada de Coprates (que algunos llaman valle de Coprates) es, hablando comparativamente, un rasgo muchísimo más impresionante.

La quebrada del África Oriental se da porque los fondos marinos se expanden y por la llamada deriva continental. Los continentes africano y asiático están apartándose lentamente uno de otro, y el vacío o grieta que dejan es dicha quebrada. Pero la deriva continental se cree que obedece a la lenta circulación de material en el manto de la Tierra. Entonces, ¿hemos de creer que Marte, a pesar de su tamaño más pequeño y temperaturas internas más bajas, también sufre difusión de calor y deriva continental? ¿O es posible que diferentes procesos provoquen características similares en los dos planetas?

Sea cual fuere la respuesta, no nos queda más que seguir aprendiendo cosas relacionadas con la antigua ciencia terrestre de la geología, con sus disciplinas prácticas futuras tales como la predicción y el control de los terremotos, examinando y estudiando la geología de nuestro vecino planeta Marte.

18. Los canales de Marte



Un sinuoso canal de Marte, probablemente trazado por un antiguo río. Cortesía de la NASA.

En 1877 (como en 1971) el planeta Marte se hallaba a una distancia de la Tierra de 99 millones de kilómetros * . Los astrónomos europeos con telescopios recientemente perfeccionados se preparaban para lo que era entonces la más cuidadosa observación de nuestro vecino planeta hecha por el hombre. Uno de ellos era Giovanni Schiaparelli, italiano de Milán y pariente del actual modista y perfumista.

* _ Marte gira alrededor del Sol a una distancia media de 228 millones de kilómetros, pero, debido a la notable excentricidad de su órbita (0,09), su distancia varía de 207 millones de kilómetros en el perihelio a 250 millones de kilómetros en el afelio; por esta razón, en la oposición la distancia Tierra-Marte varía considerablemente desde los 56 millones de kilómetros hasta cuando la oposición es menos favorable, 99 millones de kilómetros. N. del T..

En general, la vista o espectáculo que ofrecía Marte a través de aquellos telescopios era borrosa e interrumpida por la variable turbulencia de la atmósfera terrestre que los astrónomos llaman «visión» [*seeing*]. Pero había momentos en los que la atmósfera de la Tierra se aclaraba y parecía observarse con más detalle el disco de Marte. Schiaparelli quedó atónito al ver una red de líneas finas y rectas que cubrían el disco del planeta. Llamó a estas líneas *canali*, que en italiano significa «canales» [channels]. Sin embargo, *canali* se tradujo al inglés como [canals], palabra que implicaba clara imputación de diseño.

Las observaciones de Schiaparelli fueron a parar a manos de Percival Lowell, diplomático destinado en Chosen, la actual Corea. Hermano del rector de la Universidad de Harvard y de un personaje aún más famoso, la poetisa Amy Lowell (quien también era famosa por fumar pequeños cigarros puros), Lowell fundó en Flagstaff un observatorio privado para estudiar al planeta Marte. Vio los mismos *canali* que había observado Schiaparelli. Amplió su descripción y elaboró una explicación.

Lowell llegó a la conclusión de que Marte era un planeta o mundo moribundo, en el que había existido vida adaptada a los peligros del planeta en cuestión. El principal de estos peligros era la escasez de agua. Lowell imaginaba que la civilización marciana había construido una extensa red de canales para transportar agua desde los casquetes polares hasta los lugares habitados en zonas más ecuatoriales. El punto más sólido del razonamiento se basaba en la rectitud de los canales, algunos de ellos describiendo grandes círculos durante miles de kilómetros. Lowell pensaba que tales configuraciones geométricas no se podían producir por procesos geológicos. Las líneas eran demasiado rectas. Únicamente podían ser obra de la inteligencia.

Ésta es una conclusión con la cual todos podemos estar de acuerdo. La diferencia está en cuál de los dos lados del telescopio estaba la inteligencia. Lowell creía que aquellas líneas eran auténticos canales de irrigación contruidos por los habitantes de Marte para combatir la escasez de agua. Muchos de los astrónomos más famosos que observaron Marte entre finales del siglo y el amanecer de la era espacial hallaron que, aun cuando podían ver los canales en buenas condiciones visuales, sin ser excelentes, en algunos raros momentos de perfecta visibilidad

podían también resolver las líneas rectas en una multitud de manchas y detalle irregular.

Entonces se descubrió que por lo menos la mayor parte de los casquetes polares eran dióxido de carbono sólido y no agua helada. La presión atmosférica era mucho menor que en la Tierra. Se halló imposible la existencia de agua líquida. Se descartó la idea de que hubiese formas de vida y canales en Marte. Y sin embargo...

Cuando en 1971 amainó la tormenta de polvo, el *Mariner 9* comenzó a fotografiar una región llamada Coprates por los observadores clásicos. Coprates era uno de los grandes *canali* descubiertos por Lowell, Schiaparelli y sus seguidores. Hacia el final de la tormenta de polvo, Coprates resultó ser un enorme barranco, más que un valle, que se extendía a lo largo de 5.000 km de Este a Oeste cerca del ecuador marciano. En algunos puntos medía 40 km de anchura y 1.800 m de profundidad. No era perfectamente recto; por supuesto, no se trataba de ninguna obra de ingeniería, pero era una vasta garganta mucho más grande que cualquier similar de la Tierra.



El gran Valle de Coprates. Cortesía de la NASA.

Y como partiendo de Coprates había rasgos que sin duda alguna eran muy curiosos, sinuosos canales que parecían serpentear a través de las tierras altas sobre la quebrada de Coprates y de los que a su vez partían bonitos afluentes. Si tales

canales se hubieran visto en la Tierra, sin duda alguna se hubiesen atribuido a corrientes de agua. Pero en Marte las presiones en la superficie son tan bajas que el agua líquida se evaporaría instantáneamente, del mismo modo que, al ser las presiones de la Tierra tan bajas, el anhídrido carbónico se evapora inmediatamente. En la Tierra tenemos anhídrido carbónico sólido y anhídrido carbónico gaseoso, pero no anhídrido carbónico líquido. En Marte, esta ausencia de la fase líquida es tan cierta como la carencia de agua.

Pero a medida que el *Mariner 9* continuó realizando su misión fotográfica se descubrieron muchos más canales. Canales con sistemas tributarios de segundo y tercer orden, canales sin un cráter en su inicio o final, canales con una especie de islas en su parte central y canales con final trenzado, como los abiertos en la Tierra mediante inundaciones de tipo regular.

Existen ya muy pocas dudas de que la mayor parte de los canales más largos (algunos miden centenares de kilómetros de longitud) y muchísimos otros más pequeños fueron abiertos por agua corriente. Pero como en la actualidad no puede haber en Marte agua líquida, tales canales debieron haber sido trazados en una época anterior de la historia marciana, cuando las presiones totales eran más elevadas, las temperaturas más altas y también mayor la disponibilidad de agua.

Los canales revelados por el *Mariner 9* hablan por sí mismos y de manera elocuente de la posibilidad de formidables cambios climáticos en Marte. Desde este punto de vista. Marte se encuentra hoy a mitad de una era de hielo, pero en el pasado –nadie sabe cuándo– disfrutó de condiciones mucho más benignas y más parecidas a las de la Tierra. Las razones de tales cambios climáticos se debaten aún hoy día acaloradamente. Antes del lanzamiento del *Mariner 9* sugerí que tales cambios climáticos conducentes a episodios de agua líquida podrían ocurrir en Marte. Podrían ser impulsados por la precesión de los equinoccios, movimiento bien conocido, análogo a la precesión lenta y derivada de una cúspide que gira rápidamente. Los períodos anteriores en Marte se aproximan a los cincuenta mil años. Si ahora estamos en un invierno precesional, con extenso casquete polar en el Norte, hace veinticinco mil años puede haberse dado el invierno precesional con extenso casquete polar en el Sur.

Pero hace doce mil años es probable que haya sido la época de primavera y verano precesionales. La atmósfera densa de aquella época se halla ahora como encerrada en los casquetes polares. Hace doce mil años quizá reinaran en Marte temperaturas deliciosas, noches suaves y el sonido del agua deslizándose por innumerables riachuelos para unirse a caudalosos ríos. Algunos de estos ríos probablemente desembocaron en la gran quebrada de Coprates.

De ser así, hace doce mil años quizás hubo una vida en Marte muy similar a la de la Tierra. Si yo fuese un organismo en Marte, limitaría mis actividades a los veranos precesionales y cerraría la tienda en los inviernos precesionales, como lo hacen muchos organismos en la Tierra durante nuestros inviernos mucho más cortos. Yo haría esporas; haría formas vegetativas; me sumiría en reposo criptobiostático; invernaría, vegetaría, hasta que hubiese terminado el largo invierno. Si esto es realmente lo que hacen los organismos marcianos, puede que estemos llegando a Marte con una anticipación de doce mil años, ¡o demasiado tarde!

Pero hay una manera de intentar probar estas ideas. Una de las formas en que los hipotéticos organismos marcianos sabrían que ha llegado la primavera precesional es por la reaparición del agua líquida. Por tanto, como Linda Sagan ha mencionado, la receta para poder detectar vida en Marte es «añadir agua». Y esto es justamente lo que harán los experimentos biológicos del *Viking* de los Estados Unidos, programado para aterrizar en Marte, en busca de microbios. Un brazo automático dejará caer dos pequeñas muestras del suelo marciano en agua líquida. Una tercera muestra se insertará en una cámara sin ningún agua líquida. Si los dos primeros experimentos dan resultados biológicos positivos y el tercer experimento no, entonces habrá que apoyar esta idea de que los organismos marcianos están esperando a que termine el largo invierno.

Pero es perfectamente posible que los diseños de estos experimentos hayan sido demasiado chauvinistas en el aspecto terrenal. Pueden existir organismos marcianos que disfruten con el actual medio ambiente y se “ahoguen” en agua líquida. La idea de unos organismos marcianos con el aspecto de bellas durmientes, esperando algo así como un beso húmedo del *Viking*, es probablemente una idea absurda o excesivamente fantástica, pero no se puede negar que sea fascinante.

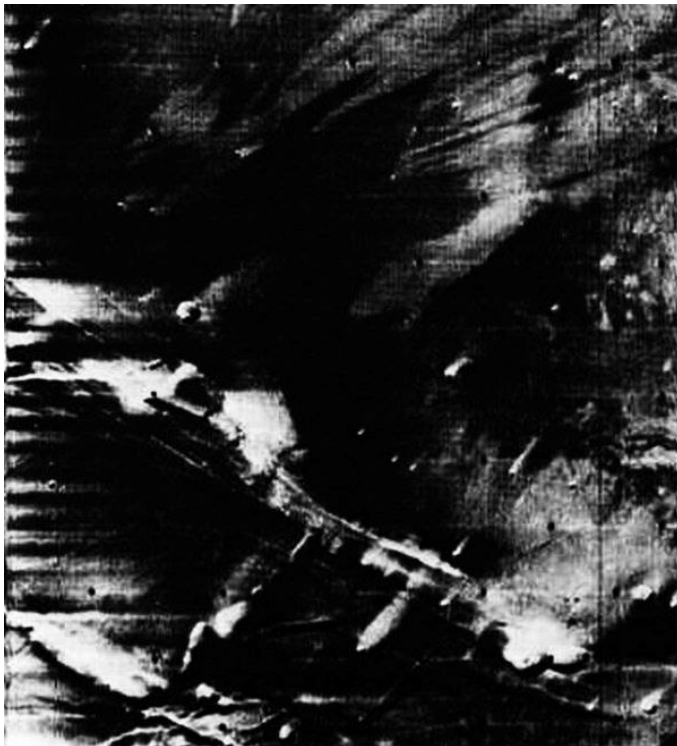
No todos los canales corresponden a las posiciones de los clásicos *canali* dibujados por Lowell y Schiaparelli. Algunos, como Ceraunius, parecen ser cadenas montañosas. Otros se presentan demasiado borrosos como para dictaminar lo que puedan ser. Pero hay alguno como Coprates, que son enormes quebradas abiertas en el suelo de Marte. *Hay* canales en Marte. Puede que su origen sea muy diferente al imaginado por Lowell o es posible que no guarden relación alguna con la biología marciana.

Los canales de Lowell no existen, pero los *canali* de Schiaparelli ahí están. Más o menos, se pueden ver. Es probable que en el futuro, cualquier día, se llenen los canales de agua una vez más, e incluso se llenen de gondoleros del planeta Tierra.

19. Las fotografías perdidas de Marte

El *Mariner 9*, en su misión a Marte, envió a la Tierra 7.232 fotografías que revolucionaron nuestros conocimientos del planeta. Muchos centenares de estas fotos se dedicaron al estudio de características variables y a los cambios de tiempo en las configuraciones relativas de marcas oscuras y brillantes en la superficie del planeta que ahora se sabe son provocadas por el polvo arrastrado por el viento. Encontramos miles de líneas oscuras y brillantes, que se iniciaban en los llamados cráteres por impacto y luego se extendían a lo largo de decenas de kilómetros sobre la superficie marciana. Todas señalaban hacia la dirección de los vientos predominantes. Creemos que son producidas por fuertes vientos, que levantan polvo de los cráteres y después lo depositan sobre la superficie más allá de los terraplenes de tales cráteres. Estas líneas son como indicadores naturales de la dirección del viento y, quizás, anemómetros situados en la superficie marciana para nuestra edificación y delicia. Hemos descubierto retazos o manchas oscuras e irregulares en el interior de los cráteres que tienden a formarse en las paredes de sotavento de los cráteres. Así, las manchas y las líneas se convierten en indicadores de la dirección de los vientos. Algunas de las manchas demostraron ser, de acuerdo con el *Mariner 9*, enormes campos de dunas de arena paralelas.

A continuación tres fotografías tomadas por el *Mariner 9* que muestran los efectos de los fuertes vientos cerca de la superficie marciana:



Franjas de viento que radian desde los cráteres de impacto. Cada franja es una delgada capa de polvo soplado por el viento. Cortesía de la NASA.



Arriba: Manchas en el interior de los cráteres. Abajo: Análisis de una de las manchas mostradas arriba. Cortesía de la NASA.

Hemos descubierto muchos casos de líneas oscuras y manchas que varían notablemente en extensión y trazado. Las posiciones y variantes de estas características oscuras se corresponden perfectamente con las clásicas marcas oscuras de Marte, observadas por los astrónomos durante más de un siglo, manchas que entonces se atribuían, por su variación, a cambios en la vegetación del planeta debidos a las estaciones.

Pero nuestro *Mariner 9*, sin duda alguna, ha demostrado que tales cambios y variaciones tienen un origen más meteorológico que biológico.

Esto, por supuesto, no excluye la vida en Marte. Simplemente significa que, si hay vida en Marte, no es fácil descubrirla a distancias interplanetarias. Lo mismo se puede asegurar en el caso opuesto. La evidencia fotográfica de vida en la Tierra durante el día desde Marte es imposible, como así lo hemos comprobado estudiando varios miles de fotografías orbitales de nuestro propio planeta. Pero las manchas y líneas que tanto varían en la superficie marciana son un nuevo fenómeno realmente emocionante que exige un estudio mucho más amplio.

Como los cambios marcianos se dan muy lentamente, es preciso que transcurran largos intervalos de tiempo entre dos fotografías de la misma región, con objeto de ver qué cambios se han operado durante ese tiempo. Al final de la misión las cámaras del *Mariner 9* habían tomado, con pleno éxito, quince fotografías de regiones, en Syrtis y Tarsis, fotos muy importantes para comprender las variaciones de tan largo plazo. Pero cuando llegó el momento de orientar la antena principal del *Mariner* hacia la Tierra, para poder transmitir estas fotografías mediante la grabadora de la sonda espacial, se había agotado ya el llamado gas de control de posición. La sonda espacial había agotado literalmente su combustible.

Un año antes de que se iniciara la misión del *Mariner 9*, se sugirió la posibilidad de que la sonda espacial se quedase sin gas de control en algún momento. Se propuso entonces una solución: que los depósitos de propulsión se conectaran con el sistema de gas de control, una especie de anastomosis espacial. El exceso de gas de propulsión podría usarse para el control de posición en el caso de que se agotara el nitrógeno de control. Se rechazó esta posibilidad, principalmente a causa del gasto que implicaba. Hubiese costado 30.000 dólares, pero nadie esperaba que el *Mariner 9* durase lo suficiente como para agotar del todo su gas de control de posición. Su vida oficial era de noventa días, pero duró casi todo un año. Los ingenieros se habían mostrado demasiado conservadores al valorar su magnífico producto. Mirando hacia atrás, el problema parece presentarse como de una falsa economía. Con un adecuado suministro de gas de control de posición, la sonda espacial podría haber durado otro año en órbita alrededor de Marte. Se hubiesen comprado 150 millones de dólares de ciencia por 30.000 dólares de tuberías. Si hubiésemos sabido que la sonda espacial moriría por falta de nitrógeno, estoy casi seguro de que los científicos planetarios que trabajaron en ella habrían reunido como fuera los 30.000 dólares necesarios.

De hecho, hay muchas dificultades de este tipo en el programa espacial, detalles en los que la adición de una pequeña suma de dinero puede aumentar enormemente el beneficio científico de cualquier misión. Pero la NASA, seriamente limitada en lo que concierne a presupuestos por el Congreso, la Casa Blanca y el Departamento de Dirección y Presupuestos, nunca dispone de semejantes cantidades adicionales. Si

fuese posible hallar un generoso donante, no cabe la menor duda de que a tal ayuda sí podría llamársele filantropía privada.

Pero éstas no dejan de ser vanas e inútiles meditaciones. No se llevó a cabo ninguna anastomosis y, en consecuencia, no hubo playback de la grabadora. Allí, en esa grabadora que aún posee el *Mariner 9*, hay quince fotografías vitales del planeta. Jamás llegarán a la Tierra a través del *Mariner 9*. También ha perdido ya fuerza solar. La luz del Sol ya no se puede convertir en electricidad en sus cuatro grandes paneles solares, y no hay forma de reactivarlos. Puede que jamás sepamos cuál era el aspecto de Tharsis y de Syrtis a principios de noviembre de 1972, vistos desde la órbita marciana.

O quizá sí. El *Mariner 9* se halla en una órbita que desciende muy lentamente en la atmósfera marciana. Pero tal descenso es tan lento que la sonda espacial no se estrellará contra Marte por lo menos durante medio siglo. Antes de ese momento, se realizarán vuelos orbitales dirigidos por el hombre alrededor de Marte. Incluso en la actualidad se realizan con toda pulcritud maniobras de acercamiento y acoplamientos espaciales, y así, probablemente por el año 1990, cuando se lleve a cabo una gran exploración humana de Marte habrá una cita espacial con el *Mariner 9*. La vieja y vapuleada sonda espacial pasará a bordo de alguna nave fabulosa y volverá a la Tierra, probablemente para descansar en la Smithsonian Institution. Quizá para impedir que los microorganismos terrestres del *Mariner 9* alcancen Marte, pero acaso también para rescatar y estudiar las quince fotografías perdidas en la misión del *Mariner*.

20. La edad del hielo y la caldera



Extremos del clima en la Tierra. Arriba: Campo de dunas en el Sahara. De *Sahara*, C. Krüger, ed., New York, Putnam, 1969. Abajo: Grietas en el glaciar Vatnajökull, de Islandia. De *The World from above*, por O. Bihalji-Merin, Hill and Wang, New York, 1966.

En nuestro diminuto planeta, girando en una órbita casi circular, a también casi una constante distancia de nuestra estrella, el clima varía algunas veces radicalmente de un lugar a otro. El Sahara es diferente de la Antártida. Los rayos del Sol caen directamente sobre el Sahara y oblicuamente sobre la Antártida, originando gran diferencia de temperatura. El aire caliente se eleva cerca del Ecuador y el aire frío desciende cerca de los polos, dando lugar a la circulación atmosférica. El movimiento de la resultante corriente de aire es desviado por el movimiento de rotación de la Tierra.

Hay agua en la atmósfera, pero cuando se condensa, formando lluvia o nieve, el calor pasa a la atmósfera, cambiando el movimiento del aire.

El terreno cubierto por nieve recién caída refleja más luz solar hacia el espacio que cuando está libre de nieve. El terreno se hace aún más frío.

Cuando en la atmósfera hay más vapor de agua o anhídrido carbónico, se bloquea en mayor medida la emisión infrarroja de la Tierra. La radiación de calor no puede escapar de este invernadero atmosférico y, en consecuencia, se eleva la temperatura de la Tierra.

Hay topografía en la Tierra. Cuando las corrientes de aire se deslizan sobre las montañas o penetran en los valles, cambia la circulación.

En un momento cualquiera y en un diminuto planeta, el tiempo, como todos sabemos, es complejo. El clima, al menos en cierta medida, es imprevisible. En el pasado había fluctuaciones climáticas más violentas. Se extinguieron especies enteras, géneros, clases, y familias de plantas desaparecieron totalmente quizás a causa de estos tremendos cambios climáticos.

Una de las explicaciones más plausibles acerca de la extinción de los dinosaurios es que eran grandes animales con pobres sistemas termorreguladores; eran torpes para construirse madrigueras y, por tanto, incapaces también de acomodarse a una general declinación de la temperatura.

La evolución inicial del hombre está íntimamente relacionada con la aparición de la Tierra tras la vasta glaciación o congelación pleistocénica. Existe todavía una inexplicable conexión entre las inversiones del campo magnético de la Tierra y la extinción de gran número de pequeños animales acuáticos.

La razón de estos cambios climáticos todavía es objeto de acaloradas controversias. Puede ser que la cantidad de luz y calor que emite el Sol sea variable a nivel de decenas de miles de años o quizá más. Puede ser que el cambio climático se deba al cambio muy lento de la orientación de la inclinación del eje de rotación de la Tierra respecto a su órbita. Es posible que las reacciones químicas hayan reducido la cantidad de anhídrido carbónico y otras moléculas de la atmósfera y así se haya enfriado la Tierra.

De hecho, hay unas cincuenta o sesenta teorías diferentes sobre las edades de hielo y sobre otros importantes cambios climatológicos en la Tierra. Es un problema de interés intelectual muy importante. Pero hay algo más que esto. La comprensión del

cambio climático puede tener profundas consecuencias básicas, porque el hombre está ejerciendo tremenda influencia en el medio ambiente de la Tierra, a menudo en formas que revelan mediocres caminos de pensamiento, malas comprensiones y conveniencias individuales y beneficios económicos a corto plazo, entre los habitantes del planeta.

La polución industrial está introduciendo enormes cantidades de partículas extrañas en la atmósfera, partículas que poco a poco van rodeando al Globo. Las partículas más pequeñas, inyectadas en la estratosfera, tardan años en caer. Estas partículas aumentan el reflejo de la Tierra y disminuyen la cantidad de luz solar que llega a la superficie. Por otra parte, la quema de combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y la gasolina aumentan la cantidad de anhídrido carbónico en la atmósfera de la Tierra que, a causa de su importante absorción infrarroja, puede aumentar la temperatura terrestre.

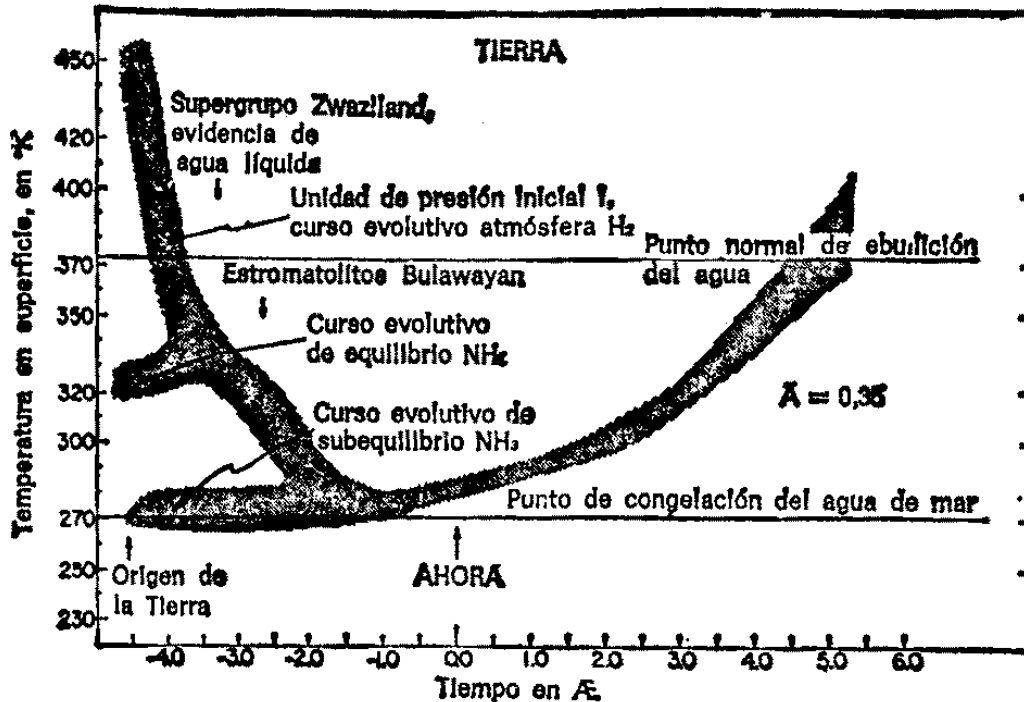
Existe una importante gama de efectos que zarandean, por así decirlo, al clima en direcciones opuestas. Nadie entiende del todo estas interacciones. Aunque parece poco probable que la cantidad de contaminación que se considera admisible pueda provocar un importante cambio climatológico en la Tierra, tampoco podemos estar seguros de tal cosa. Es un tópico que bien merece una investigación a nivel internacional.

La exploración espacial desempeña un interesante papel en la prueba de las teorías del cambio climático. En Marte, por ejemplo, hay inyecciones masivas y periódicas de tenues partículas de polvo en la atmósfera, las cuales tardan semanas y a veces hasta meses en caer. Sabemos, por la experiencia del *Mariner 9*, que la temperatura, estructura y clima de Marte cambian notablemente durante tales tormentas de polvo. Estudiando a Marte, podemos comprender mejor los efectos de la contaminación industrial en la Tierra.

Lo mismo ocurre con Venus. He aquí un planeta que parece haber soportado un efecto invernadero descontrolado. En su atmósfera ha penetrado una cantidad masiva de anhídrido carbónico, ocultando su superficie de tal manera que al espacio escapa muy poca emisión térmica infrarroja. El efecto de invernadero ha calentado la superficie hasta 425° C o más. ¿Cómo se ha dado en Venus este fenómeno? ¿Cómo evitamos que esto ocurra aquí?

El estudio de nuestros planetas vecinos no sólo nos ayuda a generalizar el estudio del nuestro, sino que puede proporcionarnos indicios prácticos y hasta relatos que llevan consigo recomendaciones de precaución que todos hemos de leer, si somos lo suficientemente inteligentes y prudentes para entenderlos.

21. Comienzos y finales de la Tierra



Cursos esquemáticos de la evolución de la temperatura del planeta Tierra a través del tiempo geológico. Los cambios de temperatura se deben a los cambios en la luminosidad del Sol y a la composición de la atmósfera terrestre. Un Ae equivale a mil millones de años. Según cálculos del autor. Cortesía de la Asociación Americana para el Progreso de la Ciencia.

Las estrellas no poseen vida eterna. Pero la vida de una persona se mide en décadas y la de una estrella en miles de millones de años.

Una estrella nace de nubes interestelares de gas y polvo. Durante cierto tiempo, convierte el hidrógeno en helio en los hornos termonucleares de su profundo interior. Después, y en plena vejez estelar, sufre una serie de catástrofes más grandes o más pequeñas, un lento goteo o una inyección explosiva de material estelar en el espacio. Durante el período más o menos estable de vida de la estrella, la región interior caliente, al convertir el hidrógeno en helio, gradualmente va abriendo paso hacia el exterior desde el mismo centro. Con el paso del tiempo, la estrella comienza a hacerse, lenta y casi imperceptiblemente, más brillante.

Después de las llamaradas y otras impetuosidades de su temprana adolescencia, nuestro Sol se calmó para iniciar una radiación, o, mejor dicho, una producción de radiación más o menos constante. Pero hace cuatro mil millones de años era aproximadamente un 30 % más oscuro de lo que es en la actualidad. Si suponemos que hace cuatro mil millones de años la Tierra mostraba la misma distribución de tierras y agua, nubes y hielo polar, de forma que absorbía idéntica cantidad relativa de luz solar que hoy, y si también suponemos que tenía una atmósfera similar, podemos calcular cuál era su temperatura. El cálculo revela una

temperatura para toda la Tierra inferior al punto de congelación del agua del mar. De hecho incluso hace dos mil millones de años, según estas suposiciones, el Sol no habría podido ser lo suficientemente brillante como para mantener a la Tierra por encima del punto de congelación al punto de congelación.

Pero disponemos de gran número de pruebas de que éste no fue el caso. En antiguos depósitos de barro hay marcas en forma de ondas y rizos causadas por agua líquida. Existen grandes concentraciones de lava producidas por volcanes submarinos. Hay enormes depósitos de sedimentación que sólo se pueden producir en las orillas de los océanos. Hay productos biológicos llamados estromatolitos algáceos, que sólo se producen en el agua.

Entonces, ¿qué es lo que está mal? O bien es un error nuestra teoría de la evolución del Sol o nuestra suposición de que la Tierra era como la de hoy día. La teoría de la evolución solar parece ser buena. Las demás inseguridades que prevalecen no afectan a la cuestión de la inicial luminosidad del Sol.

La más probable resolución de esta aparente paradoja es que en la temprana Tierra algo era diferente. Después de haber estudiado un amplio margen de posibilidades, llego a la conclusión de que lo que era diferente hace dos mil millones de años era la presencia de pequeñas cantidades de amoníaco en la atmósfera de la Tierra. En la actualidad, el amoníaco está presente en Júpiter; es la forma de nitrógeno esperado en primitivas condiciones. Absorbe fuertemente en las longitudes de onda infrarrojas que la Tierra emite al espacio. El amoníaco, en la primitiva Tierra, debió de mantener el calor, aumentando la temperatura de la superficie mediante el efecto invernadero y manteniendo la temperatura global de la Tierra a niveles compatibles tanto con el origen y temprana historia de la vida y como con que el agua líquida fuese abundante en las primeras etapas de la historia del planeta. El amoníaco es uno de los elementos atmosféricos necesarios para los cimientos de la vida. El estudio de la evolución del Sol nos lleva a la información de la historia inicial, composición química y temperatura terrestres, y, por tanto, a las circunstancias de su habitabilidad. La evolución estelar y la biológica están relacionadas.

¿Y qué hay acerca de la futura evolución del Sol? El Sol está aumentando su brillo. Dentro de unos cuatro millones de años a partir de ahora, el Sol será lo suficientemente brillante como para que se dé el efecto de invernadero descontrolado sobre la Tierra, como sucede hoy día en Venus. Nuestros océanos hervirán, y el anhídrido carbónico, hoy presente como carbonatas en las rocas sedimentarias, ascenderá a la atmósfera. La Tierra se habrá convertido en una caldera inhabitable.

Es probable que la tecnología de esos remotos tiempos sea la necesaria para prevenir semejante descontrol, pero sin duda será una tarea de ingeniería extremadamente difícil. Sin embargo, cosa curiosa, el mismo incremento en el brillo y calor del Sol dentro de algunos miles de millones de años hará que Marte sea un lugar donde la temperatura, que en la actualidad es de 47° C bajo cero, goce de temperaturas casi exactamente iguales a las de la Tierra en nuestros días.

Cuando la Tierra sea un lugar inhabitable, Marte disfrutará de un clima agradable y delicioso. Nuestros remotos descendientes, si los hubiere, probablemente deseen aprovechar esta circunstancia.

22. Terraformación de los planetas

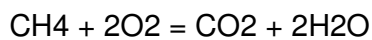


Fotografía compuesta de Marte, tomada por el *Mariner 9*. Se ven grandes volcanes en el fondo y el casquete polar del Norte. La cantidad de anhídrido carbónico y agua congelada atrapada en el casquete polar, si se liberase en la atmósfera, determinaría probablemente condiciones climáticas muy parecidas a las de la Tierra. Cortesía de la NASA.

De una manera sutil y profunda, las actividades de la vida afectan al medio ambiente de nuestro planeta. Nuestra atmósfera se compone de un 20 % de oxígeno y un 80 % de nitrógeno. El oxígeno se produce casi por entero mediante la fotosíntesis, o síntesis de los hidratos de carbono realizada por la clorofila bajo la acción de la luz. En forma similar, los más recientes testimonios sugieren que el nitrógeno es casi por completo un producto de la actividad biológica de microorganismos del suelo que convierten los nitratos y el amoníaco en gas N_2 nitrógeno molecular. Las actividades biológicas no sólo controlan íntimamente los principales elementos de nuestra

atmósfera, sino que también regulan a los elementos menores. En medida muy significativa, el anhídrido carbónico está regulado por el mecanismo fotosíntesis-respiración. Aunque sea un elemento menor de la atmósfera de la Tierra, el metano CH₄ es de origen biológico.

De hecho, la vida en la Tierra, invisible en la fotografía, podría detectarse con un pequeño telescopio y un espectrómetro infrarrojo desde Marte. Los marcianos, si existe alguno, podrían observar fácilmente, en longitud de onda de 3,33 μ en el infrarrojo, una característica de fuerte absorción que el análisis directo revelaría ser debido a 1:1.000.000 de metano en la atmósfera terrestre. No sería difícil deducir que el metano es, quizá, de origen biológico. El metano es químicamente inestable en un ambiente con exceso de oxígeno. Se oxida con suma rapidez a anhídrido carbónico:



La cantidad de metano que se equilibraría con el gran exceso de oxígeno en nuestra atmósfera es inferior a mil millones de millones la cantidad realmente observada. ¿Cómo puede ser esto? El metano se puede producir con tanta rapidez que no hay tiempo suficiente para que el oxígeno reduzca su abundancia hasta una cantidad de equilibrio. Podría ser que existiera una masiva efusión de metano en antiguos campos petrolíferos de la Tierra. Pero tal efusión o escape tendría que ser enorme, esta hipótesis es preciso desecharla. Es mucho más probable que el metano se produzca mediante un proceso de carácter biológico.

Indudablemente, éste es el caso. Parece existir controversia en la literatura ecológica sobre dos posibles orígenes de este metano. Una fuente es la bacteria de metano que vive en pantanos y marjales, de aquí el término de «gas de los pantanos», al referirse al metano. El otro origen de la bacteria de metano es el intestino de los ungulados. Hay otra escuela de pensamiento ecológico que cree que se produce más metano mediante la segunda fuente que mediante la primera. Esto significa que la flatulencia bovina, expulsión de gases intestinales de las vacas, elefantes, renos y alces es detectable a distancias interplanetarias, mientras que el conjunto de las actividades humanas resulta invisible. Por supuesto, no consideraríamos la flatulencia del ganado como manifestación dominante de vida en la Tierra, pero ahí está.

Inadvertidamente, sin que de un modo consciente la Humanidad haya realizado algún esfuerzo para ello, la vida en la Tierra ha modificado el medio ambiente en forma muy notable. A través del efecto de la presión y composición atmosférica en el clima, hay un mecanismo de retroalimentación en el que el mismo clima, puede en algún grado ser controlado por las reacciones de intercambio gaseoso en las que participan las formas de vida en la Tierra. En algún modo la vida sobre la Tierra ha terraformado la propia Tierra. En alguna medida esto ha hecho a la Tierra tal y como es.

¿Es posible que, en algún momento del futuro, pudiésemos llegar a «terraformar» otros planetas, convertir a Marte o a Venus, hoy hostiles al hombre, en medio ambiente propicio y habitable? Tal cambio, de ser posible, debiera realizarse tras un examen cuidadoso y responsable de las consecuencias. Primero tendríamos que entender del todo al actual medio ambiente del planeta antes de alterarlo.

Deberíamos garantizar escrupulosamente que no sean destruidos ninguna clase de organismos indígenas del planeta mediante tal «terraformación». Si Marte, por ejemplo, tiene una población de organismos indígenas que se extinguiría mediante la «terraformación», jamás deberíamos llevar a cabo esta última. Pero si el planeta carece de vida, o si los organismos sobreviven mejor en condiciones parecidas a las nuestras, podría ser razonable, en algún momento del futuro, considerar tal alteración de un medio ambiente planetario.

Deben ser muy caros nuestros motivos para esta, digamos, reforma planetaria. No es una solución a un problema de exceso de población. En la Tierra nacen cada día varios centenares de miles de personas. Y, por supuesto, no hay perspectiva alguna en un inmediato futuro de poder trasladar a centenares de miles de seres humanos a otros planetas cada día. En toda la historia de la Humanidad, el hombre sólo ha podido enviar a otro planeta a una docena de personas. Tampoco es muy probable que llegue a existir en un futuro inmediato una industria minera para extraer mineral en otro planeta y trasladarlo luego a la Tierra: el coste del transporte sería prohibitivo. Aun así, el espíritu humano es expansivo; en el interior de muchos de nosotros alienta el urgente deseo de colonizar nuevos medios ambientes. Tales actividades pueden llevarse a cabo sin imperialismo cósmico, sin la arrogancia que caracterizó a la colonización europea del Nuevo Mundo, o sin la liquidación de los indios que efectuaron los blancos para establecerse en el Oeste americano. La colonización interplanetaria puede ser compatible con las más altas aspiraciones y objetivos de la Humanidad.

¿Cómo lo haríamos? En el caso de Venus, como hemos visto en el capítulo 12, hay una atmósfera aplastante, compuesta principalmente por anhídrido carbónico y una superficie cuya temperatura es cercana a los 500° C. Evidentemente, representaría una tarea formidable convertir este medio ambiente en otro en el cual los hombres pudieran vivir y trabajar sin enorme ayuda tecnológica. Pero existe una sola posibilidad de «terraformar» o reformar Venus para equipararlo a la Tierra, posibilidad que sugerí con ciertas reservas en 1961. El método supone que la elevada temperatura de la superficie se produce mediante un efecto de invernadero que requiere anhídrido carbónico y agua, conjetura que hoy día es mucho más plausible que entonces. La idea consiste, simplemente, en sembrar las nubes de Venus con una potente variedad de algas –se sugirió un género llamado *Nostocaceae*– que realizaría la fotosíntesis en la proximidad de las nubes. El anhídrido carbónico y el agua se convertirían en compuestos orgánicos, en su mayor parte en hidrocarburos y oxígeno. Sin embargo, las algas serían transportadas por la circulación atmosférica a niveles más bajos y más calientes en la atmósfera de Venus donde se abrasarían. Un alga, al abrasarse, libera compuestos de carbono simple, carbono y agua a la atmósfera. El contenido de agua de la atmósfera permanece fijo y el resultado evidente es la conversión del anhídrido carbónico en carbono y oxígeno.

El actual efecto de invernadero en Venus se debe principalmente al anhídrido carbónico y al agua. La presión actual sobre Venus es aproximadamente noventa veces superior a la que reina en la superficie de la Tierra. La atmósfera de Venus está compuesta principalmente por anhídrido carbónico. Al convertirse el anhídrido carbónico en carbono y oxígeno, y al combinarse el oxígeno químicamente con la corteza de Venus, se reduciría la presión total, disminuyendo la absorción infrarroja

atmosférica, reduciéndose el efecto de invernadero y descendiendo la temperatura. Por tanto, es posible que la inyección de algas bien desarrolladas en las nubes de Venus, algas capaces de reproducirse a mayor velocidad que su destrucción, con el tiempo convertirían al medio ambiente extremadamente hostil de Venus en otro mucho más agradable para los seres humanos.

La cantidad de vapor de agua que hay en la atmósfera de Venus, si se condensara sobre la superficie del planeta, proporcionaría una capa de agua de aproximadamente 48 cm, no un océano, desde luego, pero sí suficiente para la irrigación y proveer a otras necesidades humanas. También es posible que el agua se consiga entre las rocas del planeta.

Nadie puede calcular si éste es el escenario más idóneo o cuánto tiempo se tardaría en reformar al segundo planeta del Sol. Es perfectamente posible que haya algún fallo o punto débil en la idea. Por ejemplo, la alta temperatura de la superficie puede que no obedezca a un efecto de invernadero, pero creo que esto es poco probable.

En todo caso, creo que «terraformar» a Venus no es empresa imposible. El esquema Nostoc es un ejemplo de cómo la tecnología humana y la ciencia pueden, en períodos de tiempo muy cortos, comparados con el tiempo geológico, reformar y cambiar el medio ambiente de otros planetas.

En cuanto se refiere a Marte, ya hemos visto en el capítulo 18 que hoy día se dispone de pruebas de que en épocas comparativamente recientes las condiciones en aquel planeta fueron mucho más parecidas a las de la Tierra de lo que son hoy. Hemos mencionado la probabilidad de que en los casquetes polares marcianos estén encerradas enormes cantidades de anhídrido carbónico y agua. Gran parte de dichos CO₂ y H₂O pueden pasar desde los casquetes polares a la atmósfera dos veces cada ciclo precesional de cincuenta mil años. Los doctores Joseph Burns y Martin Harwit, de la Cornell University, han examinado varios esquemas tecnológicos para provocar condiciones más favorables en Marte dentro de unos centenares de años en lugar de pensar en milenios. Estos esquemas implican alteración de las órbitas de los satélites marcianos o de un cercano asteroide para cambiar el movimiento precesional del planeta, o la instalación de un enorme espejo orbital sobre el casquete polar para fundir el material allí congelado. Sin embargo, aún más fácil sería verter negro de carbono sobre los casquetes, calentar los polos, aumentar la presión atmosférica y calentar el planeta.

Repito que no sabemos si tales esquemas darán resultado, pero no parecen ser extremadamente irrazonables o impracticables. Puede ser que dentro de centenares de años seamos capaces de convertir a Marte en un planeta muy parecido a la Tierra.

La Luna y los asteroides son mucho menos hospitalarios que Marte y Venus. Son mucho menos capaces de retener una atmósfera y no se les puede aplicar los esquemas de reforma que hemos sugerido. Pero incluso en mundos sin aire, el establecimiento de colonias humanas en sus superficies o incluso –en el caso de pequeños asteroides– en su interior, parece ser un posible futuro proyecto para la Humanidad. Tales colonias serían mucho más reducidas que las de un Marte o Venus, reformados, y necesitarían mayor atención en cuanto se refiere a la escasez de recursos.

Estas colonias serían defendibles sólo en el caso de que se encontraran recursos naturales notables, en particular agua congelada o químicamente confinada. En el caso de la superficie de la Luna, las muestras logradas por los astronautas del Apolo demostraron una carencia total de agua. Pero es muy posible que existan grandes almacenamientos de agua en regiones más frías y umbrías, cerca de los polos lunares, o a grandes profundidades bajo la superficie lunar.

Tampoco es improbable que dentro de algunos siglos haya grandes colonias humanas en todas las partes internas del Sistema Solar y en algunos de los mayores satélites de los planetas jovianos. Desde luego, la perspectiva es difícil; las tareas de reforma son inmensas y la necesidad de respetar ecológicamente otros medios ambientes resulta imperativa. El peligro de que se produzca una contaminación biológica en dos direcciones es cosa que también habría que examinar con suma escrupulosidad.

Incluso puede llegar el día en el que se nos pidan cuentas por haber administrado así el Sistema Solar. En consecuencia, nuestra propia época debería considerarse ya como el momento en que primero abandonamos la cuna de nuestra especie y comenzamos, casi a tientas, a explorar y transformar el espacio que nos rodea.

23. La exploración y utilización del Sistema Solar



Una carabela espacial. Pintura de Jon Lomberg a partir de un dibujo de Brueghel

A principios del siglo XX, las dos opiniones, la científica y la profana, sostenían que los aviones eran cosa totalmente imposible. El final del siglo, eliminado el fantasma de catástrofes ecológicas o nucleares, probablemente verá a los rusos y americanos realizar expediciones espaciales a otros planetas.

Éste es un siglo en el que se han hecho realidad algunos de los más antiguos sueños del hombre, y en el cual la Humanidad ha creado alas y realizado las aspiraciones de da Vinci y Dédalo. Ahora, máquinas que inhalan aire y transportan hombres circumnavegan nuestro planeta en menos de un día; otras máquinas, rozando sobre la atmósfera, transportan hombres alrededor de nuestro Globo en noventa minutos.

Hay una generación de hombres y mujeres para quienes, en su juventud, los planetas eran puntos de luz situados a distancias inconcebibles, y la Luna era el paradigma de lo inalcanzable. Esos mismos hombres y mujeres, en la mitad del camino de su vida, como dijo Dante, han visto a sus congéneres caminar sobre la superficie de la Luna; en su vejez, probablemente verán hombres vagando por la polvorienta superficie de Marte, efectuando viajes iluminados por la estropeada cara de Fobos. Sólo hay una generación de seres humanos en los diez millones de años de historia de la Humanidad que vivirá tal transición. Esa generación aún vive hoy. También éste es el momento de nuestra historia cuando, por primera vez, se ha explorado la totalidad de nuestro planeta, cuando el tribalismo está desapareciendo, cuando se están organizando grandes agrupaciones estatales multinacionales, cuando los asombrosos progresos tecnológicos en las comunicaciones y transportes están erosionando las diferencias culturales entre los diversos sectores de la Humanidad. Pero la diversidad cultural es la forja de la supervivencia de nuestra civilización, así como la diversidad biológica es el auténtico crisol para la supervivencia de la vida misma.

La Tierra está superpoblada, aunque todavía no en sentido literal: nuestra tecnología es la adecuada para mantener cómodamente una población mucho mayor que nuestros actuales tres mil millones y medio aproximadamente. La Tierra está superpoblada en un sentido psicológico. Para aquella fracción de la Humanidad, ambiciosa e inquieta, que ha señalado nuevos senderos para nuestra especie, no hay nuevos lugares a donde ir. Hay lugares dentro de nosotros mismos, pero éste no es el fuerte de tales individuos. Hay cuencas oceánicas, pero todavía no nos hemos dedicado a explorarlas en serio; y cuando lo hagamos, probablemente será para explotarlas con gran rapidez.

Justamente en esta época de nuestra historia tenemos la posibilidad de explorar y colonizar nuestros mundos vecinos del espacio. Nos ha llegado tal oportunidad no demasiado pronto.

El día 12 de octubre de 1992 se cumplirán quinientos años del descubrimiento del «Nuevo Mundo» por Cristóbal Colón. Creo que, en tales momentos, la Humanidad estará empeñada en una empresa muy parecida a la de Colón. Tendremos muchas ventajas sobre él y sobre los marineros de su época. Sabemos perfectamente a dónde vamos y cómo llegar a nuestro punto de destino. El camino habrá sido examinado por innumerables navíos que han llegado allí mucho antes que nosotros. Los senderos estarán correctamente cartografiados. Habrá peligros, por ejemplo, colisiones con asteroides en los viajes que se hagan al exterior del Sistema Solar, o

fallos de tipo mecánico. Pero no habrá temor a deslizarse por el borde del Mundo como temían los marinos de la época de Colón. Y, muy probablemente, no será un Sistema Solar en el que haya zonas de calmas ecuatoriales y monstruos marinos. Sin embargo, nos sentiremos impulsados por el mismo espíritu de aventura que animó a Colón. Así como el descubrimiento y exploración del Nuevo Mundo ejerció efectos irreversibles y profundos en la civilización europea, la exploración y colonización del Sistema Solar provocará permanentes cambios en la historia y desarrollo de la Humanidad.

En mi opinión, la analogía con los épicos viajes por mar de hace siglos es perfecta. Se dio entonces el conjunto de viajes marítimos realizados por Colón, un italiano (?), al servicio de la Corte española. Nuestro inicial conjunto de exploraciones del Apolo en la Luna fue impulsado, en gran parte, por un grupo de ingenieros alemanes expatriados, a la cabeza de los cuales figuraba Wernher von Braun. Después de los cuatro viajes de Colón hubo una especie de vacío, que duró una década o así, y después se produjo un verdadero estallido de actividades exploratorias realizadas por españoles, ingleses, franceses y holandeses, a bordo de navíos que enarbolaban pabellones diferentes.

El *Apolo 17* señaló el fin de las misiones *Apolo* a la Luna. Parece evidente, al menos en los Estados Unidos, que se producirá un vacío de una década o más antes de que se organicen nuevas exploraciones lunares o se sitúen bases en la Luna. La primera orientación del Apolo nunca fue científica. Se concibió en un momento de dificultades políticas para los Estados Unidos. Algunos historiadores han sugerido que los principales motivos que impulsaron al presidente Kennedy a organizar el programa *Apolo* fueron el desviar la atención pública de la vergonzosa derrota sufrida en la Bahía de Cochinos en el intento de invasión de Cuba. En el programa *Apolo* se invirtieron varias decenas de miles de millones de dólares. Si el objetivo hubiera sido la exploración científica de la Luna, se podía haber efectuado más eficazmente, gastando mucho menos dinero y empleando vehículos no dirigidos por el hombre. Las primeras misiones *Apolo* fueron a lugares de poco interés científico porque la seguridad de los astronautas era la primerísima y única preocupación. Tan sólo hacia el final de la serie *Apolo* desempeñaron un papel significativo las consideraciones de carácter científico.

El programa *Apolo* terminó cuando el primer científico pisó la Luna. Harrison «Jack» Schmitt, geólogo, formado en Harvard, fue uno de los dos hombres que tripularon el módulo lunar del *Apolo 17*. Fue el primer científico que estudió la Luna desde su superficie. Resulta irónico que, cuando el programa *Apolo* había logrado este importante progreso en la exploración científica de la Luna, se cancelara. Por consiguiente, el primer científico que pisó la Luna fue el último hombre en llegar a la Luna, al menos en un previsible futuro. No hay proyectos de ninguna clase o misiones con presencia humana para ir de nuevo a la Luna, ni por parte de los Estados Unidos ni tampoco, que nosotros sepamos, por parte de la Unión Soviética.

Las razones para cancelar el programa *Apolo* fueron de orden económico. Sin embargo, el incremento del coste de una misión dada se hallaba en las muchas decenas de millones de dólares que suponía, algo parecido a una milésima parte del costo total del programa *Apolo*. Igual que si yo, en contra de la opinión de mi esposa, comprara un «Rolls-Royce». Ella opina que un «Volkswagen» puede llevarme

también a cualquier sitio, pero yo tengo la impresión de que un «Rolls-Royce» apartaría de mi mente las preocupaciones de mi trabajo. Entonces gasto tanto dinero en la compra del «Rolls» que cuando le conduzco algún tiempo, descubro que no puedo usarlo más porque no puedo permitirme el lujo de llenar el depósito de gasolina, que es aproximadamente la milésima parte del coste de un «Rolls».

Fui uno de los científicos que se opusieron a una temprana misión Apolo. Pero una vez contamos con la tecnología del Apolo, me convertí en decidido partidario de continuarlo. Creo que por dos veces se tomó una decisión equivocada: la primera vez, por optar por realizar las primeras misiones a la Luna con presencia humana y, más tarde, por abandonar tales misiones. Después del *Apolo 11*, los Estados Unidos se quedaron sin ningún programa con presencia humana o sin ella, para proseguir la exploración de la Luna. La Unión Soviética ha perfeccionado, en sus series Luna de naves espaciales sin presencia humana, una capacidad probada para la exploración de la superficie lunar con regreso automático de muestras a la Tierra.

El ejemplo de la primera exploración del Nuevo Mundo sugiere que el vacío en la labor de investigación espacial será sólo temporal. El ensamblaje del Soyuz y Skylab, las estaciones orbitales de la Unión Soviética y de los Estados Unidos, representan un buen augurio de misiones planetarias en común.

El Sistema Solar es mucho más vasto que la Tierra, pero las velocidades de nuestras naves espaciales son, por supuesto, mayores que las velocidades de las carabelas de los siglos XV y XVI. El viaje de una nave espacial desde la Tierra a la Luna es más rápido que el viaje en galeón desde España a las Islas Canarias. El viaje desde la Tierra a Marte costará el mismo tiempo que el viaje de un velero desde Inglaterra a Norteamérica; el viaje desde la Tierra a las lunas de Júpiter requerirá el mismo tiempo que se invertía en el viaje desde Francia a Siam, en el siglo XVIII. Además, la parte del producto nacional bruto de los Estados Unidos o la Unión Soviética que se invierte en el más costoso programa espacial con presencia humana es exactamente comparable al producto nacional bruto gastado por Inglaterra y Francia en los siglos XVI y XVII en sus aventuras exploratorias realizadas con barcos de vela. ¡En términos económicos y en términos humanos, ya hemos efectuado antes tales viajes!

Creo que veremos bases semipermanentes en la Luna para el año 1980, más o menos. En principio, se les proveerá con material y personal de la Tierra, pero poco a poco irán sustentándose por sí mismas, utilizando recursos lunares. Habrá niños que nazcan en tales colonias. Pensarán en la Tierra como en «la antigua patria», un mundo pasado de moda en muchos sentidos, inmovilista, mucho menos libre que las colonias lunares, a pesar de los rigores y represiones tecnológicos de la vida en la Luna.

En el comparativamente próximo futuro, se explorará todo el Sistema Solar mediante vehículos automáticos sin presencia humana. Creo que para las décadas de los años 80 ó 90 veremos la penetración de sondas en las atmósferas de Júpiter y Saturno y Titán (la luna más grande de Saturno), lugares que están, creo yo, muy lejos de ser los más favorables en el Sistema Solar para la vida indígena. Contemplaremos el paso de pequeñas naves espaciales que aterrizarán en los grandes satélites de Júpiter y Saturno, naves que harán viajes incluso hasta Neptuno y Plutón, y veremos asimismo fuertes naves que se lanzarán hacia el Sol, desde

donde transmitirán datos hasta que se hundan y fundan definitivamente en el Infierno interior de la estrella más cercana.

Sin embargo, el posarse seres humanos en los planetas más cercanos no será tan fácil como se había pensado antes. La superficie de Venus, lejos de ser un Edén, es en realidad, como ya hemos visto, algo muy parecido al Infierno. No podemos imaginar la exploración de la superficie de Venus en las próximas décadas. Venus es un planeta con terribles temperaturas, gases nocivos, y presiones atmosféricas aplastantes. Sin embargo, las nubes de Venus están en un medio ambiente benigno; y una alegre sonda, dirigida por el hombre –algo parecido a un globo del siglo XIX, en la que los astronautas trabajen en mangas de camisa y con máscara de oxígeno– no deja de tener su encanto o su interés científico.

Marte es un planeta muy emocionante, de enorme interés en los campos geológico, meteorológico y biológico. Sería muy deseable llevar a cabo una expedición a Marte con presencia humana. Pero existen dos enormes dificultades. Primera, el coste sería fabuloso. El cálculo más aproximado a la verdad sería el de cien mil o doscientos mil millones de dólares. No puedo llegar a creer que tal gasto sea necesario en las próximas décadas, cuando hay tanta miseria en la Tierra que podría paliarse con ese dinero. Sin embargo, y a largo plazo, digamos que en las primeras décadas del siglo XXI, no creo que tal gasto constituya una dificultad insuperable, en especial porque ya se habrán perfeccionado nuevos sistemas de propulsión y de supervivencia en el espacio.

La segunda dificultad es más sutil. Igualmente puede aplicarse esta dificultad a la operación de recoger automáticamente muestras en Marte y hacerlas volver a la Tierra, como lo ha hecho la Unión Soviética en la Luna. Y éste es el peligro de la «contaminación de regreso». Precisamente a causa de que Marte tiene un medio ambiente de gran interés biológico potencial es posible que en Marte haya gérmenes patógenos, organismos que si se transportan al medio ambiente terrestre podrían provocar enormes daños biológicos, una plaga marciana parecida a lo que relata H. G. Wells en *La guerra de los Mundos*, pero al revés. Éste es un punto extremadamente grave. Por una parte, podemos alegar que los organismos marcianos no pueden provocar graves problemas a los organismos terrestres, porque no ha habido contacto biológico durante cuatro mil millones de años entre ambos organismos. Por otra parte, también podemos alegar que los organismos terrestres no han desarrollado defensas contra unos potenciales gérmenes patógenos marcianos, precisamente por esa falta de contacto antes mencionada. La posibilidad de tal infección puede ser muy pequeña, pero el peligro, si se produjera, sería enorme. Es preciso recordar aquí que el exterminio de las poblaciones nativas de Santo Domingo y Tahití se produjo en los primeros tiempos de las exploraciones mediante navíos a vela. Entre los regalos llevados por Colón al Nuevo Mundo estaba la viruela.

No sirve de nada alegar que las muestras se pueden traer a la Tierra con toda seguridad o a una base situada en la Luna, y así no se correría ningún peligro. La base lunar estará enviando y recibiendo pasajeros terrestres y lo mismo sucederá con una gran estación orbital terrestre. La única lección clara que obtuvimos en nuestra experiencia de aislar las muestras lunares traídas por el Apolo, es que los controladores de la misión no desean arriesgar el seguro malestar de un astronauta

—no importa su muerte— contra la remota posibilidad de una epidemia global. Cuando el *Apolo 11*, primera nave espacial que alunizó con éxito, manejada por el hombre, regresó a la Tierra —era idónea como nave para el espacio, pero no para el mar—, inmediatamente se violó el protocolo de la proyectada cuarentena. Se consideró que era mejor abrir la escotilla del *Apolo 11* al aire del océano Pacífico y, según lo entendimos nosotros, exponer la Tierra a gérmenes patógenos lunares, antes que poner en peligro a tres mareados astronautas. Tan poca atención se prestó a la cuarentena que la grúa del portaaviones que había de alzar a bordo la cápsula cerrada, a última hora, o, mejor, en el último minuto, resultó ser muy poco segura. El éxito del *Apolo 11* se escenificó en el mar abierto.

También existe el irritante peligro del estado latente. Si exponemos los organismos terrestres a los gérmenes patógenos marcianos, ¿cuánto debemos esperar antes de que podamos convencernos de que entendemos perfectamente la relación entre ambos organismos? Por ejemplo, el período latente de la lepra es de una década o algo más. A causa de este peligro de contaminación «de regreso», creo firmemente que los aterrizajes humanos en Marte deben demorarse hasta principios del siglo próximo, tras haberse llevado a cabo todo un concienzudo programa de exobiología y epidemiología terrestre sin presencia humana.

Llego a esta conclusión de mala gana. A mí, personalmente, me agradaría tomar parte en la primera expedición del hombre a Marte. Pero primero se necesita llevar a cabo un detallado y cuidadoso programa de exploración biológica en Marte, naturalmente, sin la presencia de los hombres. La probabilidad de que existan gérmenes es sumamente pequeña, pero no podemos poner en peligro a mil millones de vidas. Sin embargo, creo que la gente pisará la superficie marciana muy cerca del comienzo del siglo XXI.

Más allá de eso, hoy día es posible calcular o, más bien, imaginar una más amplia exploración y colonización. Las grandes lunas de Júpiter, y Titán, la luna más grande de Saturno, son mundos principales por derecho propio. Se sabe que Titán tiene una atmósfera mucho más densa que la de Marte. Estas cinco lunas muestran en sus superficies grandes cantidades de hielo. Para hacer estos mundos más habitables, se podrán horadar sus hielos para combustible, para la producción de alimentos y para la generación de atmósferas. Se han sugerido esquemas parecidos para reformar Marte y Venus, y probablemente se perfeccionarán y llevarán a la práctica (véase el capítulo 22). En los dos próximos siglos surgirán posibilidades aún más exóticas, que sin duda alguna estarán al alcance de la capacidad humana. Entre tales posibilidades figuran las de establecer bases en los asteroides y en cometas.

Al cabo de otro siglo aproximadamente, se habrán desarrollado nuevas formas o métodos de propulsión dentro del Sistema Solar. Uno de los más atractivos es el de la navegación solar a vela, el uso de los protones y electrones del viento solar para viajar por el Sistema. Se necesitarán velas enormes para tal empresa, pero pueden ser sumamente finas. Podemos imaginar una nave espacial rodeada por decenas de miles de finas velas doradas, delicada y exquisitamente izadas para recoger el viento solar. Unas remotas estaciones científicas vigilarán las ráfagas o rachas producidas por las llamas solares. Alejarse del Sol será cosa fácil, pero acercarse a él resultará más difícil.

También en el próximo siglo se fabricarán naves que empleen fuerza eléctrica solar y fusión nuclear.

Dentro de dos o tres siglos más, y suponiendo que incluso nuestra capacidad tecnológica no haya progresado mucho, imagino que todo el Sistema Solar ya habrá sido explorado por completo, al menos en la misma medida en que ha sido explorada la Tierra hasta ahora. Más tarde, no hay duda de que se iniciará una reforma de nuestro Sistema Solar más saludable, primero lentamente y después a mayor velocidad, proyectos de reforma con objeto de mover los planetas y disponer sus masas a conveniencia de la Humanidad, de sus descendientes y de sus invenciones.

Por entonces –probablemente antes–, podemos haber entrado ya en contacto con otras civilizaciones avanzadas en la Galaxia. O quizá no. En todo caso, dentro de unos cuantos siglos estaremos, preparados para dar el siguiente paso.

El *Pioneer 10* es la primera sonda interestelar lanzada por la Humanidad. También fue la sonda más rápida lanzada hasta la fecha de su partida. Pero todavía tardará ochenta mil años en llegar a la estrella más cercana. Como el espacio está tan vacío, jamás entrará en otro Sistema Solar. El pequeño mensaje dorado que va a bordo del *Pioneer 10* será leído, pero tan sólo si hay viajeros interestelares capaces de detectar e interceptar al *Pioneer 10*.

Creo que puede suceder esto, pero realizado por viajeros interestelares del planeta Tierra que detendrán y examinarán este viejo artilugio espacial, como si la carabela *La Niña*, con su tripulación comentando las posibilidades de caer por el borde del mundo, fuese interceptada en las islas Azores por el portaaviones *John F. Kennedy*.



Figura humana y campo estelar. Un dibujo de Robert McIntyre.

Tercera parte: Mas allá del sistema solar

*Danzar bajo el diamantino cielo
con una mano libre, saludando...*

Bob Dylan

Mr. Tambourine Man

24. Algunos de mis mejores amigos son delfines



Tres delfines conversando con el autor. Fotografía del autor.

La primera conferencia científica sobre el tema de las comunicaciones con inteligencias extraterrestres fue un pequeño acontecimiento apadrinado por la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos, en Green Bank, West Virginia. Se celebró en 1961, un año después del Proyecto Ozma, el primer intento (fallido) de escuchar posibles señales de radio procedentes de civilizaciones en planetas de otras estrellas. A continuación se celebraron otras dos reuniones parecidas en la Unión Soviética, patrocinadas por la Academia de Ciencias Soviética. Más tarde, en septiembre de 1971, se celebró una conferencia conjunta ruso-americana sobre la comunicación con inteligencias extraterrestres, en Byurakan, Armenia Soviética (véase capítulo 27). La posibilidad de una comunicación con inteligencias extraterrestres, al menos ahora, es semirrespetable, pero en 1961 se precisaba tener mucho valor para organizar semejante reunión. Hay

que conceder mérito y honores al doctor Otto Struve, director del National Radio Astronomy Observatory, que fue quien organizó la reunión de Green Bank.

Entre los invitados a la reunión figuraban el doctor John Lilly, que entonces pertenecía al Instituto de Investigación de Comunicaciones, de Coral Gables, Florida. Lilly se hallaba allí a causa de su trabajo relacionado con la inteligencia de los delfines y, en particular, con sus esfuerzos por comunicarse con ellos.

Existía la impresión de que este esfuerzo por comunicarse con los delfines —el delfín, probablemente, es otra de las especies inteligentes de nuestro planeta— era comparable, en alguna medida, a la tarea con que nos enfrentamos tratando de ponernos en comunicación con especies inteligentes de otro planeta mediante una comunicación de radio interestelar. Creo que será mucho más fácil comprender los mensajes interestelares, si alguna vez los captamos, que llegar a comprender los mensajes de los delfines (véase capítulo 19), si es que en realidad tales mensajes existen.

La supuesta relación entre los delfines y el espacio la dramaticé yo más tarde en la laguna que hay en el exterior del Vertical Assembly Building, en Cabo Kennedy, cuando esperaba el lanzamiento del *Apolo 17*. Un delfín nadaba pacíficamente de acá para allá, y de vez en cuando saltaba fuera del agua, examinando con curiosidad el iluminado y enorme proyectil Saturno preparado para su lanzamiento al espacio. ¿Quizá observándonos a todos?

Muchos de los participantes en la reunión de Green Bank se conocían mutuamente. Pero Lilly era, para todos nosotros, una nueva entidad. Sus delfines eran fascinantes y resultaba muy atractiva, por supuesto, su posible comunicación con ellos. (La reunión llegó a ser memorable a causa de que durante, su celebración se anunció desde Estocolmo que a uno de los participantes, Melvin Calvin, le habían concedido el premio Nobel de Química.),

Por muchas razones, deseábamos conmemorar la reunión y mantener cierta libre coherencia como grupo. Sintiéndonos enormemente interesados por los relatos que nos hacía Lilly sobre los delfines, nos bautizamos a nosotros mismos como «*La Orden de los Delfines*». Calvin tenía un alfiler de corbata como emblema de la sociedad recientemente fundada. Era una reproducción de una moneda que existe en el museo de Boston, una antigua moneda griega en la que aparece un muchacho sobre un delfín. Serví como una especie de coordinador de correspondencia las pocas veces que se celebró alguna reunión o acontecimiento «*Delfín*», sobre todo durante la elección de nuevos miembros. Al año siguiente, elegimos unos cuantos: entre ellos, a I. S. Shklovskii, Fremman Dyson, y J. B. S. Haldane. Este último me escribió diciéndome que una sociedad que carecía de obligaciones, reuniones, periódicos, o responsabilidades era, precisamente, la sociedad que más apreciaba; prometió ponerse a la altura de los acontecimientos.

Bien, la «*Orden de los Delfines*» es, en la actualidad, una sociedad moribunda. Ha sido remplazada por cierto número de actividades a escala internacional. Sin embargo, para mí, la «*Orden de los Delfines*» tuvo un significado especial: me proporcionó la ocasión de reunirme y charlar con los delfines, e incluso, en cierta medida, hacer amistad con ellos.

Entonces, yo tenía la costumbre de pasar una semana o dos durante el invierno en el Caribe, buceando con equipo de oxígeno y sin él, examinando a los habitantes, no mamíferos, de aquellas aguas. A causa de mis conocimientos y, más tarde, amistad con John Lilly, también pude pasar algunos días con sus delfines, en Coral Gables y en su estación de investigaciones de St. Thomas en las Islas Vírgenes.

Su instituto, ahora desaparecido, realizó, sin duda alguna, una buena labor sobre los delfines, incluyendo la realización de un importante atlas del cerebro del delfín. Aunque aquí exprese ciertas críticas sobre algunos aspectos científicos del trabajo de Lilly, sin embargo, deseo expresar mi admiración hacia cualquier intento serio de estudiar los delfines y en particular hacia los pioneros esfuerzos de Lilly en este terreno. Desde entonces, Lilly se dedicó a otra tarea: la de investigar la mente humana desde su interior, desarrollo de la consciencia, producida por medios farmacológicos y no farmacológicos.

Conocí por vez primera a *Elvar* en el invierno de 1963. La investigación sobre los delfines se había limitado mucho a causa de la sensible piel de estos mamíferos; sólo el desarrollo de tanques de polímeros plásticos permitió una residencia a largo plazo de los delfines en laboratorio. Me sorprendió mucho comprobar que el Instituto de Investigación de Comunicación se hallaba instalado en lo que había sido anteriormente un Banco, y así, casi llego a imaginar un tanque de poliestireno en cada ventanilla de cajero con delfines contando dinero. Antes de presentarme a *Elvar*, Lilly insistió en que me pusiera un impermeable de plástico, a pesar de mis protestas de que no lo consideraba necesario. Entramos en una estancia de regular tamaño. En un rincón había un gran tanque de plástico. Inmediatamente, vi a *Elvar* con la cabeza fuera del agua. Nadó despacio hasta el costado más próximo del tanque, y John, como perfecto anfitrión, dijo:

«Carl, éste es Elvar; Elvar, éste es Carl.»

Elvar lanzó la cabeza hacia delante y, un segundo antes de sumergirse, lanzó un chorro de agua sobre una de mis sienes. Después de todo, era cierto que necesitaba un impermeable. John dijo:

«Bien, ya veo que comenzáis a entablar amistad.»

Y, acto seguido, se retiró.

Yo ignoraba totalmente las acciones recíprocas sociales delfín-ser humano; así que me aproximé al tanque con toda la calma e indiferencia que pude adoptar y murmuré algo así como:

«¡Hola, Elvar!»

Inmediatamente, *Elvar* giró sobre sí mismo y se puso boca arriba, dejando al descubierto su vientre de color grisáceo. Era como un perro que deseara que le rascaran amorosamente. Así lo hice. Le gustó, o al menos, así lo creí.

Los delfines, con su nariz parecida al cuello de una botella, parecen mostrar eternamente una estereotipada sonrisa como los gerentes de hotel.

Al cabo de un rato, *Elvar* nadó hacia el lado opuesto del tanque y luego regresó, presentándose de nuevo el vientre, pero esta vez asomando a la superficie del agua sólo unos cuantos centímetros. Evidentemente, deseaba que le rascara de nuevo.

La operación me resultaba un tanto dificultosa, ya que debajo del impermeable llevaba camisa, corbata y chaqueta. No deseando mostrarme poco cortés, me quité el impermeable, hice lo mismo con la chaqueta y me subí los puños de la camisa, sin desabrocharlos, un poco más arriba de las muñecas. Luego me puse de nuevo el impermeable, mientras que aseguraba a *Elvar* que volvería a rascarle inmediatamente, cosa que hice a pocos centímetros sobre la superficie del agua. Una vez más, pareció agradarle. Pasaron unos segundos; el delfín nadó otra vez hacia el extremo más alejado y luego regresó de nuevo, pero esta vez mostrando el vientre unos 30 cm sobre la superficie. Lo cierto era que mi cordialidad estaba agotándose rápidamente, pero también me pareció que *Elvar* y yo estábamos comunicándonos de alguna forma. Así, una vez más, me quité el impermeable, enrollé las mangas de la camisa, me puse de nuevo el impermeable, y atendí a *Elvar*. En la siguiente secuencia *Elvar* apareció asomando el vientre sobre la superficie del agua unos 15 cm, esperando mi masaje. Podría haber extendido una mano para acariciarle, si en aquel momento me hubiera sentido dispuesto a quitarme de nuevo el impermeable, pero la cosa estaba llegando demasiado lejos. Así que permanecimos mirándonos mutuamente –hombre y delfín–, con un metro de agua entre los dos. De repente, *Elvar* saltó sobre el agua hasta que su cola sólo tocó la superficie. Se agitó en el aire y, acto seguido, su garganta lanzó un raro sonido, algo parecido al lamento del pato Donald. Creí, entonces, que *Elvar* acababa de decir:

«¡Más!»

Salí de la estancia; encontré a John entretenido con un equipo electrónico y le anuncié, con cierta emoción, que *Elvar*, al parecer, había gritado:

«¡Más!»

John se mostró lacónico.

–¿Lo dijo en un contexto?

–Sí, creo que sí.

–Bueno, ésa es una de las palabras que conoce.

John creía que *Elvar* había aprendido unas docenas de palabras en inglés. Que yo sepa, hasta ahora ningún ser humano ha aprendido una sola palabra en «delfines». Quizás esto perfila de algún modo la relativa inteligencia de las dos especies.

Desde los tiempos de Plinio, la historia humana ha estado llena de historias sobre una extraña y fraternal relación entre seres humanos y delfines. Existen innumerables relatos que nos hablan de delfines que salvaron a seres humanos a punto de ahogarse, y de delfines que protegieron a seres humanos cuando éstos estaban a punto de ser atacados por otros depredadores marinos. Recientemente, en 1972, se publicó en el *New York Times* que dos delfines habían protegido a una mujer de veintitrés años contra los tiburones que la rodeaban en alta mar. La mujer había naufragado en el Océano Índico y se había visto obligada a nadar durante

unos 40 km antes de alcanzar la costa. Los delfines la habían protegido y escoltado durante todo el tiempo. Los delfines son motivo dominante en el arte de la mayor parte de las antiguas civilizaciones mediterráneas, incluidas la nabatea y la minoica. La moneda griega que Melvin Calvin había duplicado para nosotros es una expresión de esta antigua relación.

Lo que les gusta a los seres humanos de los delfines es evidente. Son animales amistosos y fieles; a veces nos proporcionan comida (algunos delfines han reunido diferentes clases de peces en beneficio de los pescadores), y de vez en cuando nos salvan la vida. Sin embargo, no está muy claro por qué los delfines se sienten atraídos por los seres humanos. Más adelante, en este mismo capítulo, hablaré de lo que nosotros les proporcionamos a ellos, estímulo intelectual y diversión auditiva.

John conocía multitud de anécdotas sobre delfines de primera o segunda mano. Recuerdo en particular tres relatos. En uno, un delfín había sido capturado en alta mar e izado a bordo de una pequeña embarcación para ir a parar a un tanque de plástico, desde el cual comenzó a lanzar una larga serie de diferentes sonidos ante sus captores, sonidos que imitaban silbidos, bufidos, etc.. A veces, gritaba imitando a una gaviota, otras, al silbato de un tren; en fin, todos ellos ruidos de la costa y de tierra firme. El delfín había sido capturado por criaturas terrestres e intentaba charlar como ellas, como era de esperar de un invitado cortés.

Los delfines producen la mayor parte de sus sonidos mediante su orificio de «escape», que produce el chorro de agua en sus primas las ballenas, de las que son ejemplares anatómicos en miniatura.

En otro relato, a un delfín, que había permanecido cautivo durante algún tiempo, se le dejó en libertad y luego fue seguido.

Cuando entró en contacto en alta mar con un grupo de otros delfines, el ex cautivo inició una larga serie de sonidos. ¿Acaso les daba información sobre su cautiverio?

Además de su dispositivo de localización de sonidos —eficaz sistema de sonar submarino—, los delfines emiten una especie de silbido, algo parecido al ruido que producen los goznes resecos de una puerta cuando ésta se abre, y el ruido que hacen cuando imitan el modo de hablar humano, como en el «¡Más!» de *Elvar*. Son capaces de emitir tonos muy puros, y se sabe que hay parejas de delfines que emiten tonos de la misma frecuencia y fase diferente, de manera que se da el fenómeno de «batido» de onda física. Este sonido de batido es muy divertido. Si los seres humanos pudiesen cantar o emitir tonos puros, estoy seguro de que durante horas nos divertiríamos «batiendo».

Existen pocas dudas sobre el hecho de que los silbidos son ruidos que emplean los delfines para comunicarse entre sí. Oí lo que me pareció eran silbidos suplicantes en St. Thomas, emitidos por un delfín muy joven y macho, llamado Peter, al que habían aislado de dos hembras adolescentes. Los tres se lanzaban mutuamente una larga serie de diferentes silbidos. Cuando los reunieron en un solo tanque, su actividad sexual fue prodigiosa. Entonces casi dejaron de silbar.

La mayor parte de comunicación que he podido escuchar entre delfines pertenece a la variedad de «puerta chirriante», por así decirlo. Los delfines se sienten atraídos

por los seres humanos que producen ruidos parecidos. Por ejemplo, en marzo de 1971, en un estanque de delfines en Hawái, me pasé cuarenta y cinco minutos de animada conversación de «puerta chirriante» con varios delfines, al menos con algunos de los cuales me parecía estar diciendo algo interesante. En «delfinés», puede que fuera una auténtica estupidez, pero lo cierto es que yo atraía su atención.

En otro momento, John me contó lo que hacía con los delfines en la adolescencia y con tendencias sexuales para separar el macho de la hembra durante el fin de semana cuando no habría experimentos. De lo contrario, harían lo que John denominaba con suma delicadeza como «irse de luna de miel», lo que por muy deseable que fuera para los delfines les dejaba en malas condiciones para los experimentos del lunes por la mañana.

Los delfines pasaban de un tanque grande a otro más pequeño a través de una pesada puerta que se deslizaba verticalmente, y así quedaban separados. En una mañana de lunes, John encontró la puerta tal y como debía estar, pero en el tanque grande se hallaban juntos los dos delfines de sexo opuesto. *Elvar* y *Chi-Chi* habían salvado la barrera que los separaba. Se habían ido de luna de miel. El protocolo experimental de John tenía que esperar y John estaba muy enfadado. ¿Quién había olvidado separar a los delfines en la tarde del viernes? Pero todo el mundo recordaba que los delfines habían sido separados y la puerta cerrada adecuadamente.

Como prueba, los experimentadores repitieron la operación. Separaron a *Elvar* y a *Chi-Chi* y cerraron la pesada puerta, a la vez que tenían lugar las normales despedidas del viernes en voz alta, cierre de puertas del edificio con cierta fuerza y ruido de pasos que se alejaban. Pero desde un lugar oculto permanecieron observando a los delfines cuidadosamente. Cuando todo estuvo en silencio, ambos animales se encontraron en la barrera de alambre y se frotaron el morro varias veces emitiendo sonidos de puerta chillona. Entonces *Elvar* empujó la puerta hacia arriba desde una esquina hasta que quedó acuñada. *Chi-Chi*, desde el otro lado, empujó hacia arriba por la esquina opuesta.

Lentamente lograron alzar la puerta. *Elvar* atravesó el umbral nadando para ser recibido por los abrazos («aletazos» no es la palabra más correcta) de su compañera. Luego, según el relato de John, los que se hallaban observándoles anunciaron su presencia mediante silbidos y gritos... hasta que, mostrando cierto embarazo, *Elvar* se alejó nadando hacia la parte que le correspondía del tanque, y los dos delfines hicieron descender la pesada puerta trabajando con el morro desde ambos lados.

Este relato posee carácter humano hasta el punto de que en él se muestra lo que podríamos denominar un tanto de culpabilidad victoriana, que lo creo muy poco probable. Pero hay en los delfines muchas cosas que parecen poco probables.

Quizá yo sea una de las pocas personas que ha recibido una «proposición» de un delfín. El relato necesita volver un poco atrás. Fui a St. Thomas un invierno para nadar y visitar el establecimiento del delfines de Lilly que entonces dirigía Gregory Bateson, un inglés que sentía profundo interés por la antropología, psicología y comportamiento animal y humano. Mientras cenaba con algunos amigos en un restaurante situado en la cima de una montaña entablamos conversación con la

propietaria del restaurante, una joven llamada Margaret. Me describió qué aburridos y poco interesantes eran sus días (sólo trabajaba por las noches en el establecimiento). Aquel mismo día, por la mañana, Bateson me había contado las dificultades que encontraba para poder disponer de ayuda en sus investigaciones del programa «Delfín». Por tanto, no fue difícil presentarles. Muy pronto, Margaret estuvo trabajando con los delfines.

Cuando Bateson dejó St. Thomas, Margaret se convirtió, por el momento, en director de la estación de investigación.

En el curso de su trabajo, Margaret llevó a cabo un notable experimento, que se describe con algún detalle en el libro de Lilly, *La mente del delfín*. Comenzó a vivir casi todo el día muy cerca del estanque donde *Peter*, el delfín, nadaba plácidamente.

El experimento de Margaret tuvo lugar no mucho antes del incidente a que me refiero; estuvo relacionado con la actitud de Peter hacia mí.

Estaba yo nadando, en compañía de *Peter*, en un gran estanque interior. Cuando lanzaba hacia *Peter* la gran pelota de plástico, el delfín buceaba, y luego, con el morro, me la devolvía con absoluta seguridad.

Al cabo de un rato de estar jugando de esta manera, las devoluciones de *Peter* fueron haciéndose más inseguras, obligándome a nadar hacia un lado del estanque y luego hacia otro para alcanzar la pelota. Inmediatamente me di cuenta de que *Peter* había decidido lanzar la pelota a unos 5 ó 6 m de distancia de donde yo me encontrara en tales momentos.

Peter había cambiado las reglas del juego.

Peter estaba realizando conmigo un experimento psicológico: saber hasta qué extremo llegaría yo para continuar cogiendo trabajosamente la pelota. Era la misma clase de prueba psicológica que *Elvar* había llevado a cabo en nuestro primer encuentro. Tal prueba es una muestra de los vínculos que unen a los delfines con los seres humanos. Somos una de las pocas especies que tienen pretensiones de poseer conocimientos psicológicos; por tanto, también somos una de las pocas que, sin embargo, y aunque sea inadvertidamente, permitimos que los delfines lleven a cabo con nosotros experimentos psicológicos.

Como había ocurrido en mi primera entrevista con *Elvar*, vi lo que estaba sucediendo y decidí que ningún delfín iba a experimentar conmigo psicológicamente. Así pues, retuve la pelota y, simplemente, comencé a nadar de acá para allá. Alrededor de un minuto después, *Peter* nadó con rapidez hacia mí y me rozó con su cuerpo empleando cierta fuerza. Esta vez sentí que algo sobresalía del cuerpo de Peter y que me tocaba suavemente al pasar. Cuando lo hizo por tercera vez, inmediatamente me di cuenta de lo que estaba ocurriendo. No se trataba de una de sus aletas de cola, no... y en el acto me sentí como una de esas tías solteronas a la cual un varón hace una propuesta poco adecuada. Por supuesto, no estaba preparado para cooperar en tal sentido y acudieron a mi mente gran número de frases de disculpa como, por ejemplo: «¿Es que no conoces por ahí a ninguna bonita hembra?» Pero *Peter* continuó mostrándose alegre y sin ofenderse lo más

mínimo por mi falta de respuesta a sus proposiciones. (Es posible que pensara que yo era demasiado estúpido como para entender aquel mensaje suyo.)

Peter llevaba algún tiempo separado de las hembras y, en una época no muy lejana, se había pasado muchos días en íntimo contacto, incluyendo el sexual, con Margaret, otro ser humano. No creo que haya ningún vínculo sexual que justifique el afecto que los delfines sienten por los seres humanos, pero el incidente, sin duda, tiene cierto significado. Incluso en lo que nosotros describimos piadosamente con «bestialismo» sólo hay unas pocas especies que, según tengo entendido, son utilizadas por los seres humanos en actividades sexuales; estas especies pertenecen a la clase que los humanos han domesticado.

Me pregunto si algunos delfines albergan el pensamiento de domesticarnos a nosotros.

Las anécdotas sobre delfines siempre son tema de conversación en muchas reuniones de carácter social y también fuente de polémica y discusión. Una de las dificultades que he descubierto en la investigación sobre el lenguaje de los delfines y su inteligencia fue, precisamente, esta fascinación que ejercen las anécdotas; pero lo cierto es que nunca se han llevado a cabo pruebas que sean auténticamente científicas.

Por ejemplo, repetidas veces insistí en que se debía hacer el siguiente experimento: Se introduce al delfín A en un tanque que está equipado con dos audiomicrofonos. Cada hidrófono está unido a un suministrador automático de pescado que puede arrojar sabrosa comida a los delfines. En uno de los micrófonos suena música de Bach y en otro, música de los «Beatles». La música de una u otra clase ha de sonar al azar. Siempre que el delfín A se acerque hasta el micrófono idóneo —supongamos el que está difundiendo música de los «Beatles»— se le recompensa con un pez. Creo que no hay duda de que cualquier delfín, debido a su gran interés, podrá distinguir pronto entre Bach y los «Beatles». Pero ésta no es la parte más importante del experimento. Lo que sí es significativo es el número de ensayos que se hagan antes de que el delfín A se convierta en elemento sofisticado, es decir, que en todo momento sepa que si desea un pez ha de acudir al lugar donde suenan los «Beatles».

A continuación, se separa al delfín A de los micrófonos mediante una barrera de plástico con ancho enrejado. El animal puede ver a través de la barrera, oler y saborear, y, lo más importante, puede oír y «hablar» a través de ella también. Pero no puede atravesarla nadando. Entonces se introduce al delfín B en la zona de los micrófonos. El delfín B es todavía un novato, es decir carece aún de experiencia en lo que concierne a los suministradores automáticos de comida submarinos, a Bach o a los «Beatles». A diferencia de la bien conocida dificultad en hallar «ingenuos» condiscípulos de colegio con quienes efectuar experimentos con la *Canabis sativa*, no debe existir dificultad alguna en encontrar delfines con total falta de experiencia de Bach y «Beatles». El delfín B debe pasar por el mismo método de aprendizaje que pasó el delfín A. Pero ahora, cada vez que el delfín B (al principio al azar) alcanza el éxito, no solamente se le premia con un pez, sino que también se arroja otro pez al delfín A, que en tales momentos está siendo testigo del aprendizaje del delfín B. Si el delfín A tiene hambre, es muy probable que comunique al delfín B lo que sabe sobre Bach y los «Beatles». Si el delfín B está hambriento, prestará

atención a la información que le suministra el delfín A. Por lo tanto la cuestión es: El delfín B, ¿muestra una curva de inteligencia más elevada que la del delfín A? ¿Alcanza el nivel de entendimiento en menos pruebas o en menos tiempo?

Si tales experimentos se repitieran muchas veces y se comprobara que las curvas de aprendizaje del delfín B, fuesen estadísticamente más significativas que las del delfín A, se habría establecido el hecho evidente de que entre ambos delfines se había dado una comunicación de información moderadamente interesante. Podría ser una descripción verbal de la diferencia entre Bach y los «Beatles» en mi opinión, tarea difícil, pero no imposible, o, simplemente, podría ser que sólo se estableciera una distinción entre la izquierda y la derecha en cada prueba hasta que el delfín B la capta. Por supuesto, éste no es el mejor método para probar la comunicación entre dos delfines, pero es típica de una enorme gama de experimentos que se podrían llevar a cabo. La verdad es que lamento mucho que hasta la fecha, que yo sepa, no se haya practicado ninguno de ellos.

El tema de la inteligencia del delfín ha tenido para mí especial importancia en los últimos años, sobre todo cuando se desarrolló el caso de las ballenas jorobadas. En un notable conjunto de experimentos, Roger Payne, de la Rockefeller University, situó hidrófonos a una profundidad de algunas decenas de metros en el Caribe para tratar de grabar los cantos de las ballenas jorobadas, miembro, con los delfines, de la clase taxonómica de los cetáceos. Estas ballenas emiten sonidos sumamente bellos y complejos, que se expanden bajo la superficie del océano a considerable distancia y que, al parecer, son de gran utilidad social dentro y entre las escuelas de ballenas, animales sociales muy gregarios.

El tamaño del cerebro de las ballenas es mucho mayor que el de los seres humanos. Sus cortezas cerebrales presentan circunvoluciones. Por lo menos, son tan sociales como los seres humanos. Los antropólogos creen que el desarrollo de la inteligencia humana depende críticamente de estos tres factores: tamaño del cerebro, circunvoluciones cerebrales, y acción recíproca social entre los individuos. Aquí tenemos una clase de animales en los cuales las tres condiciones que conducen a la inteligencia humana puede ser que se den con creces y, en algunos casos, se rebasen largamente.

Pero como las ballenas y los delfines no tienen manos, tentáculos u otros órganos táctiles, su inteligencia no puede determinarse en términos de tecnología. ¿Qué hay en todo esto? Payne ha grabado ejemplos de canciones muy largas cantadas por la ballena jorobada, hasta el extremo de que algunas de ellas duran hasta media hora o más. Unas cuantas parecen repetirse, virtualmente fonema por fonema; poco después, todo el ciclo de sonidos vuelve a oírse una vez más. Algunas de las canciones se han grabado comercialmente y se pueden conseguir en discos de la CRM Records (SWR-II). Calculo que el número aproximado de bits (véase capítulo 34) de información (preguntas individuales si/no necesarias para caracterizar la canción) en una canción de ballena de media hora de duración, oscila entre un millón y cien millones. A causa de la elevada variación de frecuencia en estas canciones, supuse que la frecuencia es importante en el contenido de la canción, o, dicho de otra manera, que el lenguaje de la ballena es tonal. Si no lo es tanto como sospecho, el número de bits de información en tal canción puede descender por un factor de diez. Ahora, un millón de bits es aproximadamente el número de bits que

contiene *La Odisea* o las *Eddas* de Islandia. (También es improbable que, en las pocas excursiones hidrofónicas realizadas en el terreno de las vocalizaciones cetáceas, se haya grabado la más larga de tales canciones.)

¿Es posible que la inteligencia de los cetáceos se encauce al equivalente de la poesía épica, historia, y elaborados códigos de interacción social? ¿Son las ballenas y los delfines como Homeros humanos antes de la invención de la escritura, relatando grandes hazañas realizadas en años pasados en las profundidades y remotos lugares del mar? ¿Hay una especie de *Moby Dick* al revés, una tragedia desde el punto de vista de una ballena, de un implacable enemigo, de ataques no provocados, por extrañas bestias de madera y metal que surcan los mares cargadas con seres humanos?

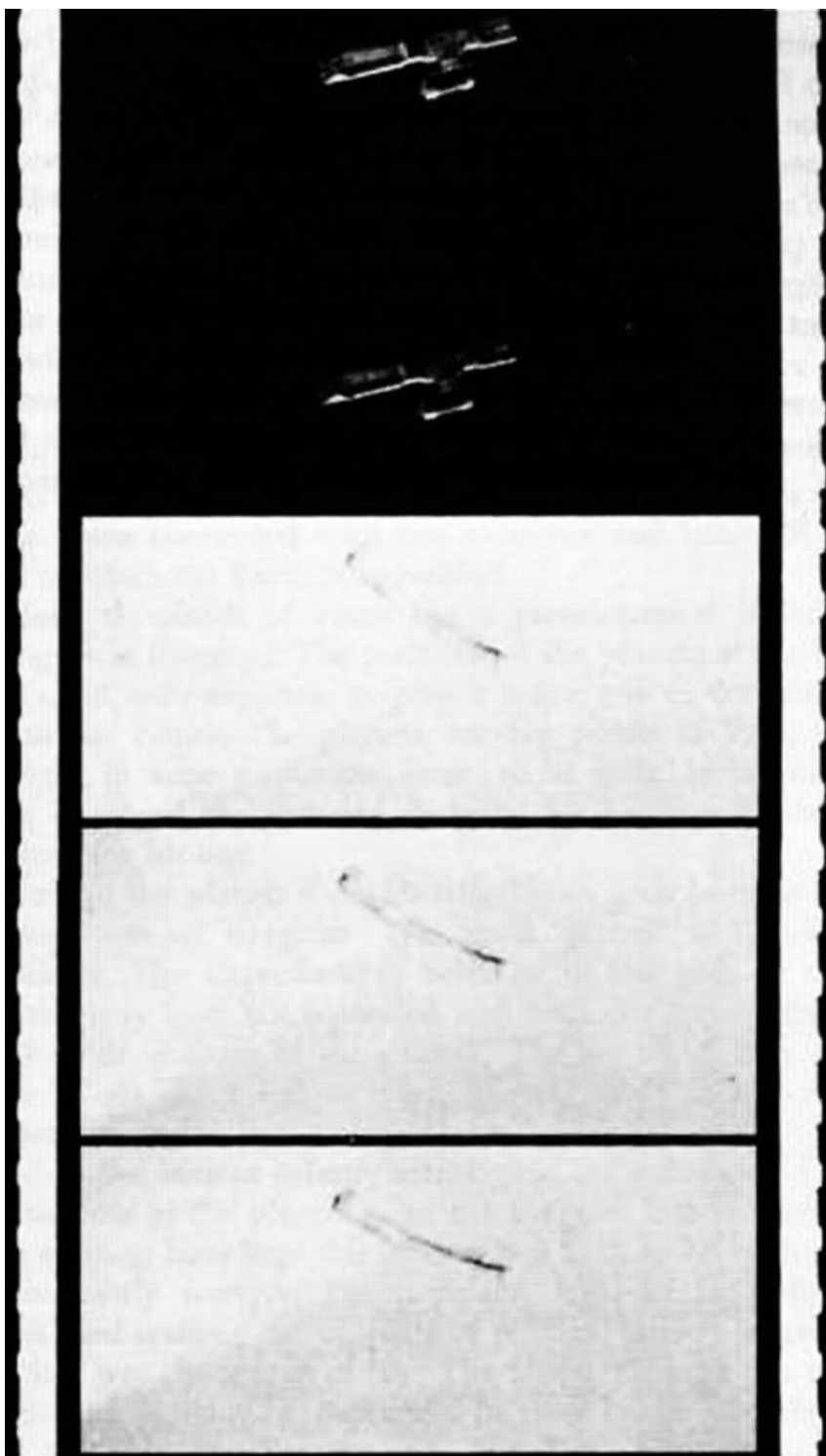
Los cetáceos constituyen para nosotros una importante lección. La lección no se centra sobre ballenas y delfines, sino sobre nosotros mismos. Por lo menos, se dispone de pruebas moderadamente convincentes de que hay otra clase de seres inteligentes en la Tierra además de nosotros. Se comportan benignamente y, a veces, hasta nos muestran afecto. Sistemáticamente, les hemos eliminado. Hay un monstruoso y bárbaro comercio con los esqueletos y fluidos vitales de las ballenas. Se extrae el aceite para fabricar lápices de labios, lubricantes industriales, y para otros propósitos, aun cuando esto tenga cierto sentido económico marginal, pues hay lubricantes muy eficaces de otra clase. Pero, ¿por qué hasta hace muy poco tiempo no se alzaron gritos en contra de esta carnicería? ¿Por qué tan poca compasión hacia las ballenas?

Es evidente que existe muy poco respeto por la vida en la industria ballenera, subrayando una profunda debilidad humana que, sin embargo, no se limita sólo a las ballenas. En la guerra, hombre contra hombre, es corriente que cada bando deshumanice al otro, de manera que no haya ninguno de los naturales recelos o temores que un ser humano siente al matar a otro. Los nazis alcanzaron este objetivo declarando a pueblos enteros *untermenschen*, subhumanos. Entonces estaba permitido, tras semejante clasificación, privar a estos pueblos de sus libertades civiles, esclavizarlos y asesinarlos. El ejemplo de los nazis es el más monstruoso, pero no el más reciente. Podrían citarse muchos otros casos. En cuanto se refiere a los americanos, la encubierta reclasificación de otros pueblos como *untermenschen* ha sido el lubricante de la maquinaria militar y económica desde las tempranas guerras contra los indios americanos hasta nuestras más recientes complicaciones militares, pero herederos de una antigua cultura, donde se les ha descrito y describe como simios, cerdos salvajes, diablos amarillos, ojos oblicuos, etc., es decir, toda una letanía de deshumanización, para que nuestros soldados y aviadores se sintieran más cómodos al liquidarlos.

Esta deshumanización se hace mucho más fácil mediante la guerra automatizada y destrucción aérea de objetivos invisibles. Aumenta la «eficiencia» de la guerra, porque socava nuestras simpatías hacia nuestros congéneres. Si no vemos a quienes matamos, no nos sentimos tan culpables de asesinato. Y si podemos tan fácilmente racionalizar el asesinato de otros seres pertenecientes a nuestra propia especie, ¿no será mucho más difícil sentir respeto hacia individuos inteligentes de diferentes especies?

Es en este punto donde surge el significado fundamental de los delfines en la búsqueda de inteligencia extraterrestre. No es el caso de si estamos emocionalmente preparados, a la larga, para enfrentarnos a un mensaje de las estrellas. Más bien se trata de si podemos desarrollar el sentido de que hay seres con distintas evoluciones, seres que pueden parecer muy diferentes a nosotros, incluso «monstruosos» seres, en resumen, que, sin embargo, son dignos de amistad y respeto, fraternidad, y confianza. Tenemos todavía que llegar muy lejos; aún cuando hay algún indicio de que la comunidad humana se mueve en esta dirección, la pregunta es ¿nos movemos con suficiente rapidez? El contacto más probable con inteligencias extraterrestres será con una sociedad muchísimo más avanzada que la nuestra (capítulo 31). Pero no nos hallaremos en algún momento de un previsible futuro en la posición de los indios americanos o en la de los vietnamitas, barbaridad colonial practicada en nosotros por una civilización más avanzada tecnológicamente, debido a los enormes espacios entre las estrellas, y a lo que yo creo es la neutralidad o bondad de cualquier otra civilización que ha sobrevivido lo suficiente para que nos pongamos en contacto con ella. Ni tampoco la situación será la opuesta: rapiña terrestre contra civilizaciones extraterrestres, pues están demasiado lejos de nosotros y somos relativamente inofensivos. El contacto con otras especies inteligentes pertenecientes a un planeta de otra estrella —especies biológicamente muy diferentes, mucho más que nosotros de los delfines o las ballenas— puede ayudarnos a apartar de nuestros hombros el formidable bagaje de acumulados egoísmos, desde el nacionalismo hasta el chauvinismo humano. Aunque pueda costar mucho tiempo la búsqueda de inteligencia extraterrestre, creo que, por el momento, lo mejor que podemos hacer es iniciar un auténtico programa de rehumanización, entablando lazos de amistad con las ballenas y los delfines.

25. ¡Oiga! ¿Distribución Central? ¡Envíenme veinte extraterrestres!



Secuencia de *2001: Una Odisea espacial*. Ilustración de cubierta del libro original de Signet: *The making of Kubrick's «2001»*.

Mi amigo Arthur C. Clarke tenía un problema. Estaba escribiendo un guión con Stanley Kubrick del libro *Dr. Strangelove*. Se titularía *Viaje más allá de las estrellas* y, al parecer, se le había presentado alguna dificultad en el desarrollo del tema. ¿Podría cenar con ellos en el estudio de Kubrick, en New York, y ayudarles un poco en el problema? (A propósito, el título de la película me pareció un poco extraño. Que yo supiera, no había ningún lugar más allá de las estrellas. Una película que versara sobre un lugar así tendría que ser dos horas de pantalla negra, una posible trama sólo para Andy Warhol. Estaba seguro de que semejante escena no era lo que Kubrick y Clarke pensaban hacer, por supuesto.)

Tras disfrutar de una agradable cena, se planteó el problema de la manera siguiente: Aproximadamente en la mitad de la película, una nave espacial dirigida por el hombre se acerca bien a Júpiter 5, el satélite más interior de Júpiter, o a Japeto, uno de los satélites de mediano tamaño de Saturno. Cuando la nave espacial se aproxima y se hace visible en la pantalla la curvatura del satélite, nos damos cuenta de que el satélite no es una luna natural. Se trata de un artefacto de alguna civilización pujante y muy avanzada. De repente, aparece una abertura en un lado del satélite y, a través de ella, vemos... estrellas. Pero no son realmente lo que hay al otro lado del satélite. Es una parte de firmamento de otro lugar desconocido. Se disparan pequeños cohetes hacia la abertura, pero se pierde el contacto con ellos tan pronto como pasan a través de ella. La abertura es una especie de puerta espacial, un camino para ir desde una parte del Universo a otra, sin tener que recorrer distancia alguna. La nave espacial atraviesa esta especie de puerta y surge en las cercanías de otro sistema estelar, en cuyo firmamento brilla, fulgurante, una estrella gigantesca. Orbitando al gigante rojo, hay un planeta, sin duda asiento de una avanzada civilización tecnológica. La nave espacial se aproxima al planeta, desciende sobre él, y luego... ¿qué?

Aunque las escenas con elementos humanos se rodarían en los estudios de Inglaterra, esta parte tan importante del guión —¡el final!— aún no había sido escrita por los dos autores. La tripulación de la nave espacial, o al menos, una parte de ella, iba a establecer contacto con seres extraterrestres. Sí, pero, ¿cómo describir a los extraterrestres? Kubrick sustentaba la opinión de que no fuesen muy diferentes de los seres humanos. La preferencia de Kubrick poseía una ventaja clara y a la vez económica: Llamaría a la Distribución Central y solicitaría veinte extraterrestres. Con un poco de maquillaje, tendría el problema resuelto. Otra alternativa que no fuera ésta resultaría muy costosa.

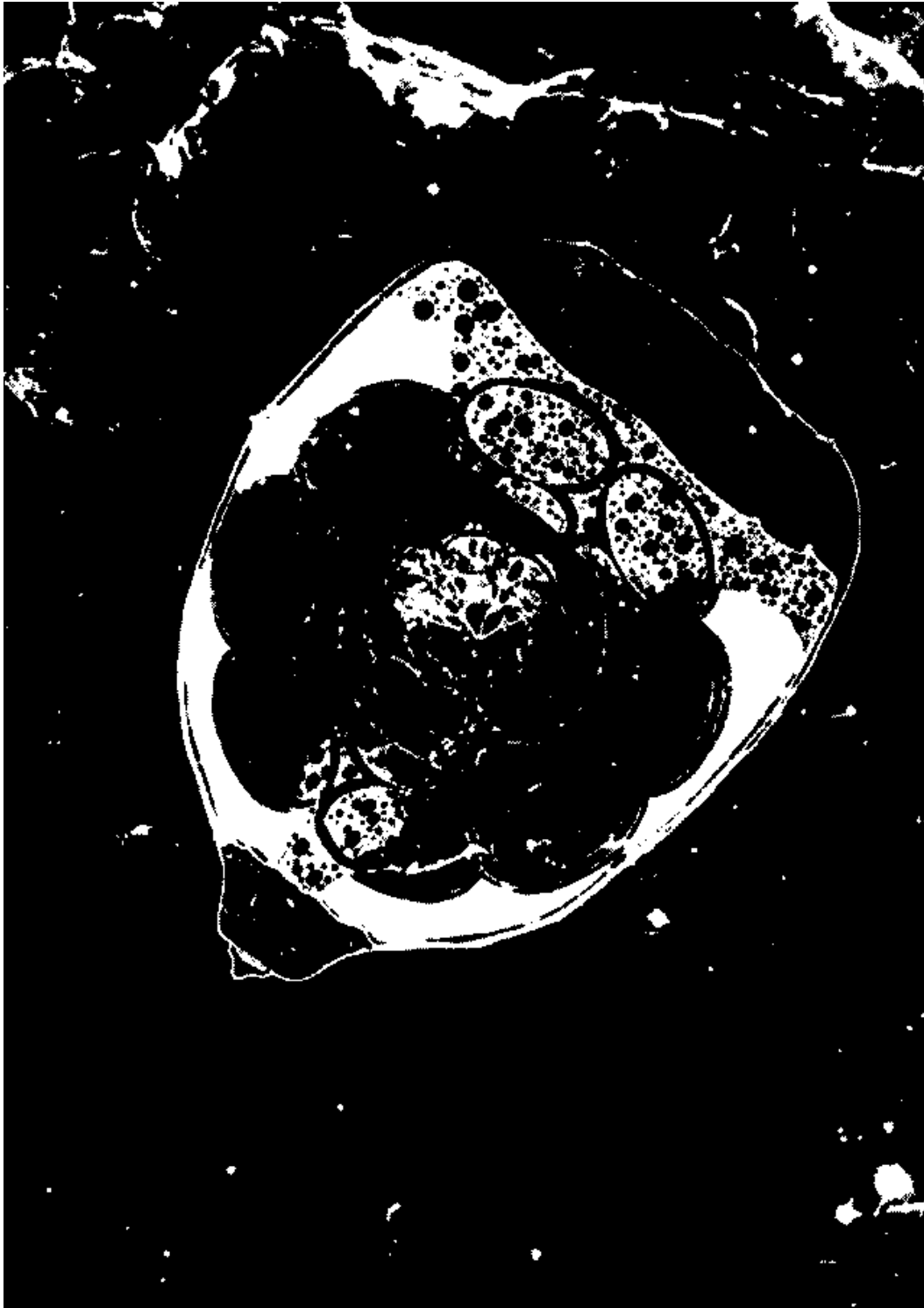
Alegué que era tan grande el número de improbables acontecimientos individuales en la historia de la evolución del hombre, que tampoco era probable existiesen en el Universo seres parecidos a nosotros. Sugerí entonces que cualquier representación explícita de un ser extraterrestre avanzado, sin duda alguna mostraría, al menos, un elemento de falsedad y que la mejor solución sería sugerir a los seres extraterrestres en lugar de retratarlos *sui generis*.

La película, titulada después *2001: Una odisea espacial*, se estrenó tres años más tarde. En el día del estreno, me alegró ver que había prestado alguna ayuda. Como supimos por el libro de Jerome Agel, *The making of Kubrick's «2001»*, Kubrick experimentó durante el rodaje con muchas representaciones de vida extraterrestre,

incluyendo un bailarín ataviado con un maillot negro y entero con blancas notas musicales de polca. Fotografiado contra un fondo negro, esto podría ser visualmente muy eficaz. Por último, decidió establecer una representación surrealista de la inteligencia extraterrestre. La película desempeñó un importante papel en hacer comprender al hombre de la calle cuál podría ser aproximadamente la perspectiva cósmica. Muchos científicos soviéticos consideran a *2001* como la mejor película americana que han visto. Las ambigüedades extraterrestres no les molestaron ni preocuparon en absoluto.

Durante el rodaje de *2001*, Kubrick, que evidentemente era un hombre preocupado por los detalles, llegó a abrigar temores de que se pudiera descubrir la inteligencia extraterrestre antes de que se explotara comercialmente la película que costaba la friolera de diez millones de dólares, y que, en tal caso, su labor fuera inútil, además de equivocada. Entraron en contacto con el Lloyd's de Londres para subscribir una póliza de seguros para protegerse contra las pérdidas en el caso de que se descubriera inteligencia extraterrestre, pero el Lloyd's de Londres, compañía que asegura las contingencias más increíbles, se negó a subscribir tal póliza. En la década de los sesenta, aún no se había llevado a cabo ningún esfuerzo para buscar inteligencia extraterrestre, y lo cierto es que era muy remota la probabilidad de tropezarse con ella en pocos años o en muchos. Así pues, el Lloyd's de Londres se perdió un buen negocio.

26. La conexión cósmica



Bellota por Jon Lomberg. Los débiles vestigios de gas brillantes en el fondo son de los restos de una supernova.

Desde los primeros tiempos, los seres humanos han reflexionado sobre el lugar que ocupan en el Universo. Se han preguntado si están conectados de alguna manera con el asombroso e inmenso Cosmos en el que la Tierra está inmersa.

Hace muchos miles de años se inventó una pseudo-ciencia llamada Astrología. Las posiciones de los planetas, al nacer un niño, se creía que desempeñaban un papel importantísimo en determinar su futuro. Los planetas, puntos de luz de eterno parpadear, eran dioses. En su vanidad, el hombre imaginó un Universo diseñado para su propio beneficio y perfectamente organizado para su uso particular.

Quizá se supuso que los planetas eran dioses a causa de sus movimientos irregulares. La palabra «planeta» significa, en griego, vagabundo. El imprevisible comportamiento de los dioses en muchas leyendas puede haber correspondido con los, al parecer, también imprevisibles movimientos de los planetas. Se supone que se razonó así: Los dioses no se sujetan a normas; los planetas no se sujetan a normas; los planetas son dioses.

Cuando la antigua casta sacerdotal astrológica descubrió que el movimiento de los planetas no era irregular, sino previsible, se guardaron la información para sí. No valía la pena preocupar innecesariamente al populacho, socavar sus creencias religiosas y erosionar las bases del poder político. Además, el Sol era la fuente de vida. La Luna, mediante las mareas, dominaba la agricultura, especialmente en las cuencas de ríos como el Indo, el Nilo, el Yangtze, y el Tigris-Eufrates. ¡Cuan razonable era entonces que estas luces menores, los planetas, ejercieran influencia sobre la vida humana, una influencia más sutil, pero no menos eficaz!

La búsqueda de una conexión, el eslabón entre la gente y el Universo, no ha disminuido desde los albores de la astrología. A pesar de los avances de la ciencia, aún persiste tal necesidad.

Ahora sabemos que los planetas son, aproximadamente, mundos como el nuestro. Sabemos también que su luz y gravedad no influyen en absoluto en el nacimiento de un niño. Sabemos que hay enormes cantidades de otros objetos –asteroides, cometas, pulsars, quasars, galaxias explosivas, agujeros negros, etcétera–, objetos desconocidos para los antiguos especuladores que inventaron la astrología. El Universo es muchísimo más grande de lo que pudieron haber imaginado.

La Astrología no ha tratado de mantenerse a la altura de los tiempos. Incluso los cálculos de los movimientos planetarios y posiciones establecidos por la mayor parte de los astrólogos son normalmente inexactos.

Ningún estudio muestra estadísticamente un índice de éxitos significativos al predecir, mediante sus horóscopos, el futuro o los rasgos de la personalidad de los recién nacidos. No hay ningún campo de radioastrología, o astrología por rayos X, o astrología por rayos gamma, que tengan en cuenta las nuevas fuentes astronómicoenergéticas descubiertas en años recientes.

Sin embargo, la Astrología sigue siendo sumamente popular en todas partes. Por lo demás, hay diez veces más astrólogos que astrónomos. Un gran número,

probablemente la mayor parte, de periódicos en los Estados Unidos publican diariamente sus secciones de horóscopos.

Mucha gente joven, gente brillante y socialmente bien situada, siente gran interés por la Astrología. Satisface una necesidad interior de sentirse importantes como seres humanos en un Cosmos inmenso y asombroso, creer que de alguna manera nos relacionamos con el Universo, ideal de muchas experiencias religiosas y con drogas, el *samadhi* de algunas religiones orientales.

Los grandes conocimientos de la astronomía moderna demuestran que, en algunos aspectos muy diferentes a los imaginados por los antiguos astrólogos, estamos conectados con el Universo.

Los primeros científicos y filósofos –Aristóteles, por ejemplo– imaginaron que el cielo estaba hecho de un material diferente al de la Tierra, una especie de substancia celeste, pura e inmaculada. Ahora sabemos que éste no es el caso. Trozos del cinturón de asteroides llamados meteoritos, las muestras de la Luna traídas por los astronautas del Apolo y por las sondas soviéticas, el viento solar y los rayos cósmicos, que probablemente se generan por la explosión de estrellas y sus restos, todos ellos muestran la presencia de los mismos átomos que conocemos aquí, en la Tierra. La espectroscopia astronómica puede determinar la composición química de estrellas situadas a miles de millones de años luz de distancia. Todo el Universo está hecho con material familiar. Los mismos átomos y moléculas se hallan presentes a enormes distancias de la Tierra como lo están dentro de nuestro Sistema Solar.

Estos estudios conducen a una notable conclusión. No solamente el Universo está en todas partes constituido por los mismos átomos, sino que los átomos, hablando en términos generales, están presentes en todas partes y en aproximadamente las mismas proporciones.

Casi toda la substancia de las estrellas y la materia interestelar entre estrellas es hidrógeno y helio, los dos átomos más simples. Todos los demás átomos son impurezas, constituyentes vestigiales. Esto también puede aplicarse a los grandes planetas exteriores de nuestro Sistema Solar, como Júpiter. Pero no es así en cuanto se refiere a los trozos comparativamente pequeños de roca y metal en la parte interior del Sistema Solar, como nuestro planeta Tierra. Esto ocurre porque los pequeños planetas terrestres tienen gravedades demasiado débiles para retener sus atmósferas originales de hidrógeno y helio, atmósferas que gradualmente han escapado al espacio.

Los siguientes átomos más abundantes en el Universo son el oxígeno, carbono, nitrógeno y neón. Todo el Mundo ha oído hablar de estos átomos. ¿Por qué los elementos que más abundan en el plano cósmico son los más razonablemente corrientes en la Tierra, y no, por ejemplo, el Ytrio o el praseodimio?

La teoría de la evolución de las estrellas está lo suficientemente avanzada para que los astrónomos puedan comprender sus diferentes clases y sus relaciones: cómo una estrella nace del gas y polvo interestelares, cómo brilla y se desarrolla mediante reacciones termonucleares en su ardiente interior, y cómo muere. Estas reacciones termonucleares son de la misma clase que las reacciones que fundamentan las

armas nucleares (bombas de hidrógeno): la conversión de, cuatro átomos de hidrógeno en uno de helio.

Pero en las posteriores etapas de la evolución estelar en el interior de las estrellas se alcanzan elevadas temperaturas, y los elementos más pesados que el helio se generan por procesos termonucleares. La astrofísica nuclear indica que los átomos más abundantes, producidos en estas gigantescas estrellas ardientes, son precisamente los átomos que más se encuentran en la Tierra y en cualquier otra parte del Universo. Los átomos pesados, generados en los interiores de los gigantes rojos, son arrojados al medio interestelar mediante un lento reflujo desde la atmósfera de la estrella, como nuestro propio viento solar, o por medio de poderosas explosiones estelares, algunas de las cuales pueden hacer que una estrella brille mil millones de veces más que nuestro Sol.

Un reciente estudio espectroscópico con infrarrojos de estrellas en fusión descubrió que están lanzando al espacio silicatos, polvo de roca arrojado al medio interestelar. Las estrellas de carbono probablemente lanzan partículas de grafito al espacio cósmico que las rodea. Otras estrellas desprenden hielo.

En sus primeras etapas históricas, probablemente algunas estrellas como el Sol lanzaron fuera de sí grandes cantidades de compuestos orgánicos al espacio interestelar; de hecho y mediante el empleo de métodos radioastronómicos, se encuentran moléculas orgánicas simples que parecen rellenar el espacio entre las estrellas. La nebulosa planetaria más brillante que se conoce (una nebulosa planetaria es una nube en expansión, por lo general rodeada por una estrella explosiva llamada nova) parece contener partículas de carbonato de magnesio.

Estos átomos pesados –carbono, nitrógeno, oxígeno, silicio, y demás– flotan en el medio interestelar hasta que en algún momento posterior se da una condensación gravitacional local y se forman un nuevo sol y nuevos planetas. Este sistema solar de segunda generación está enriquecido por elementos pesados.

El destino de los seres humanos puede no estar conectado de una manera profunda con el resto del Universo, pero la materia de que estamos hechos se halla íntimamente ligada a procesos que ocurrieron durante inmensos intervalos de tiempo y enormes distancias en el espacio lejos de nosotros. Nuestro Sol es una estrella de tercera generación. Todo el material rocoso y metálico sobre el cual nos encontramos el hierro de nuestra sangre, el calcio de nuestros dientes, o el carbono de nuestros genes se produjeron hace miles de millones de años en el interior de una gigantesca estrella roja. Estamos hechos de material estelar.

Nuestra conexión molecular y atómica con el resto del Universo es un circuito cósmico real y nada caprichoso o imaginativo.

Al explorar el firmamento que nos rodea con el telescopio y con las naves espaciales, es posible que surjan otros circuitos. Pueden ser una red de civilizaciones extraterrestres intercomunicadas a las que probablemente mañana tengamos que unirnos nosotros. La fallida declaración de la astrología –que las estrellas influyen sobre nuestros caracteres individuales– no será confirmada por la astronomía moderna.

Pero la profunda necesidad humana de buscar y comprender nuestra conexión con el Universo, es un objetivo dentro de nuestro alcance.

27. Vida extraterrestre: una idea cuyo momento ha llegado

Hace miles de años, la idea de que los planetas estaban poblados por seres inteligentes resultaba inconcebible. Se pensaba que los propios planetas eran seres inteligentes. Marte era el dios de la guerra. Venus, la diosa de la belleza, y Júpiter, el rey de los dioses.

En los primeros tiempos de Roma, unos pocos escritores, Luciano de Samosata, por ejemplo, concibió que al menos la Luna era un lugar que estaba poblado como la Tierra. Su relato de ciencia-ficción describiendo un viaje a la Luna se tituló *La verdadera historia*. Por supuesto, era falsa.

En el Renacimiento surgió la idea de que los planetas no eran más que un reloj celeste, un reloj elegante, creado por el Señor para asombro y utilidad de los hombres. En 1600, Giordano Bruno fue quemado en la hoguera, en parte por dar publicidad a su teoría de que había otros mundos habitados por otros seres.

En los siglos siguientes, el péndulo apuntó en otra dirección. Escritores como Bernard de Fontenelle, Emmanuel Swedenborg, e incluso Immanuel Kant y Johannes Kepler, pudieron imaginar sin ningún problema de censura que todos los planetas estaban habitados. Por supuesto, en la idea se implicaba que el nombre del planeta prestaba carácter a sus habitantes. Los de Venus eran amorosos; los de Marte, guerreros o militares; los habitantes de Mercurio, inconstantes; los de Júpiter, alegres y joviales; y así sucesivamente. El gran astrónomo británico William Herschel incluso opinó que el Sol estaba habitado.

Pero a medida que el medio ambiente físico del Sistema Solar fue haciéndose más claro, y al hacerse también más evidente la excelente adaptación al medio ambiente de organismos de la Tierra, surgieron los escépticos. Probablemente, Marte y Venus estaban habitados, pero seguramente ni Mercurio, ni la Luna ni Júpiter. Y así sucesivamente.

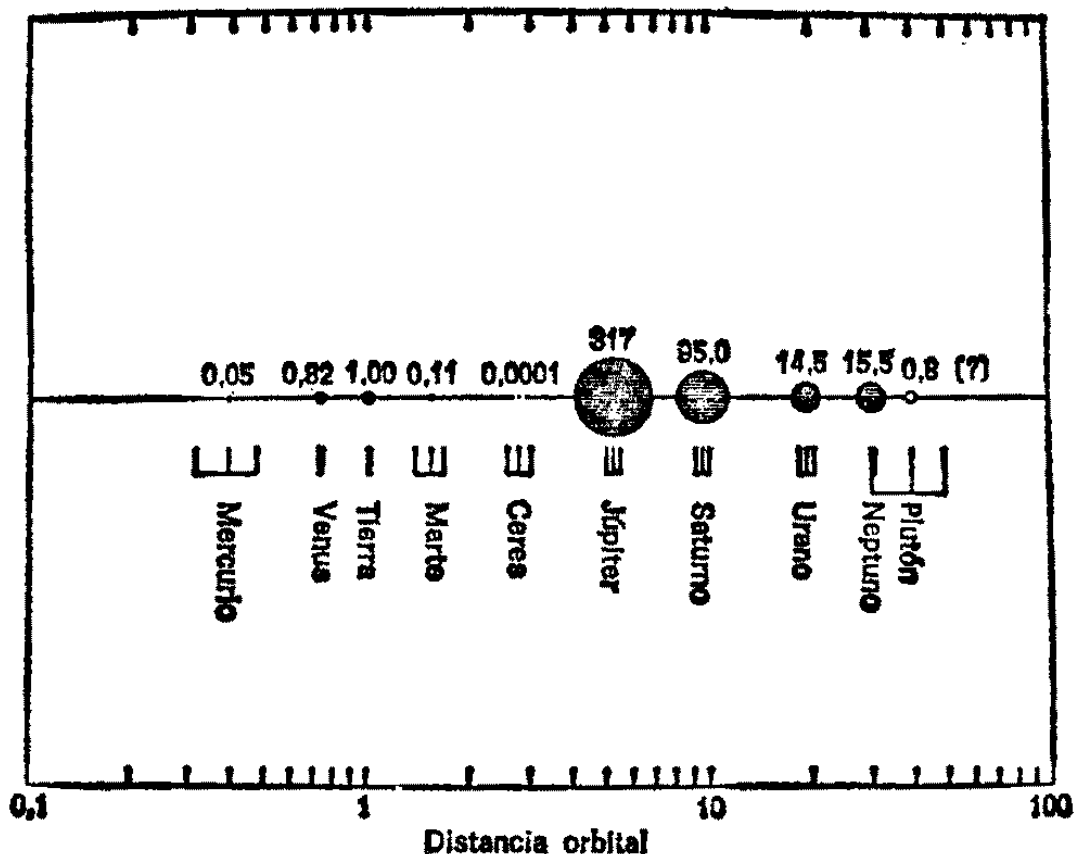
En las últimas décadas del siglo XIX, las observaciones del planeta Marte, realizadas por Giovanni Schiaparelli y Percival Lowell, despertaron la emoción pública ante la posibilidad de la existencia de inteligencia en nuestro planeta vecino planetario. La pasión de Lowell por la idea de que hubiese seres inteligentes en Marte y la amplia difusión de sus libros hicieron mucho por llamar la atención del público, como sucedió con los escritores de ciencia-ficción que siguieron la pauta marcada por Lowell.

Pero cuando las pruebas de la existencia de vida inteligente en Marte se fueron debilitando, y se fue sabiendo que el medio ambiente de Marte era inclemente de acuerdo con las normas terrestres, todo el entusiasmo popular se desvaneció.

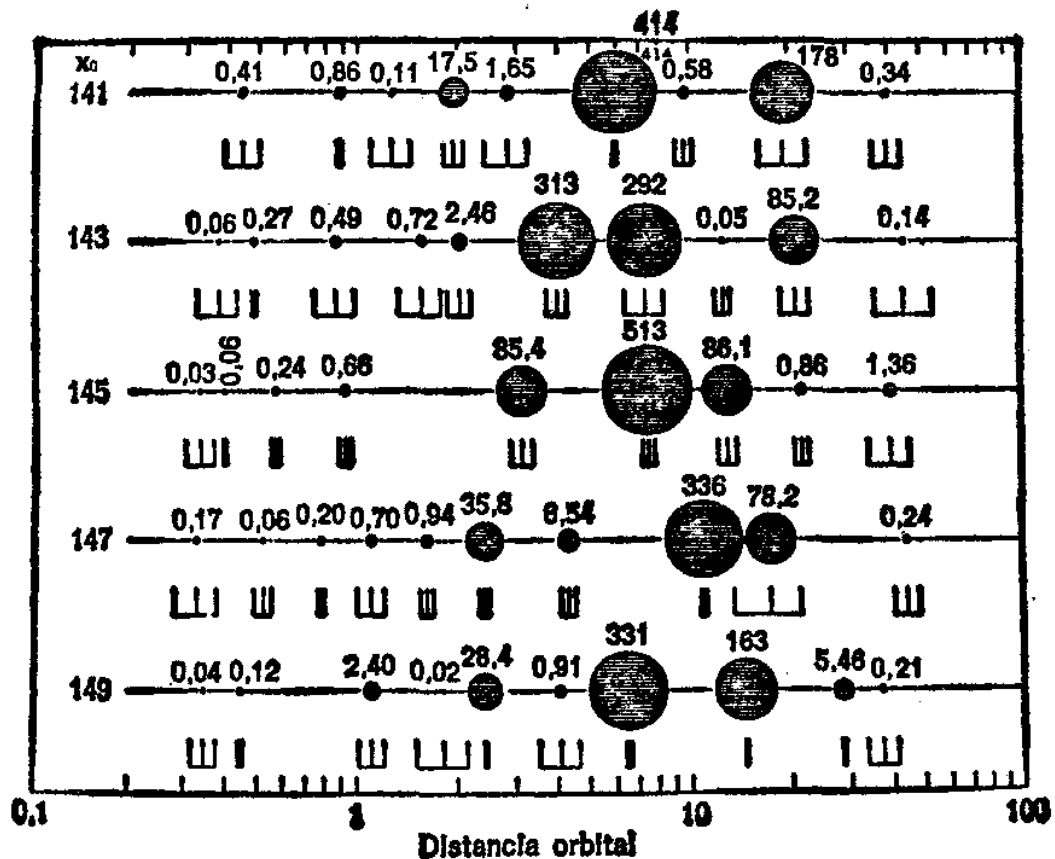
Por entonces, el interés científico por la vida extraterrestre había alcanzado su nadir. El mismo entusiasmo con que Lowell había perseguido la idea de la existencia de seres inteligentes en Marte y la atención que prestaba el hombre de la calle a estas ideas quedaron anuladas por otros muchos científicos. Por añadidura, un nuevo campo astronómico, la astrofísica, la aplicación de la física a las superficies e

interiores de las estrellas, habían logrado extraordinarios éxitos, siendo así que los jóvenes astrónomos más entusiastas se dedicaron al estudio de la astronomía estelar, abandonando, en gran medida, los estudios planetarios. El péndulo había oscilado tan lejos que en el período que siguió a la Segunda Guerra Mundial hubo – en todos los Estados Unidos– sólo un astrónomo dedicado a serias investigaciones físicas de los planetas, G. P. Kuiper, de la Universidad de Chicago. Los astrónomos no sólo habían prescindido de la vida extraterrestre, sino también de los estudios planetarios en general.

Desde 1950, la situación ha vuelto a sus antiguos cauces lentamente; el péndulo oscila de nuevo normalmente. El desarrollo de nuevos instrumentos de medida (subproducto de la Segunda Guerra Mundial), al principio con base en tierra y más tarde en el espacio, ha producido una masiva inyección de nuevos conocimientos básicos sobre los medios ambientes físicos de la Luna y de los planetas. Una vez más, los jóvenes científicos se han sentido atraídos por los estudios planetarios, no tan sólo los astrónomos, sino también los geólogos, químicos, físicos y biólogos. La disciplina los necesita a todos.



El Sistema Solar. Las distancias desde el Sol se muestran tomando como unidad la distancia a la Tierra. Las marcas en tridente son un índice de la excentricidad de una órbita planetaria y muestran las distancias más cercana, promedio, y más lejana al planeta desde el Sol. Las masas de los planetas se expresan tomando como unidad a la masa terrestre. Los planetas jovianos se distinguen de los planetas terrestres por el reticulado.



Cinco sistemas solares modelo, obtenidos por Steven Dole en un experimento computacional sobre la Física de los orígenes de los sistemas solares. Los sistemas de Dole son claramente muy similares a nuestro Sistema Solar. Esta es una de las varias líneas de evidencia que sugieren que los sistemas planetarios son acompañantes habituales de las estrellas a todo lo largo y ancho de la galaxia. Cortesía de ICARUS.

Ahora sabemos que los fundamentos del origen de la vida están en los terrenos de la física y de la química; siempre que se exponen las atmósferas primitivas normales a las fuentes de energía común, los bloques de construcción de la vida en la Tierra caen de la atmósfera en períodos de días o semanas. Se han hallado compuestos orgánicos en los meteoritos y en el espacio interestelar. Se han encontrado pequeñas cantidades en medios ambientes tan poco hospitalarios como el de la Luna. Se sospecha que existen en Júpiter, en los planetas exteriores del Sistema Solar, así como en Titán, la luna más grande de Saturno. Tanto la teoría como la observación sugieren que los planetas son acompañantes habituales, sino constantes, de las estrellas, antes que una muy rara ocurrencia, como estuvo de moda creer en las primeras décadas de este siglo.

Por primera vez disponemos ahora de medios para establecer contacto con civilizaciones en planetas de otras estrellas. Es un hecho asombroso que el gran radiotelescopio de 30 m de diámetro del National Astronomy and Ionosphere Center, dirigido por la Cornell University en Arecibo, Puerto Rico, podría ser capaz de

comunicarse con otro idéntico situado en cualquier lugar de la Vía Láctea. Disponemos de los medios de comunicarnos no sólo venciendo distancias de centenares o miles de años-luz, sino que podemos hacerlo de esa manera en un volumen que contenga centenares de miles de millones de estrellas. La hipótesis de que existen civilizaciones muy avanzadas en otros planetas se está poniendo a prueba. Ya ha dejado de ser pura especulación. Ahora se halla en el terreno de la experimentación.

Nuestro primer intento de escuchar emisiones de sociedades extraterrestres fue el Proyecto Ozma. Organizado por Frank Drake, en 1960 en el National Radio Astronomy Observatory (NRAO) contempló dos estrellas en una frecuencia durante dos semanas. Los resultados fueron negativos. En la actualidad, se han llevado a la práctica proyectos mucho más ambiciosos en el Instituto de Radiofísica Gorki de la Unión Soviética, y en la NRAO, Estados Unidos. En total, probablemente se examinen unos cuantos centenares de cercanas estrellas en una o dos frecuencias. Pero incluso los cálculos más optimistas sobre las distancias a las estrellas más próximas sugieren que habrá que examinar centenares de miles de millones de estrellas antes de que por parte de una de ellas se reciba una señal inteligible. Esto requiere un gran esfuerzo que abarque un substancioso período de tiempo. Pero es un esfuerzo que está dentro de nuestros recursos, nuestras habilidades y nuestros intereses.

El cambio en el clima de opinión acerca de la vida extraterrestre se reflejó en 1971, mediante una conferencia científica celebrada en Biurakán, Armenia soviética, patrocinada conjuntamente por la Academia Soviética de Ciencias y la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos. Tuve el privilegio de asistir a esta reunión con la delegación americana. Los participantes representaban a los campos de la astronomía, física, matemáticas, biología, química, arqueología, antropología, historia, electrónica, tecnología de computadoras y criptografía. El grupo, que incluía a dos escépticos laureados Nobel, aparecía perfectamente marcado por sus límites tanto nacionales como disciplinarios. La conferencia concluyó que las oportunidades o posibilidades de que hubiese vida extraterrestre, además de nuestra capacidad tecnológica actual para poder comunicar con tales supuestas civilizaciones, eran suficientemente razonables como para iniciar una seria investigación. Algunas de las conclusiones específicas a que se llegaron fueron las siguientes:

- 1, Los sorprendentes descubrimientos de años recientes en los campos de la astronomía, biología, ciencia de computadores, y radiofísica han hecho que algunos de los problemas de las civilizaciones extraterrestres y su detección pasen del campo de la especulación al de la experimentación y observación. Por vez primera en la historia humana, es posible llevar a cabo detallados experimentos e investigaciones de este problema tan fundamental e importante.

2. Es probable que este problema tenga profundo significado en el futuro desarrollo de la Humanidad. Si en algún momento se descubre la existencia de civilizaciones extraterrestres, este hecho ejercerá enorme influencia en la capacidad tecnológica y científica humanas, hasta el punto de que tal descubrimiento podrá influir, positivamente, en todo el futuro del hombre. El significado práctico y filosófico de un contacto de éxito con una civilización extraterrestre sería tan enorme como para justificar el hecho de que realicemos ingentes esfuerzos. Las consecuencias de tal

descubrimiento, sin duda alguna, aumentarían de manera notable los conocimientos humanos.

3. Los recursos científicos y tecnológicos de nuestro planeta son ya suficientemente importantes como para permitirnos iniciar investigaciones orientadas hacia la búsqueda de inteligencia extraterrestre. Como norma, tales estudios han de proporcionar importantes resultados científicos, aun cuando la búsqueda específica de inteligencia extraterrestre no consiga éxito alguno. En la actualidad, estas investigaciones pueden llevarse a cabo con eficacia en varios países mediante sus propias instituciones científicas. Sin embargo, incluso en esta primera etapa, sería útil discutir y establecer programas de coordinación en cuanto se refiere a tales investigaciones e intercambiar información científica. En el futuro sería deseable combinar los esfuerzos de los investigadores de varios países para lograr objetivos de observación y experimentación. Consideramos adecuado que la búsqueda de inteligencia extraterrestre deba realizarse por representantes de toda la Humanidad.

4. En la Conferencia se han discutido diversos métodos que han de emplearse en la búsqueda de vida e inteligencia extraterrestre. La realización de la más elaborada de estas propuestas o métodos necesitaría considerable tiempo y esfuerzo y emplear unos medios económicos comparables a los que se dedican a la investigación espacial y nuclear. Sin embargo, también se pueden iniciar investigaciones en escalas más modestas.

5. Los participantes en la Conferencia consideran muy valiosa la investigación y experimentos que se realizan en la actualidad y que deben seguir efectuándose en el futuro en cuanto se relaciona con las naves espaciales, experimentos que han de orientarse hacia la búsqueda de vida en otros planetas de nuestro Sistema Solar. Recomiendan la continuación y esfuerzos en tales áreas como la de la química orgánica prebiológica, búsqueda de sistemas planetarios extrasolares y biología evolucionaría, que tanto se relacionan con el problema.

6. La Conferencia recomienda la iniciación de nuevas investigaciones específicas orientadas hacia modos o métodos de captar señales.

(Todas las actas y procedimientos de la conferencia se han publicado como *Comunicación con inteligencias extraterrestres*, Carl Sagan, Cambridge, Massachusetts, M.I.T. Press, 1973.)

Otra señal de la creciente aceptación de la búsqueda de inteligencia extraterrestre son las recomendaciones de la Comisión Inspectora de Astronomía de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos, a la que se había solicitado resumiera las necesidades de la astronomía para la década de los años 70. El informe de la comisión fue el primer informe nacional sobre el futuro de la astronomía que recomendaba la búsqueda de inteligencia extraterrestre, como posible importante subproducto de la investigación astronómica en un futuro próximo y justificación para fabricar grandes radiotelescopios.

Pisando un terreno más práctico, diremos que se están llevando a cabo también intensos estudios de laboratorio sobre los orígenes de la vida en la Tierra. Si el origen de la vida en la Tierra resulta haber sido muy «fácil», entonces también serán muchas las posibilidades de que haya vida en otros lugares del Universo.

Existe asimismo un proyecto en los Estados Unidos —el Proyecto Viking— para situar instrumentos en la superficie de Marte y buscar así formas de vida indígenas de aquel planeta.

Evidentemente, la idea de la vida extraterrestre es algo que, por suerte, preocupa al Mundo entero.

28. ¿Ha sido visitada la Tierra?

Por supuesto, la forma más barata y fácil de comunicarse con la Tierra, si usted fuera representante de una civilización extraterrestre avanzada, sería, sin duda, por radio. Un simple mensaje enviado a través del espacio con dirección a la Tierra costaría menos de un penique. Por tanto, parece razonable que en la búsqueda de inteligencia extraterrestre comencemos por investigar esta posibilidad. Pero, ¿hemos de abandonar otras posibilidades? ¿No sería una estupidez dedicar todos nuestros esfuerzos a escuchar mensajes radiados o a buscar señales de vida en Marte cuando aquí, en la Tierra, pueden existir pruebas de una vida extraterrestre?

Existen dos hipótesis de esta clase que han conseguido un puesto en la literatura popular. La primera de ellas sugiere, y a veces asegura, que la Tierra, hoy día, está siendo visitada por naves espaciales de otros mundos; ésta es la hipótesis de los platillos volantes u objetos voladores sin identificar. La segunda también postula que la Tierra fue visitada por este tipo de naves espaciales, pero en el pasado, antes de escribirse la Historia.

La hipótesis de los OVNIS, es decir la primera de las mencionadas, es tema muy complejo y que depende de la fiabilidad de los testigos. Hace unos años se publicó una amplia discusión sobre este problema en *UFO's: Un debate científico* (Carl Sagan y Thornton Page, editores, Ithaca, New York, Cornell University Press, 1972), en el cual se han aireado todos los aspectos del tema. Mi punto de vista personal es que no hay casos que al mismo tiempo sean muy seguros (comunicados independientemente por un gran número de testigos) y muy extraños (no explicables en términos de fenómenos postulados de manera razonable, como, por ejemplo, una extraña luz que se mueve podría ser la de un reflector de un avión meteorológico o la de una operación militar aérea de suministro de combustible). No existen casos, comunicados con absoluta seguridad, sobre extrañas máquinas que aterricen o despeguen, por ejemplo.

Hay otra aproximación a la hipótesis extraterrestre de los orígenes de los OVNIS. Esta valoración depende de un gran número de factores sobre los cuales conocemos muy pocas cosas y, de otros pocos más, acerca de los cuales no sabemos nada. Deseo hacer un cálculo de las probabilidades de que seamos visitados con frecuencia por seres extraterrestres.

Hoy día, se dispone de una gran gama de hipótesis que pueden examinarse de esa forma. Un ejemplo: Consideremos la hipótesis Santa Claus que mantiene que, durante un período de ocho horas o así, el 24-25 de diciembre de cada año, un duendecillo o enano visita cien millones de hogares en los Estados Unidos. Ésta es una hipótesis interesante y ampliamente discutida. Está cargada de fuertes emociones y se dice que por lo menos no hace daño a nadie.

Hagamos algunos cálculos. Supongamos que el duende en cuestión pasa un segundo en cada casa. Bien, sospecho que éste no es el verdadero cuadro que todo el mundo imagina, pero sigamos con el cálculo. Aun mostrándose muy rápido en sus visitas, y esto explicaría por qué hay mucha gente que no lo ve mucho, el duende,

invirtiendo un segundo por casa, tendría que pasar tres años llenando calcetines. He supuesto que no invierte ningún tiempo en ir de casa en casa. Aun contando con el popular reno, el tiempo pasado en cien millones de casas sigue siendo el de tres años y no el de ocho horas. Entonces, hemos de concluir que esta hipótesis es absurda.

Podemos hacer un examen parecido, pero con mayor inseguridad, de la hipótesis extraterrestre que sostiene que un gran número de OVNIS vistos sobre el planeta Tierra son vehículos espaciales procedentes de planetas de otras estrellas. Los informes indican que, al menos en casos recientes, estos fenómenos se han dado a diario, varios por día. No lo discutiré. Me voy a limitar a ser más conservador en este terreno y a suponer que tales visitas se reducen a sólo una por año. Veamos qué es lo que esto implica.

Hemos de tener en cuenta para ello el número, N , de existentes civilizaciones técnicas en la Galaxia, es decir civilizaciones mucho más avanzadas que la nuestra, civilizaciones que pueden, sea cuales fueren sus medios, llevar a cabo vuelos en el espacio interestelar. (Aunque los medios son difíciles, no forman parte de esta discusión, así como tampoco el mecanismo de propulsión del popular reno no afectó a nuestra discusión de la hipótesis Santa Claus.)

Se ha intentado detallar explícitamente los factores que entran en la determinación del número de tales civilizaciones técnicas de la Galaxia. No expondré aquí qué números se han asignado a las diversas cantidades implicadas: se trata de una multiplicación de muchas probabilidades, y la probabilidad de que podamos hacer un buen juicio disminuye a medida que recorremos la lista. N depende primero del índice de velocidad a que se formen las estrellas en la Galaxia, número que se conoce razonablemente bien. Depende del número de estrellas que tengan planetas, lo que es menos conocido, pero disponemos de algunos datos sobre esto. Depende de la fracción de tales planetas que estén situados de manera tan adecuada con respecto a su estrella que el medio ambiente sea factible para el origen de la vida. Depende de la fracción de tales posibles planetas en los que el origen de la vida se dé en realidad. Depende de la fracción de aquellos planetas en los cuales se da el origen de la vida y en los que, después que ha surgido la vida, se llega a una forma de vida inteligente. Depende de la fracción de aquellos planetas en los cuales han surgido formas inteligentes que implican la existencia de una civilización técnica substancialmente mucho más avanzada que la nuestra. Y depende de la esperanza o promedio de vida de tal civilización técnica.

Está claro que agotaremos los ejemplos a medida que avancemos cada vez más lejos. Tenemos muchas estrellas, pero sólo un ejemplo del origen de vida y únicamente un número muy limitado —algunos dirían que uno— de casos o ejemplos de la evolución de seres inteligentes y civilizaciones técnicas en este planeta. Y no tenemos casos mediante los cuales poder juzgar cuál será el promedio de vida de una civilización técnica. Sin embargo, hay un pasatiempo al que algunos de nosotros hemos dedicado algunos ratos, realizando nuestros mejores cálculos sobre estos números y obteniendo un valor de N . El resultado es que N iguala en años aproximadamente a una décima parte del promedio de vida de una civilización técnica.

Si pensamos en un número como el de diez millones (10^7) de años para el promedio de vida de una avanzada civilización técnica, obtendremos un número para tales civilizaciones en la Galaxia de cerca de un millón (10^6), es decir un millón de otras estrellas con planetas en los cuales hoy existen civilizaciones avanzadas. Realmente es difícil hacer un cálculo exacto. La elección de diez millones de años para el promedio de vida de una civilización técnica es más bien optimista. Pero aceptemos estos optimistas números y veamos a dónde nos llevan.

Supongamos que cada uno de estos millones de civilizaciones técnicas lanza Q vehículos espaciales interestelares en un año, de manera que $10^6 Q$ vehículos espaciales interestelares se lanzan durante el año. Supongamos que sólo se establece un contacto por cada viaje. En situación estable, hay algo así como $10^6 Q$ llegadas a uno u otro lugar por año. Ahora bien, seguramente hay unos 10^{10} lugares interesantes en la Galaxia dignos de ser visitados (nosotros tenemos varias veces 10^{11} estrellas) y, por lo tanto un término medio de $1/10^4 = 10^{-4}$ llegadas a cualquier lugar interesante (digamos un planeta) por año. Así pues, si tan sólo un OVNI ha de visitar la Tierra cada año, podemos calcular cuál es el índice de lanzamientos que precisa realizar cada uno de estos millones de mundos. El número resultante es de diez mil lanzamientos por año y por civilización y diez mil millones de lanzamientos por año en la Galaxia. Esto parece excesivo. Aun cuando imaginemos una civilización mucho más avanzada que la nuestra, el hecho de lanzar diez mil vehículos para que tan sólo aparezca aquí uno, probablemente es pedir mucho. Y si fuésemos más pesimistas acerca del promedio de vida de una civilización técnica, necesitaríamos proporcionalmente un índice mucho mayor de lanzamiento al espacio interestelar. Pero a medida que disminuye el promedio de vida, la probabilidad de que una civilización desarrolle vuelos interestelares también se reduce, como es lógico.

El físico americano Hong-Yee Chiu razona que es posible que llegue más de un OVNI por año a la Tierra. Pero su argumento sigue la misma línea del que acabo de presentar yo. Dicho físico calcula la masa total de metales que implica la construcción de estos vehículos espaciales durante esta historia de la Galaxia. El vehículo ha de tener algún tamaño —digamos que ha de ser mayor que la cápsula del Apolo—, y así podemos calcular cuánto metal se necesita. Resulta que habría que procesar la masa total de medio millón de estrellas y extraer todos sus metales. O si ampliamos el argumento y suponemos que únicamente se pueden someter a esta extracción minera las estrellas exteriores que se hallan a unos centenares de kilómetros aproximadamente de estrellas como el Sol, extracciones que habría que realizar mediante una tecnología superavanzada (más cerca del Sol sería imposible), hallamos que han de procesarse dos mil millones de tales estrellas o aproximadamente el 1 % de las estrellas de la Galaxia. Esto también suena a improbable.

Ahora bien, cualquiera puede alegar: «Bien, pero ése es un razonamiento un tanto discutible, porque es posible que dispongan de naves espaciales de plástico.» Sí, supongo que eso es posible. Pero el plástico ha de venir de algún sitio, y así el plástico contra metal cambia las conclusiones muy poco. Este cálculo nos proporciona cierta idea acerca de la magnitud de la tarea cuando se nos pide que creamos que hay visitas rutinarias y frecuentes a nuestro planeta.

¿Y qué hay sobre los posibles argumentos en contra? Por ejemplo, se podría alegar que somos objeto de especial atención, pues hemos perfeccionado toda clase de muestras de civilización y de alta inteligencia como las armas nucleares, y puede ser, por tanto, que seamos objeto de interés para los antropólogos interestelares. Quizá. Pero hemos señalado la presencia de nuestra civilización técnica sólo en las últimas décadas. Las noticias precisan recorrer algunas decenas de años-luz. Por otra parte, todos los antropólogos del mundo no convergen en las Islas Andaman sólo porque allí se haya inventado la red de pescar. Hay unos pocos especialistas en redes de pesca y unos pocos especialistas andamianos; y estos tipos dicen: «Bien, algo terrible está sucediendo en las Islas Andaman. Tengo que pasarme allí un año, porque, si no voy ahora, me lo perderé, lo pasaré por alto.» Pero los expertos en alfarería y los especialistas en los aborígenes de Australia no hacen las maletas y parten para el océano Índico.

Imaginar que hay algo por completo fascinante en lo que está ocurriendo aquí es precisamente contrario a la idea de que estamos rodeados por otras civilizaciones. Porque si esto último es cierto, nuestro tipo de civilización debe ser muy común. Y sino somos muy comunes, entonces es que no habrá muchas civilizaciones avanzadas o, al menos, lo suficientemente avanzadas como para enviar visitantes.

Aun así, ¿no es posible que sea cierta o acertada la segunda hipótesis OVNI: de que en épocas prehistóricas o aún más recientes un vehículo espacial aterrizó en la Tierra? No hay manera de que podamos excluir tal contingencia. ¿Cómo podríamos probarla?

Recientemente se han publicado muchos libros que pretenden demostrar la realidad de tales visitas. Los argumentos son de dos clases: leyenda y artefactos. Mencione este tema en el libro *Vida Inteligente en el Universo*, escrito con el astrofísico soviético I. S. Shklovskii, y publicado en 1966. Examiné una sugestiva y típica leyenda de contactos entre nuestros antepasados y un, al parecer, representante de una sociedad superior. La leyenda, tomada de la más antigua mitología sumeria, es importante, porque los sumerios son los antecedentes directos de nuestra propia civilización. Se supone que un ser superior enseñó a los sumerios matemáticas, astronomía, agricultura, organización política y social y lenguaje escrito, todas las artes necesarias a la transición de una sociedad cazadora a la primera civilización.

Pero por muy provocativas que fueran estas leyendas, concluí que era imposible demostrar contactos extraterrestres a juzgar por tales leyendas. Hay alternativas plausibles en su explicación. Podemos entender por qué los sacerdotes pudieron fabricar mitos sobre seres superiores que habitan los cielos y orientan a los seres humanos sobre cómo ordenar sus asuntos. Entre otras «ventajas», tales leyendas permiten a los sacerdotes controlar a la gente.

Sólo hay una clase de leyenda que podría ser convincente: cuando la información que contiene la leyenda no pudo ser generada por la civilización que creó la leyenda –si, por ejemplo, un número transmitido desde hace miles de años como sagrado resulta ser el constante de la estructura nuclear. Éste sería un caso que merecería toda consideración.

Otro caso convincente sería, por ejemplo, cierta clase de artefacto. Si se hallara un artefacto perteneciente a una antigua civilización cuya tecnología estuviese más allá

de los conocimientos que privan en la actualidad en tal campo, entonces tendríamos un interesante caso *prima facie* de visita extraterrestre. Otro ejemplo sería la existencia de un manuscrito, encontrado en un monasterio irlandés que contuviese el diagrama del circuito electrónico para un receptor de radio superheterodino. Habría que tener sumo cuidado sobre la procedencia de este artefacto, al igual que los coleccionistas muestran sumo cuidado con un recién descubierto cuadro de Rafael. Tendríamos que asegurarnos de que ningún pícaro irlandés contemporáneo fuese la fuente del diagrama del circuito.

Que yo sepa, no hay tales leyendas ni tales artefactos. Por ejemplo, todos los artefactos antiguos mencionados por Erik von Daniken en su libro *¿Carrozas de los dioses?* tienen explicaciones alternativas y meritorias. La representación de seres con cabezas grandes y alargadas, que se parecen a cascos espaciales, podrían muy bien ser versiones artísticas de unas máscaras ceremoniales que cubren la cabeza normal o expresiones de una excesiva hidrocefalia. De hecho, la esperanza o, más bien, suposición de que los astronautas extraterrestres se parezcan a los astronautas soviéticos o americanos, desde los trajes espaciales hasta los ojos, es, probablemente, tan absurda como la idea misma de la visita a la Tierra. Del mismo modo, la idea expresada por Von Daniken y otros de que los antiguos astronautas construyeron campos de aviación, emplearon cohetes, e hicieron estallar bombas nucleares en la Tierra es absurda en extremo, porque precisamente somos nosotros quienes hemos desarrollado esta tecnología. Un visitante del espacio no se hallaría tan cerca de nosotros en tales terrenos. Es como si en 1870 hubiésemos expresado la misma idea, pero diciendo que los extraterrestres emplean globos de aire caliente para su exploración del espacio. Lejos de ser demasiado audaces, lo que expresan tales ideas es una total falta de imaginación.

Por otra parte, los relatos populares que hablan de supuestos contactos con extraterrestres son en extremo chauvinistas.

Un autor americano llamado Richard Shaver alega qué las rocas ordinarias, cortadas en finas rebanadas, contienen un conjunto de fotografías dejadas por una antigua civilización, fotografías que se pueden montar para proyectarlas como una película. Y añade: elegir cualquier roca y cortarla en rebanadas.

En el altiplano de Nazca, Perú, hay una serie de gigantescas figuras geométricas. Estando entre ellas son difíciles de ver, pero aparecen muy claras cuando se las observa desde el aire. Es fácil comprobar cómo una antigua civilización humana pudo hacer tales figuras. Pero, ¿por qué? —nos preguntamos—, ¿por qué una civilización extraterrestre había de llevar a cabo semejantes construcciones o figuras? Si las gentes en aquella época creían en la existencia de dioses en el cielo, no tiene nada de particular imaginarles haciendo estas marcas gigantescas para comunicarse así con dichos dioses. Las marcas y figuras pueden ser una especie de oración gráfica. Pero no demuestran, necesariamente, la realidad del supuesto receptor de la oración.

Hay otros casos que parecen ser convincentes en un principio, como, por ejemplo, la existencia de un cubo de acero perfectamente fresado, que se dice está en el museo de Salzburgo y que fue hallado en estratos geológicos que tenían millones de años de antigüedad. O la recepción de señales de llamada por televisión emitidas desde el espacio durante tres años.

Estos casos son seguramente burdas mentiras.

Asimismo, hay circunstancias arqueológicas igualmente provocativas que los escritores de tales libros sensacionalistas han pasado por alto. Por ejemplo, en el friso de la gran pirámide azteca de San Juan Teotihuacán, fuera de la ciudad de México, hay una figura que se repite y que se describe como el dios de la lluvia, pero que se parece enormemente a un vehículo anfibio con cuatro faros. Ni por un momento creo que tales vehículos anfibios fuesen indígenas en el tiempo de los aztecas, entre otras razones, porque semejantes artefactos están muy cerca de lo que nosotros hemos creado hoy.



El dios de la lluvia, en el friso del Templo del Sol, en San Juan Teotihuacán, México. Fotografía por el autor.

Estos artefactos son, en realidad, pruebas psicológicas proyectivas. La gente puede ver en ellos lo que desee. No hay nada que impida a alguien ver a su alrededor señales o muestras de antiguas visitas de seres extraterrestres. Para una persona con mentalidad medianamente escéptica tales pruebas le resultarán siempre muy poco convincentes. Como el significado e importancia de tal descubrimiento serían enormes, debemos emplear un gran razonamiento crítico y adoptar posturas muy escépticas al tratar el tema. Los datos de que disponemos al respecto son incapaces de pasar por el fino tamiz de un detallado examen; en consecuencia, hemos de seguir mostrándonos algo más que escépticos, si es que nos sentimos realmente interesados por la llamada inteligencia extraterrestre.

29. Estrategia en la búsqueda de la inteligencia extraterrestre



Gran radiotelescopio de la Cornell University en Arecibo, Puerto Rico. Cortesía del National Astronomy and Ionosphere Center.

Supongamos que concertamos una reunión en cualquier lugar de la ciudad de New York con un extraño que no conocemos y sobre el que nada sabemos, cita más bien absurda, pero que será útil a nuestros propósitos. Le estamos buscando y él nos está buscando a nosotros. ¿Cuál es nuestra estrategia de búsqueda? Probablemente, no permaneceremos durante una semana en la esquina de la Calle

78 y Madison Avenue. En lugar de hacer esto, recordaríamos que en la ciudad de New York hay un cierto número de lugares famosos, tan bien conocidos para tal individuo como para nosotros. Entonces comenzaríamos a estudiar estos lugares: Estatua de la Libertad, Empire State Building, Grand Central Station, Radio City Music Hall, Lincoln Center, edificio de las Naciones Unidas, Times Square y, posiblemente, City Hall. Incluso podríamos examinar algunas otras posibilidades menores, como el Yankee Stadium, la entrada de Manhattan al Staten Island Ferry. Pero no hay un número Infinito de posibilidades. No hay millones de posibilidades, porque sólo hay una docena, y con tiempo podremos estudiarlas todas.

La situación es la misma en cuanto se refiere a la estrategia de búsqueda mediante una comunicación de radio interestelar. En ausencia de un anterior o primer contacto, ¿cómo sabemos por dónde empezar? ¿Cómo sabemos qué frecuencia o «estación» buscar?

Hay por lo menos millones de posibles bandas de frecuencia de radio. Pero una civilización interesada en comunicar con nosotros comparte también con nosotros conocimientos comunes sobre radioastronomía y sobre nuestra Galaxia. Por ejemplo, saben que el átomo más abundante en el Universo, el hidrógeno, emite característicamente en una frecuencia de 1,420 megahertzios. Saben que lo sabemos. Saben que sabemos que lo saben. Y así sucesivamente. Hay otras moléculas interestelares abundantes, como el agua o el amoníaco, que tienen sus propias frecuencias de emisión y absorción. Algunas de éstas se hallan en una región del espectro de radio galáctico, donde hay menos ruidos de fondo que en otras. Ésta también es una información que pudiéramos calificar de compartida. Los estudiosos de este problema han confeccionado una lista de una docena de posibles frecuencias que parece deben examinarse. Incluso se concibe que la vida basada en el agua comunique en frecuencia de agua, la vida basada en el amoníaco en frecuencias de amoníaco, y así sucesivamente.

Al parecer, existen posibilidades de que las civilizaciones extraterrestres avanzadas estén enviando señales de radio hacia nosotros, y que nosotros poseamos la tecnología adecuada para recibir tales señales. ¿Cómo habría de organizarse la búsqueda de estas señales? Los actuales radiotelescopios, incluso los más pequeños, deberían ser adecuados para llevar a cabo una búsqueda preliminar. En efecto, las investigaciones que en este campo se llevan a cabo en el Instituto de Radiofísica Gorki, de la Unión Soviética, requieren el empleo de telescopios e instrumental que son bastante modestos si los juzgamos con arreglo a los standards contemporáneos.

El muy capaz y competente presidente de la Academia de Ciencias Soviéticas, M. V. Keldish, una vez dijo, guiñándome el ojo que «cuando se descubra la inteligencia extraterrestre llegará a ser un importante problema científico». Uno de los primeros físicos americanos discutió conmigo que el mejor método para buscar inteligencia extraterrestre es «hacer» astronomía ordinaria; si se ha de realizar el descubrimiento, se hará sin ninguna complicación y cuando menos se espere. Pero me parece que podemos hacer algo para ayudar al éxito de tal búsqueda, y que el hecho de colaborar con la radioastronomía no es lo mismo que buscar explícitamente ciertas estrellas, frecuencias, intervalos de frecuencias, y constantes de tiempo, todo ello orientado al encuentro de la inteligencia extraterrestre.

Pero, para ello, es necesario investigar enormes cantidades de estrellas y muchas posibles frecuencias. Sin duda alguna, sería muy largo un programa basado en una búsqueda razonable. Y, por otra parte; nadie duda de que esta última, realizada durante todo el tiempo con un gran telescopio, duraría décadas, por lo menos. Los observadores de radio, en tal empresa, por muy entusiastas que se mostraran en la búsqueda de inteligencia extraterrestre, terminarían por aburrirse tras muchos años de inútil labor. Un radioastrónomo, al igual que otros científicos, está interesado en trabajar sobre problemas que muestren posibilidades de inmediatos resultados.

La estrategia ideal implicaría un gran telescopio que dedicara la mitad del tiempo al descubrimiento de inteligencia extraterrestre, y la otra mitad, al estudio de objetivos radioastronómicos más convencionales, como los planetas, pulsars, moléculas interestelares, etc.. La dificultad en usar varios de los actuales observadores de radio, digamos que cada uno de ellos el 1 % de su tiempo, está en que dichas actividades tendrían que llevarse a cabo durante muchos siglos para alcanzar una razonable probabilidad de éxito.

Así pues, habría que examinar una amplia variedad de objetos: estrellas tipo G, como la nuestra; estrellas tipo M, que son más antiguas, y objetos extraños o exóticos, que pueden ser agujeros negros o posibles manifestaciones de actividades de reformas astrales. El número de estrellas y otros objetos de nuestra propia Vía Láctea es de unos doscientos mil millones, y el número que debemos examinar para conseguir cierta probabilidad de descubrir tales señales parece ser, al menos, de millones.

Hay una estrategia alternativa para buscar penosamente cada millón de estrellas y descubrir señales de una civilización no mucho más avanzada que la nuestra. Podríamos examinar toda una galaxia muy pronto, buscando también señales de una civilización mucho más avanzada que la nuestra (véanse capítulos 34 y 35). Un pequeño radiotelescopio puede orientarse hacia la más cercana galaxia espiral, hacia la que esté más cerca de la nuestra, la gran galaxia M31 en la constelación de Andrómeda, y simultáneamente, observar doscientos mil millones de estrellas. Aun cuando muchas de estas estrellas estuvieran radiando con una tecnología ligeramente superior a la nuestra, no captaríamos sus señales. Pero si solamente unas pocas radian con la potencia de una civilización muy avanzada, podríamos detectarlas fácilmente. Además de examinar las estrellas cercanas que nos aventajan muy ligeramente en tecnología, parece que tiene sentido, por lo tanto, examinar al mismo tiempo muchas estrellas de las galaxias vecinas, ya que tan sólo unas pocas de ellas pueden estar habitadas por civilizaciones muchísimo más avanzadas que la nuestra.

Hasta ahora hemos estado describiendo la búsqueda de señales radiadas en nuestra dirección general por civilizaciones interesadas en comunicarse con nosotros. Pero los terrestres no estamos radiando señales con dirección a alguna estrella o estrellas específicas. Si todas las civilizaciones escuchan y no transmiten, podríamos llegar a la errónea conclusión de que la Galaxia está deshabitada, excepto nuestra propia existencia. Así pues, se ha propuesto —como alternativa y empresa mucho más costosa— que nosotros también «paremos la oreja»; es decir que trabajemos sobre señales que una civilización usa para sus propios propósitos, como, por ejemplo, transmisiones de radio y televisión domésticas, sistemas de

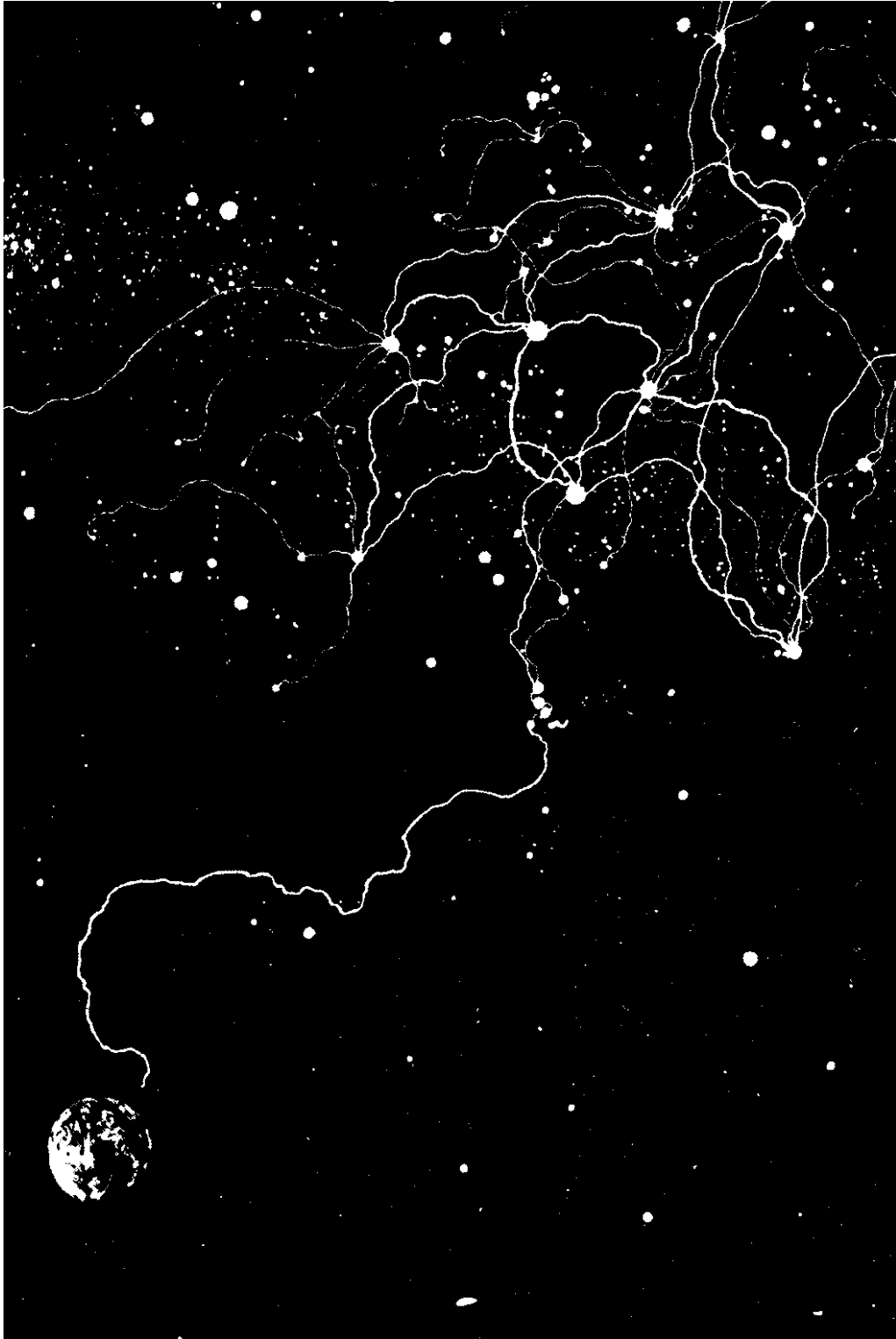
radar y demás. La construcción y funcionamiento de un gran radiotelescopio, que dedicara la mitad del tiempo a una rigurosa búsqueda de señales enviadas hacia la Tierra por una civilización extraterrestre, costaría decenas de millones de dólares (o rublos). Un conjunto de radiotelescopios diseñados para «husmear» a una distancia de algunos centenares de años-luz costaría muchos miles de millones de dólares.

Por añadidura, la probabilidad de éxito en lo que llamamos aquí «husmear» puede ser baja. Hace cien años no lanzábamos señales de radio o televisión al espacio. Dentro de cien años, el perfeccionamiento de las transmisiones de radio vía satélite y televisión por cable, así como la aparición de nuevas tecnologías, pueden significar que, una vez más, no saldrán al espacio señales de radio o televisión. Puede ser que tales señales sean detectables sólo durante unos cuantos centenares de años en la historia de un planeta, historia que se contará en miles de millones de años. Por tanto, la empresa de «husmear» o «fisconear», además de resultar costosa, también puede tener muy pocas probabilidades de éxito.

Es un tanto curiosa la situación en que nos encontramos. Al menos, hay una buena probabilidad de que haya muchas civilizaciones, lanzando señales hacia nosotros. Poseemos la tecnología para descubrir tales señales a distancias inmensas, al otro lado de la Galaxia. Excepto algunos pequeños esfuerzos realizados por los Estados Unidos y la Unión Soviética, nosotros —es decir, la Humanidad— no estamos llevando a cabo la búsqueda de inteligencia extraterrestre. Tal empresa es suficientemente emocionante y, al menos, lo bastante respetable para que pudiese haber pocas dificultades en dedicar personal a un radioobservatorio diseñado para este propósito, personal entre el cual figurasen científicos capaces e innovadores, científicos con ideas. El único obstáculo parece ser el dinero.

Aunque el hecho no sea una bagatela, lo cierto es que algunas decenas de millones de dólares (o rublos) representan, sin embargo, una cantidad de dinero que realmente está al alcance de individuos ricos y fundaciones. De hecho, hay en la astronomía una larga y orgullosa historia de observatorios fundados por individuos particulares y por algunas fundaciones. El Lick Observatory, en Mount Hamilton, California, fue fundado por el señor Lick (que deseaba construir una pirámide, pero se conformó con un observatorio, en cuya base está enterrado); el Yerkes Observatory, en Williams Bay, Wisconsin, fundado por el señor Yerkes; el Lowell Observatory de Flagstaff, Arizona, fundado por el señor Lowell, y el Mount Wilson y Mount Palomar Observatories, en California del Sur, fundación establecida por el señor Carnegie. Es posible que pronto llegue el dinero del Gobierno. Un dinero que pueda costear tal empresa. Después de todo, cuesta aproximadamente lo que los aviones americanos que remplazaron a los derribados en el Vietnam y en la semana de la Navidad de 1972. Pero un radiotelescopio diseñado para la comunicación con la inteligencia extraterrestre y, junto a él, un buen centro de exobiología, sin duda alguna sería un adecuado monumento conmemorativo para algunos de nosotros.

30. Si tenemos éxito...



Una red de civilizaciones galácticas, en comunicación mutua. Ilustración de Jon Lomberg.

Hay gente que se preocupa al reflexionar sobre el problema de una comunicación interestelar. ¿Qué sucederá si entramos en contacto con una civilización mucho más avanzada que la nuestra?

En la Tierra, la historia de los contactos entre civilizaciones tecnológicas avanzadas y atrasadas es más bien triste. Las sociedades menos avanzadas técnicamente – aunque puedan disfrutar de matemáticas superiores, astronomía, poesía, o preceptos morales– desaparecen. Si ésta es aquí una ley natural de selección, ¿por qué no ha de serlo en cualquier otra parte? Y en ese caso, ¿no debemos mantenernos quietos?

Están los que predicen una terrible catástrofe si radiamos nuestra presencia a otra estrella. Los extraterrestres vendrán y nos comerán o sucederá algo igualmente desagradable. (Realmente, si somos especialmente sabrosos, sólo necesitan una muestra de uno de nosotros, determinar qué secuencia de aminoácidos nos hacen apetitosos y luego reconstruir las apropiadas proteínas en su propio planeta. El elevado coste del transporte nos convierte en algo poco apetecible desde el punto de vista económico.) El mensaje a bordo del *Pioneer 10* fue criticado por unos cuantos porque «denunciaba» nuestra posición en la Galaxia. Dudo mucho que tengamos la suficiente categoría como para constituir una amenaza a alguien ahí fuera. Somos la civilización más retirada y la que menos probabilidades tiene de entrar en comunicación, y los enormes espacios entre las estrellas son una especie de cuarentena natural que nos impiden, en un futuro próximo, mezclarnos por ahí arriba o abajo con otros seres.

Pero, en cualquier caso, ya es demasiado tarde. Ya hemos anunciado nuestra presencia. Las iniciales emisiones de radio, comenzando con Marconi y alcanzando notable intensidad en los años 20, han atravesado la ionosfera y se extienden a la velocidad de la luz en un frente ondulado esférico centrado alrededor de la Tierra. Y en ese frente una avanzada civilización técnica puede recoger las transmisiones de Enrico Caruso, el juicio Scopes, las elecciones de 1928, las grandes orquestas de jazz. Éstos son los precursores de las culturas de la Tierra, nuestros primeros emisarios a las estrellas.

Si hay civilizaciones técnicas a una distancia de cincuenta años-luz, ahora mismo estarán descubriendo estas extrañas y primitivas señales. Aun cuando estén preparadas para responder instantáneamente con la nave espacial más rápida, pasarán por lo menos otros cincuenta años antes de que sepamos algo de ellos. El *Pioneer 10* tardará un millón de años en recorrer la misma distancia.

Es demasiado tarde para mostrarnos tímidos o con dudas. Hemos anunciado nuestra presencia al Cosmos, de una manera tardía, a tientas, poco representativa... ¡pero aquí estamos!

Las enormes distancias entre las estrellas implican que no habrá diálogos cósmicos mediante transmisiones de radio. Supongamos que recibimos una señal de una civilización situada a una distancia posible para el contacto, digamos, por ejemplo, a unos trescientos años-luz. El mensaje quizá diría: «¡Hola, amigos! ¿Cómo estáis?» Estando ya preparados para este momento inmediatamente, replicaremos diciendo:

«Muy bien, ¿y vosotros?» Esta mutua comunicación costaría un tiempo aproximado de seiscientos años. En consecuencia, no sería una conversación muy animada.

Hace seiscientos años la peste asoló a Europa, la dinastía Ming acababa de descubrirse, Carlos el Prudente se sentaba en el trono francés, Gregorio XI era Papa, y los aztecas estaban ahorcando a los que contaminaban el aire y el agua. Seiscientos años representa un largo período en la Tierra. La comunicación interestelar por radio no será un diálogo, sino un monólogo. Los tipos ignorantes escuchan a los listos, como si el astrólogo de Carlos el Prudente recibiera un mensaje nuestro.

Aunque el período de tiempo para que una señal de radio recorra una distancia de trescientos años-luz siga siendo de trescientos años, la cantidad de información que puede transmitir es enorme. De hecho y con instrumentos no mucho más avanzados que los nuestros, en unos cuantos días se podría transmitir todo lo más importante relacionado con nuestra civilización. Tardaría trescientos años en llegar allí, pero la transmisión más rápida siempre será en la otra dirección, desde los listos (ellos) a los ignorantes (nosotros). Es posible que surquen el espacio varias transmisiones a la vez dirigidas a la Tierra y así habrá que aprender el lenguaje de tales transmisiones. Pero lo que sí está claro es que no las oiremos si no escuchamos.

Pero, ¿cómo podríamos descifrar tal mensaje? Los eruditos europeos invirtieron más de un siglo en llevar a cabo equivocados intentos de descifrar los jeroglíficos egipcios antes de descubrir la Piedra Roseta y el brillante ataque sobre su traducción llevada a cabo por Young y Champollion. Algunas lenguas antiguas, como los glifos de la isla de Pascua, escritos de los mayas y algunas variedades de escritura cretense, hoy día aún siguen siendo totalmente no intraducibles, sino más bien indescifrables. Sin embargo, eran lenguas de seres humanos como nosotros mismos, con instintos biológicos comunes, y lejos de nosotros en el tiempo sólo en unos centenares o miles de años. ¿Cómo podemos esperar que una civilización muchísimo más avanzada que la nuestra y basada enteramente en diferentes principios biológicos, pueda enviar mensajes que nosotros entendamos?

Las diferencias en los dos casos son la intención y la inteligencia. El objetivo de los glifos de la isla de Pascua no era comunicar con los científicos del siglo xx. Era comunicarse con otros habitantes de la isla de Pascua o posiblemente con los dioses. La idea de un código o clave, al menos en el terreno de la inteligencia militar, es siempre confeccionar un mensaje difícil de descifrar. Pero lo que aquí estamos tratando es lo opuesto. No hablamos de criptografía, sino más bien de una anticriptografía, diseño de un mensaje realizado por una civilización muy inteligente, y diseño tan sencillo que incluso civilizaciones más primitivas que la nuestra puedan leer.

El mensaje se basará en detalles comunes entre civilizaciones transmisoras y receptoras. Estos detalles comunes, por supuesto, no será ningún lenguaje hablado o escrito ni tampoco se basará en nuestros materiales genéticos, sino que más bien han de versar sobre aquello que compartimos en común: el Universo que nos rodea, ciencia y matemáticas. Hay esquemas mediante los cuales se transmiten propuestas matemáticas, propuestas que llevan consigo conceptos tales como la suma y la igualdad y negación, y desembocando después en conceptos más sofisticados. Hay esquemas sobre el envío de mensajes por radio en los que el número de elementos

son claramente algo así como fotografías y que cuando se reconstruyen como tales se llegan a entender muy bien. La placa del *Pioneer 10* es un ejemplo de la clase de fotografía o dibujo que, transmitido como un objeto en una sonda espacial o como foto o cuadro por transmisión de radio, sería entendido muy bien por una civilización extraterrestre muy avanzada. De la misma manera, unos mensajes parecidos que lleguen hasta nosotros, los entenderemos perfectamente, si tenemos la curiosidad de escuchar.

Hay algunos científicos que consideran la ausencia de diálogo como algo realmente molesto, como si los diálogos significativos fueran cosa común en este planeta. Philip Morrison, del Massachusetts Institute of Technology, ha señalado que tales monólogos culturales son muy comunes en la historia de la Humanidad; que, por ejemplo, todo el patrimonio cultural de la Grecia clásica, que ha influido tan profundamente sobre nuestra civilización, ha viajado sólo en una dirección con el tiempo. No hemos enviado nuestra sabiduría a los griegos. Los griegos nos han enviado su sabiduría a nosotros, sobre papel y pergamino, y no por ondas de radio, pero el principio es el mismo.

Los conocimientos éticos, científicos, lógicos y culturales que se conseguirán mediante las transmisiones galácticas, pueden ser, a la larga, el acontecimiento más importante y profundo en la historia de nuestra civilización. Se obtendrá información en unos campos que no se podrán calificar de humanidades, porque nuestros comunicantes no serán humanos. Posiblemente, habrá una desviación, por así decirlo, de la forma en que nosotros vemos el Cosmos y a nosotros mismos. Habrá una nueva perspectiva en las diferencias que percibimos entre nosotros, una vez que captemos las enormes diferencias que existirán entre nosotros y los seres de otras partes, seres con los cuales, sin embargo, tenemos intereses intelectuales comunes.

Pero, al mismo tiempo, no es probable que haya un cambio discontinuo. La información puede llegar cualquier día mediante nuestros radiotelescopios en rapidísima transferencia. El hecho de descifrar el mensaje, la comprensión de su contenido y la aplicación extremadamente cuidadosa de lo que se nos ha enseñado pueden costar décadas e incluso siglos.

Es muy probable que el impacto cultural del contenido del mensaje sea pequeño. Sin embargo, el principal impacto lo constituirá la recepción del propio mensaje. El alunizaje de hombres en la Luna se considera hoy día, al menos en los Estados Unidos, cosa tan normal y corriente, que sospecho que puedo decir que la recepción de un mensaje de una civilización extraterrestre, mensaje que cueste mucho tiempo descifrar y entender, no será tampoco cosa muy sorprendente para el hombre de la calle.

Y hasta es posible que deseemos responder.

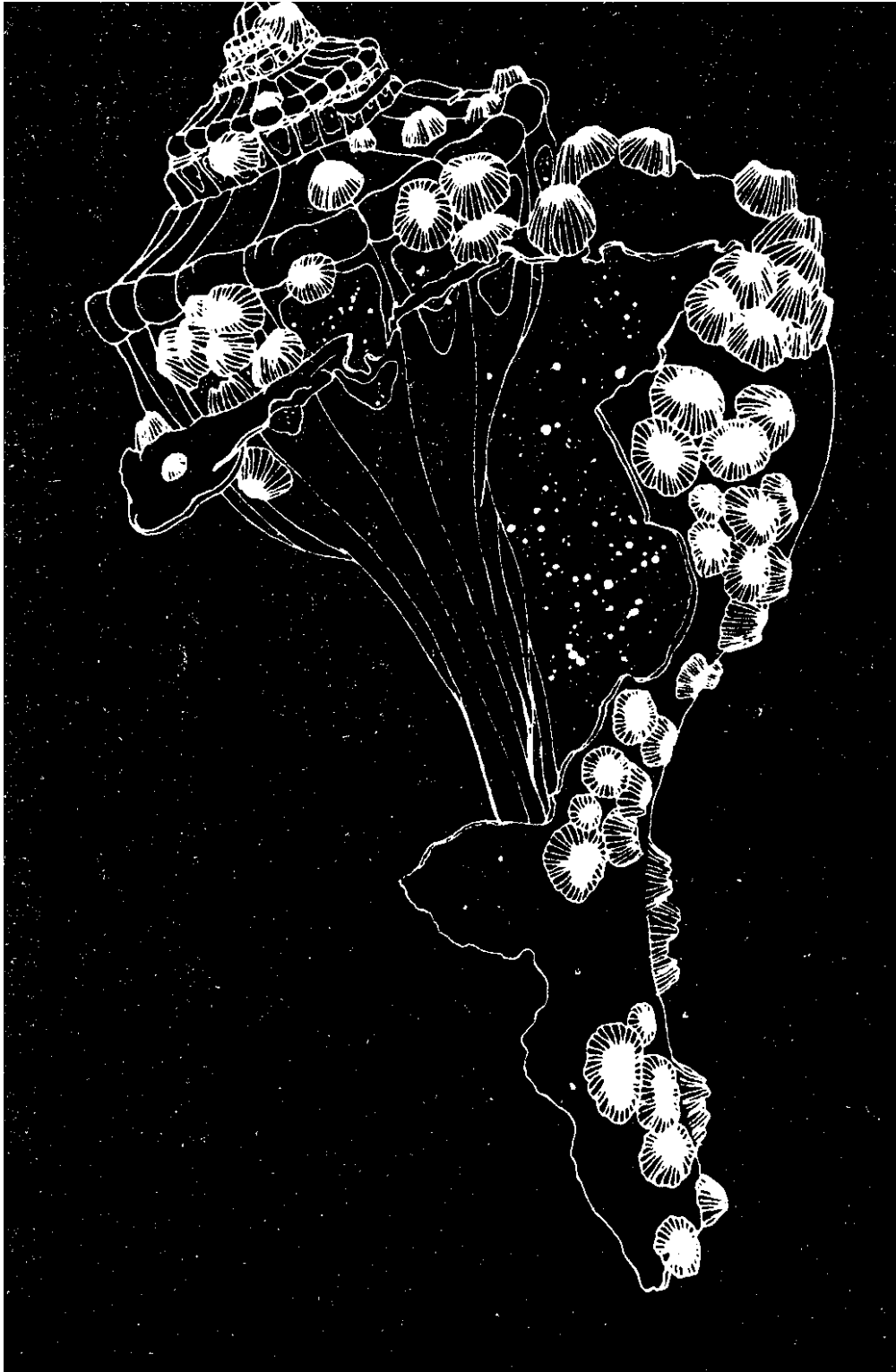
¿Por qué una sociedad avanzada desea realizar esfuerzos por comunicar tal información a otra sociedad atrasada y nueva como la nuestra? Puedo imaginar que les impulsa la benevolencia; que durante sus fases de aparición se ayudaron a sí mismos con tales mensajes y que ésta es una tradición digna de continuación. Hay algunos relatos de ciencia-ficción, en los cuales los contenidos de los mensajes son malévolos, en los que recibimos instrucciones para construir una máquina, que luego

fabricamos obedientemente y que, más tarde, también de manera sumisa toma posesión de la Tierra. Pero nadie construirá a ciegas tal máquina. Nadie obedecerá las instrucciones contenidas en un mensaje extraterrestre hasta que se comprendan bien las bases científicas de tales instrucciones. Ésta es una de las razones por las cuales el impacto cultural de un mensaje ha de ser pequeño. No creo que haya ningún peligro de importancia en la recepción de tal mensaje, siempre y cuando se tomen las más elementales precauciones con respecto a su contenido.

Se ha sugerido que el contenido del mensaje recibido, del mensaje inicial, se entiende, contendrá instrucciones para evitar nuestra propia autodestrucción, posible destino común de todas las sociedades que han alcanzado la fase técnica. Ciertamente, hay en nuestro planeta suficientes armas nucleares como para liquidar no una, sino varias veces a todos los hombres, mujeres y niños. Se dice que las civilizaciones extraterrestres avanzadas, motivadas bien por altruismo, o bien por un interés egoísta en mantener un estimulante grupo de comunicantes, proporcionan información para que algunas sociedades se establezcan. No sé si esto es posible; las diferencias históricas entre organismos y sociedades con miles de millones de años de evolución independiente serían enormes. Pero es una posibilidad que vale la pena no ignorar, esta hipótesis de que la existencia de comunicaciones interestelares aumente el número de civilizaciones y que pueda ser la base de nuestra propia supervivencia.

Hay otra forma en la que este mismo proceso puede funcionar bien, aunque no haya instrucciones específicas sobre cómo evitar destruirnos a nosotros mismos. Está el factor de la escala del tiempo. Los Gobiernos de la Tierra rara vez hacen proyectos que vayan más allá de un período de cinco años. Los individuos normalmente hacen proyectos para espacios de tiempo mucho más pequeños. Incluso una inútil búsqueda de inteligencia extraterrestre, que puede alargarse durante décadas o siglos, es un ejemplo útil de planificación a largo plazo. Pero habría que pensar en las consecuencias de recibir un mensaje que se transmitió hace trescientos años y que se discutirá durante otros seiscientos. Esperar la respuesta a la nuestra requiere, así, una continuidad de propósitos muy poco corriente en las instituciones humanas. Gran parte de las catástrofes ecológicas actuales se deben al ansia de ganancias a plazo corto y a una asombrosa ceguera hacia los desastres a largo plazo. La escala del tiempo de civilizaciones interestelares y la comunicación con ellas proporcionan un sentido de continuidad histórica, vital para la continuación de nuestra propia civilización.

31. Cables, tambores y caracolas



Concha estelar. Ilustración de Jon Lomberg.

En casi todas las descripciones científicas de contactos entre la Tierra y una civilización extraterrestre, a esta última se la menciona como avanzada.

¿Por qué avanzada? ¿Por qué no hay allí alguna civilización primitiva, individuos atrasados, andando a tientas sobre escombros interestelares y remendando continuamente todas las cosas? ¿Por qué estamos tan obsesionados con unas supuestas civilizaciones avanzadas?

La respuesta es muy sencilla: las primitivas no nos hablan. (Las verdaderamente inteligentes tampoco lo hacen, pero dentro de poco ya tocaremos este punto.)

Pensemos en un contacto empleando la radioastronomía. La radioastronomía en la Tierra es un subproducto de la Segunda Guerra Mundial, cuando hubo fuertes presiones militares para el perfeccionamiento del radar. Una seria radioastronomía surgió solamente en los años cincuenta y los grandes radiotelescopios, en los años sesenta. Si definimos a una civilización avanzada como aquella capaz de efectuar comunicaciones a larga distancia empleando radiotelescopios, habrá que decir que en nuestro planeta la civilización avanzada sólo tiene unos diez años. Por tanto, cualquier civilización diez años menos avanzada que la nuestra no podrá hablarnos en absoluto.

Incluso los cálculos más optimistas sobre el índice de avance técnico de una civilización que pueda surgir en la Galaxia anuncian que es inferior a una cada diez años (véase capítulo XXVIII). Si esto es correcto, significa que de todas las civilizaciones de la Galaxia que pueden comunicar por radio no hay ninguna tan atrasada como la nuestra. Pueden existir millones de civilizaciones menos avanzadas que nosotros, pero no tenemos forma alguna de ponernos en contacto con ellas: carecen de la tecnología necesaria para recibir o transmitir. Las objeciones que se hacen al hecho de que el mensaje del *Pioneer 10* puede ser demasiado difícil de descifrar para los que lo reciban, parecen ignorar el hecho de que para que esto sea así los recipendarios han de ser capaces ante todo de interceptar y captar este pequeño artilugio en el espacio interestelar, cosa que hasta ahora para nosotros representa tarea que va mucho más allá de nuestra capacidad. Si están lo suficientemente avanzadas como para poder capturar al *Pioneer 10*, en la obscuridad, entre las estrellas, creo que podrán ser lo suficientemente inteligentes como para captar también su mensaje, que puede ser leído sin ninguna dificultad por muchos físicos, tan atrasados como los de la Tierra.

Pero, ¿qué hay sobre las civilizaciones mucho más avanzadas que la nuestra? El progreso técnico que hemos alcanzado en los últimos siglos es realmente sorprendente. No sólo se han desarrollado o perfeccionado nuevas técnicas, sino que se han establecido nuevas leyes físicas y nuevos métodos de examinar el Universo. Este desarrollo intelectual y tecnológico es continuo. Si sobrevive la civilización de la Tierra, el avance de la ciencia y de la tecnología también continuará.

Las civilizaciones que nos superan en ciencia y tecnología en miles de millones de años es casi seguro que no podamos comprenderlas porque ni siquiera se podrán distinguir de lo que hoy nos parece magia. No es que lo que puedan hacer viole las

leyes de la física, pero sí que no entenderemos cómo pueden usar las leyes de la física para hacer lo que hacen.

Es posible también que estemos tan atrasados y seamos tan poco interesantes para tales civilizaciones, que no valgamos la pena de ningún contacto, o, al menos, de mucho contacto. Puede haber unos pocos especialistas en sociedades primitivas interplanetarias que reciban el grado de licenciados o doctores en el estudio de la Tierra o en escuchar nuestro tráfico áspero y hasta irritante de radio y televisión. Puede haber aficionados –boy-scouts, radioaficionados, etcétera– que se sientan interesados por lo que ocurre en la Tierra. Pero una civilización de un millón de años más avanzada que la nuestra, no sé, me parece que no se sentirá en absoluto interesada por nosotros.

Las comunicaciones entre dos civilizaciones muy avanzadas probablemente emplearán una ciencia y una tecnología inaccesibles para nosotros. Por tanto, carecemos de perspectiva alguna en lo que se refiere a captar tal tráfico de comunicación, bien accidentalmente o a propósito.

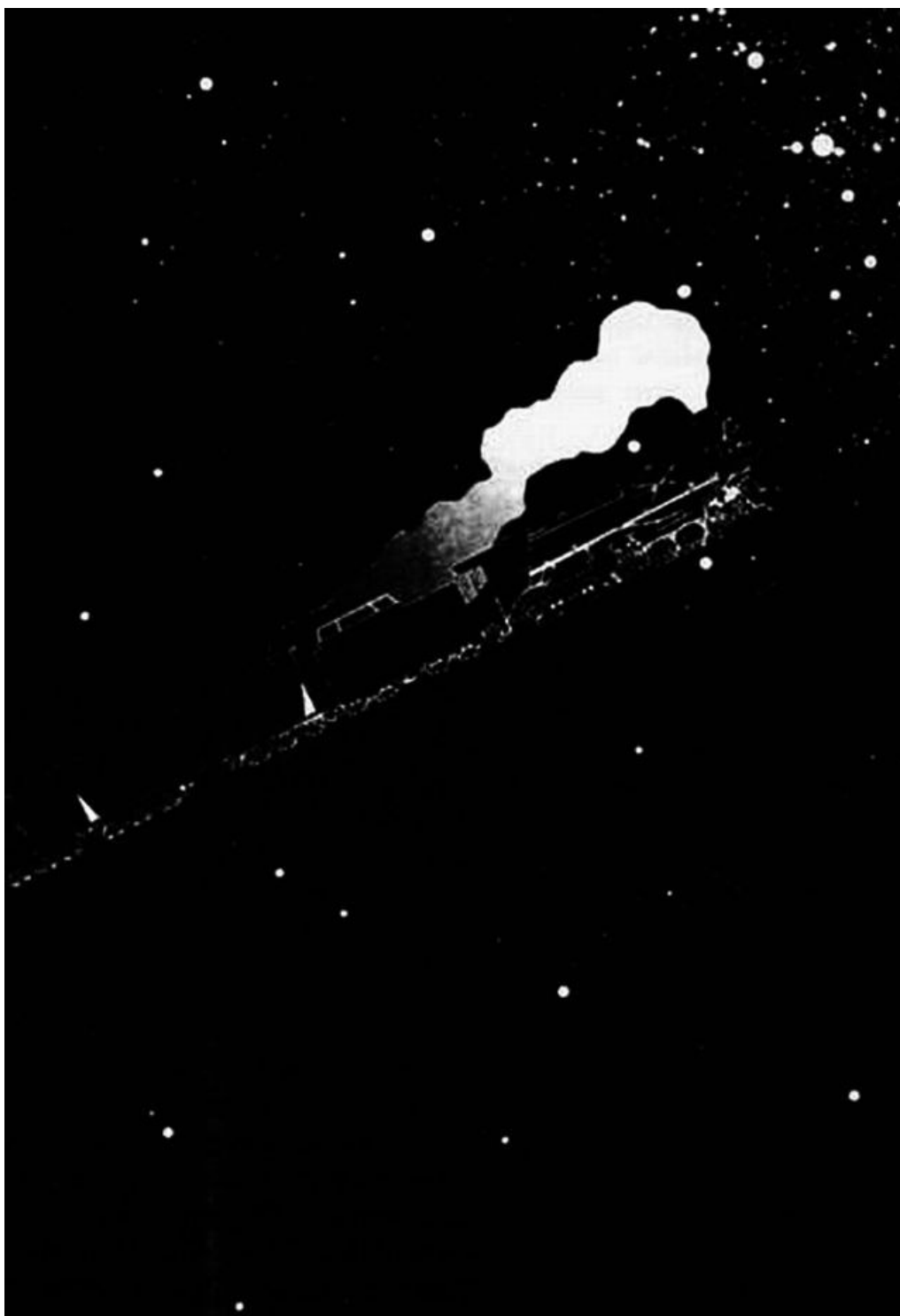
Somos como los habitantes de un valle aislado de Nueva Guinea que se comunican con otras sociedades de cercanos valles (sociedades bastante diferentes, podría añadir) mediante corredores o tambores. Cuando se les pregunta cómo una sociedad avanzada ha de comunicarse, quizás imaginen que ha de ser mediante un corredor extremadamente veloz o por medio de un tambor realmente gigantesco. Es casi seguro que no imaginen la existencia de una tecnología superior a la suya. Y, sin embargo, hay una enorme cantidad de tráfico de radio, de cable internacional, que pasa sobre ellos, a su alrededor, y a través de ellos también.

En este mismo momento estarán cruzando el espacio mensajes de otra civilización, mensajes impulsados por dispositivos superavanzados e inimaginables para nosotros, incapaces de detectarlos, pero ahí están; si tan siquiera supiésemos cómo detectarlos. Quizás el mensaje llegará vía ondas de radio para que sean detectadas por grandes radiotelescopios. O, quizá, por dispositivos más misteriosos, como la modulación de estrellas de rayos X, ondas de gravitación, neutrinos o canales de transmisión que nadie en la Tierra soñará aún durante siglos. O, probablemente, los mensajes ya están aquí, presentes en las experiencias de cada día, pero mensajes que resultan imposibles de captar porque no realizamos el correcto esfuerzo mental para ello. El poder y fuerza de tal civilización avanzada es muy grande. Es probable que sus mensajes estén ahí, aquí, en muchos sitios, situados en circunstancias por completo familiares.

Pensemos, por un momento, en las caracolas. Todo el mundo conoce el «sonido del mar» que escucha cuando arrimamos al oído una de estas caracolas marinas. Nos dicen que lo que oímos es el sonido muy ampliado de nuestra propia sangre. Pero, ¿es esto realmente cierto? ¿Se ha estudiado esto? ¿Acaso hubo alguien que se preocupara de estudiar o intentara descifrar el mensaje que suena en el interior de una caracola? No menciono este ejemplo como literalmente cierto, sino más bien como una alegoría. En algún lugar de la Tierra puede existir el equivalente al canal de comunicaciones de la caracola. El mensaje de las estrellas bien puede estar aquí ya. Pero, ¿dónde?

Escucharemos a la espera de oír tambores interestelares y pasaremos por alto los cables interestelares. Probablemente recibiremos nuestros primeros mensajes mediante los tambores de los valles galácticos vecinos, de civilizaciones cercanas a nuestro futuro. Las civilizaciones mucho más avanzadas que nosotros permanecerán durante mucho tiempo inaccesibles en la distancia. En un futuro de gran tráfico de radio interestelar, las civilizaciones muy avanzadas pueden ser para nosotros tan solo leyendas insubstanciales.

32. Tren nocturno a las estrellas



El tren carguero nocturno a las estrellas. Ilustración de Jon Lomberg.

Durante tres generaciones de seres humanos hubo –como una omnipresente, pero casi inadvertida, parte de sus vidas– un sonido de llamada, un grito que atravesaba la noche, llevando consigo la noticia de que había una forma, no muy difícil, de abandonar Twin Forks, North Dakota, o Apalachicola, Florida, o Brooklyn, New York. Era el quejumbroso ruido del tren nocturno, tan misterioso y evocador como el grito del somorgujo. Era un constante recordatorio de que había vehículos, dispositivos que, si se abordaban, podían sacarle a uno a alta velocidad de su pequeño mundo para llevarle a un mucho mayor Universo de bosques y desiertos, costas y ciudades.

Especialmente en los Estados Unidos, pero quizás en gran parte del Mundo, pocas personas viajan hoy día en tren. Hay generaciones enteras que crecen sin haber oído la llamada de esta sirena. Éste es el momento de homogeneizar el Mundo, cuando se está erosionando la diversidad de sociedades, cuando está surgiendo una civilización global. Ya no quedan lugares exóticos en la Tierra con los cuales poder soñar.

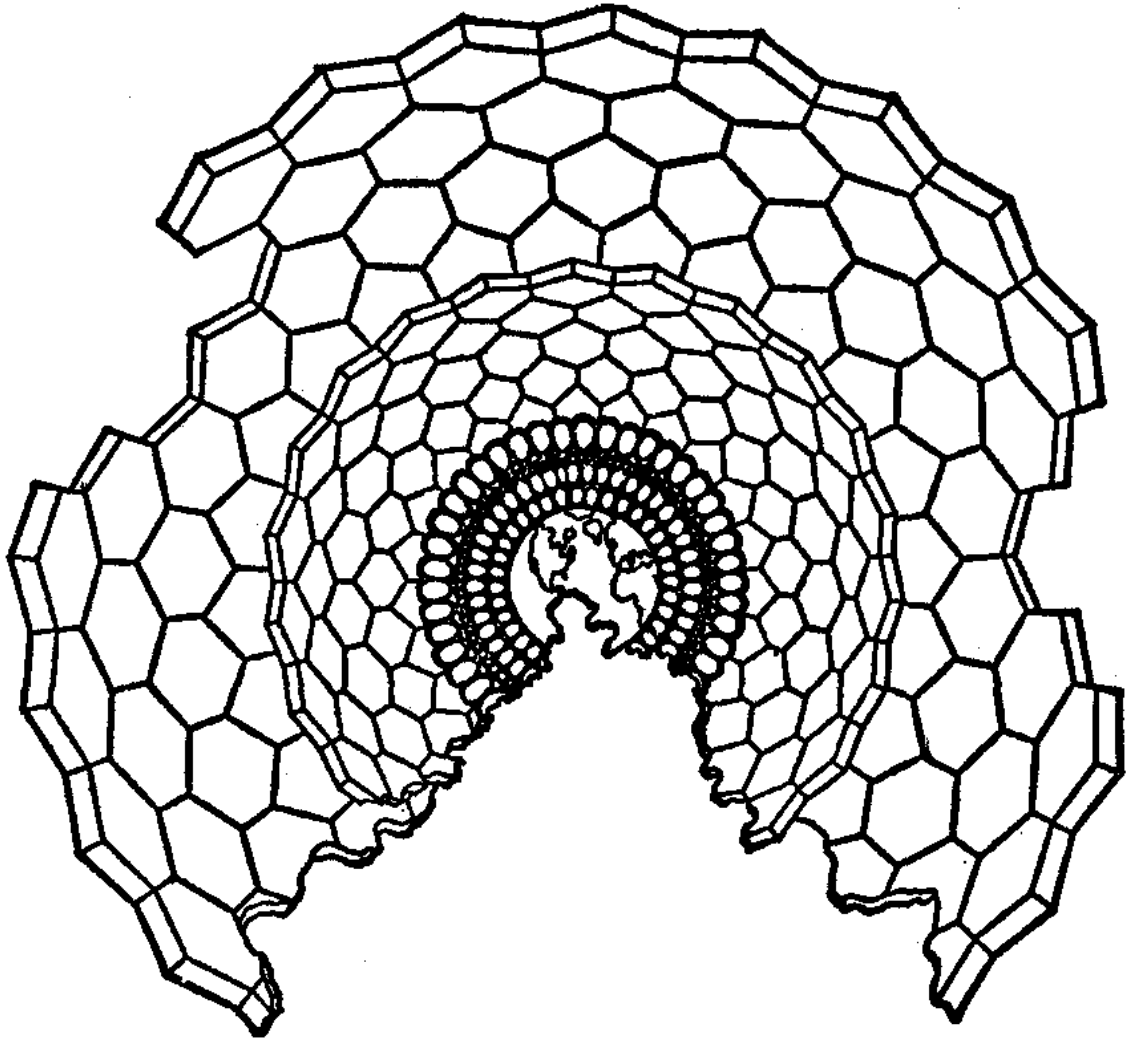
Y por esta razón impera cada día más la urgente necesidad de disponer de un vehículo, de un dispositivo, que nos lleve a alguna parte. No a todos nosotros; solamente unos pocos, a los desiertos de la Luna, a las antiguas costas de Marte, a los bosques del cielo. Hay algo de consolador en la idea de que un día unos cuantos representantes de nuestro pequeño pueblo terrestre puedan aventurarse a ir a las grandes ciudades galácticas.

Todavía no hay trenes interestelares ni máquinas que nos lleven a las estrellas. Pero un día pueden estar aquí. Las habremos construido o las habremos atraído.

Y entonces, una vez más sonará el silbato del tren nocturno. No el antiguo sonido del silbato de la locomotora, ya que el sonido no se oye en el espacio interplanetario o en el fantástico vacío entre las estrellas. Pero habrá algo, quizás el flash o relámpago luminoso del *magnetobrehmstrahlung*, cuando el vehículo estelar se aproxime a la velocidad de la luz. Habrá una señal.

Mirando desde las ciudades enormes como continentes y desde las también enormes reservas de caza, en una noche clara, lugares que pueden ser nuestro futuro en este planeta, los jóvenes soñarán que cuando sean mayores, si tienen suerte, tomarán el tren nocturno que les lleve a las estrellas.

33. Astroingeniería



Astroingeniería. Ilustración de Jon Lomberg.

Ahora, en un relato del que se han hecho muchas citas y posiblemente apócrifo, repetiremos aquí que el físico nuclear Enrico Fermi preguntó, durante un almuerzo celebrado en Los Alamos en los años cuarenta: «*¿Dónde están ellos?*» Si hay grandes cantidades de seres más avanzados que nosotros, murmuró al parecer, ¿por qué no hemos visto ninguna señal o huella de ellos, por ejemplo, una visita a la Tierra?

Hemos tratado este problema en los capítulos 27 y 28. Pero hay otra manera de plantear la pregunta de Fermi. Una civilización que nos supera tecnológicamente en cien años (teniendo en cuenta los actuales índices de progreso tecnológico), seguro

que podría comunicarse por radio, y quizá mediante otras técnicas desde cualquier punto de la Galaxia y también desde otras galaxias. Una civilización que nos supere tecnológicamente en mil años es probable que sea muy capaz de viajar físicamente entre las estrellas, aunque empleando considerable tiempo y recursos.

Pero, ¿y qué pensar de las civilizaciones que nos superan tecnológicamente en miles o centenares de miles de años o incluso más tiempo? Hay, después de todo, miles de millones de estrellas más viejas que el Sol. Las más antiguas de tales estrellas carecen de metales pesados y probablemente sus planetas también sufren la misma carencia. Tales estrellas, viejas estrellas, tienen medios ambientes hostiles al desarrollo de civilizaciones tecnológicas. Pero algunas estrellas, mil o dos mil millones de años más viejas que el Sol no sufren tales dificultades. Seguramente es posible que haya, al menos, unas cuantas civilizaciones que nos superen en el aspecto tecnológico en millones o en miles de millones de años.

Mediante prodigiosos recursos energéticos tales civilizaciones podrían reformar o cambiar el Cosmos. Hemos expuesto en el capítulo 22 cómo la vida en la Tierra ya ha alterado significativamente nuestro planeta y cómo podemos ya imaginar, en un futuro relativamente próximo, el realizar importantes cambios en los medios ambientes de los planetas más cercanos a nosotros.

Sin duda son posibles cambios mucho mayores en un futuro más lejano. El matemático Freeman Dyson, del Institute for Advanced Study, ofrece un esquema en el cual el planeta Júpiter se rompe trozo a trozo, transportado a la distancia de la Tierra desde el Sol y reconstruido en forma de concha esférica, un enjambre de fragmentos individuales girando alrededor del Sol. La ventaja de la propuesta de Dyson es que toda la luz solar que se desperdicia, al no caer sobre un planeta inhabitado, podría emplearse ventajosamente; y mantenerse así el exceso de población que ahora habita la Tierra. Si población tan vasta es deseable, es algo que aún no se ha resuelto. Pero lo que sí parece evidente es que con el actual índice de progreso tecnológico será posible construir la esfera de Dyson quizá dentro de algunos miles de años. En ese caso, es probable que otras civilizaciones más antiguas que la nuestra hayan construido ya tales enjambres esféricos.

Una esfera Dyson absorbe la luz visible del Sol. Pero no continúa absorbiendo indefinidamente esta luz sin llevar a cabo una reirradiación, ya que de no ser así la temperatura llegaría a ser sumamente alta. El exterior de la esfera Dyson irradia una radiación infrarroja al espacio. A causa de las grandes dimensiones de la esfera, el flujo infrarrojo de una esfera Dyson debe ser detectable desde grandes distancias, con la actual tecnología infrarroja, en distancias de centenares de miles de año-luz. Es de resaltar aquí el hecho de que en años recientes se han detectado grandes objetos infrarrojos de dimensiones parecidas a las del Sistema Solar y con temperaturas de menos de 500 °C [1000 °F]. Por supuesto, éstas no son necesariamente civilizaciones Dyson. Pueden ser enormes nubes que rodean a estrellas en proceso de formación. Pero estamos comenzando a descubrir objetos que no son muy diferentes a los artefactos de civilizaciones avanzadas.

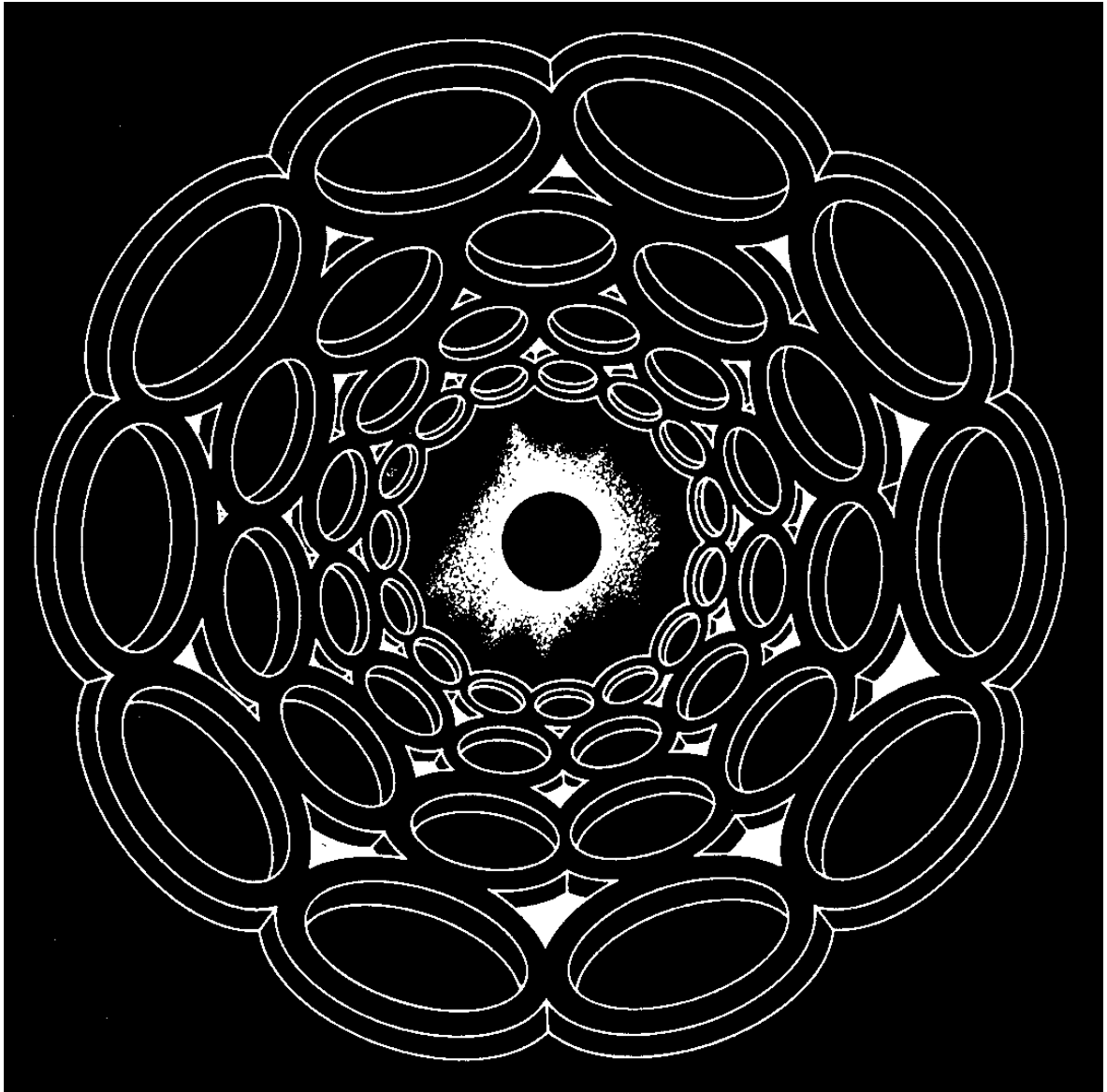
Hay muchos fenómenos en la astronomía contemporánea que no se entienden. Los quasars, por ejemplo, son uno de ellos. Las ondas de gravitación de alta intensidad procedentes del centro de nuestra Galaxia son otros. La lista podría alargarse de manera considerable. Mientras no entendamos estos fenómenos, no podemos

excluir la posibilidad de que sean manifestaciones de inteligencia extraterrestre. Esto apenas demuestra la probabilidad de la existencia de inteligencia extraterrestre, o, al menos, no en mayor medida que nuestra incapacidad de comprender los cambios de estación en Marte (capítulo 19), asumiendo que hay importantes pruebas de la existencia de vegetación en dicho planeta. Como dice el astrofísico soviético I. S. Shklovskii:

«Sujetándonos a los principios de la ley, debemos suponer que todos los fenómenos astronómicos son naturales hasta que se demuestre lo contrario.»

Algunos científicos han preguntado, ante lo que podríamos llamar reformulación de la pregunta de Fermi, ¿por qué las civilizaciones avanzadas no se hacen más evidentes? ¿Por qué las estrellas no se han reformado en cuadros enteramente artificiales en el cielo, quizá parpadeando con sus luces anunciando en distancias intergalácticas alguna bebida refrescante cósmica? Este ejemplo particular, por supuesto, no es muy defendible: la bebida refrescante de una sociedad puede ser veneno para otra. Más seriamente, las manifestaciones de civilizaciones muy avanzadas puede que, para nosotros, civilización atrasada, pasen inadvertidas, de la misma manera que pasa inadvertida para la hormiga que trabaja junto a la piscina de una ciudad cualquiera, la superior civilización técnica que la rodea en esos momentos.

34. Veinte preguntas: una clasificación de civilizaciones cósmicas



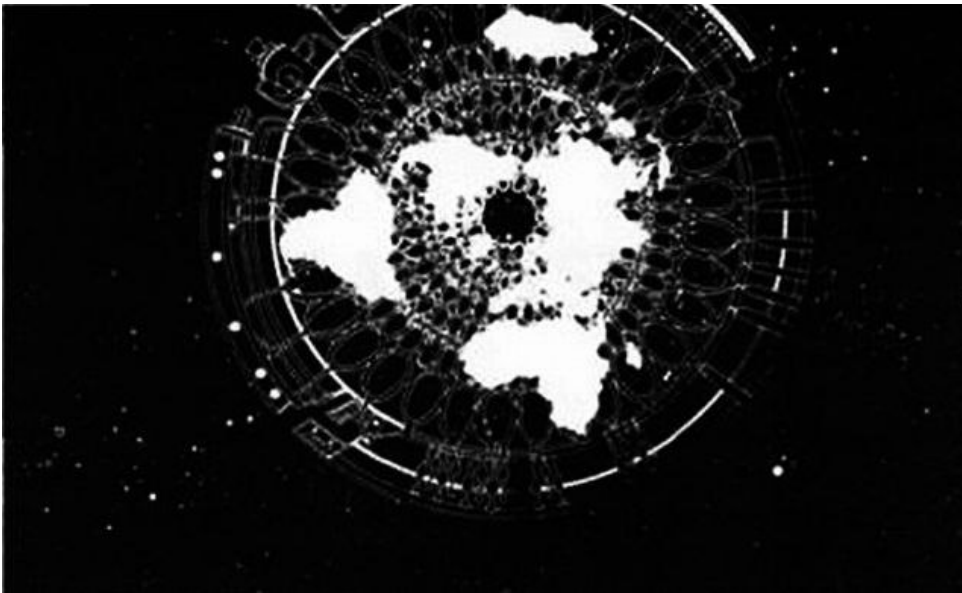
Civilización tipo 1.4 M. Ilustración de Jon Lomberg.

Para tratar con la posibilidad de que haya civilizaciones extraterrestres enormemente avanzadas, el astrofísico soviético N. S. Kardashev ha propuesto una distinción en términos de la energía disponible para una civilización y para propósitos de comunicación.

Una civilización tipo I es capaz de reunir, para propósitos de comunicación, el equivalente de toda la producción energética del planeta Tierra, que ahora se usa para calefacción, electricidad, transporte y demás; una gran variedad de propósitos

diferentes a la comunicación con civilizaciones extraterrestres. Por esta definición, la Tierra no pertenece todavía al tipo I de civilización.

La utilización o uso de fuerza de nuestra civilización está aumentando con suma rapidez. La actual producción de energía del planeta Tierra es algo así como 10^{15} ó 10^{16} vatios; es decir de un millón de millones a diez millones de millones de vatios. La cifra exponencial indica simplemente el número de ceros que siguen al 1. Por ejemplo, 10^{15} significa quince ceros detrás del 1. El concepto de potencia en física es el de gasto de energía por unidad de tiempo. Un vatio equivale a diez millones de ergios de energía gastada por segundo. Toda la energía empleada en la Tierra equivale a encender, por ejemplo, cien millones de millones de bombillas de cien vatios. Especialmente si esta energía brotara en la parte de radio del espectro podría detectarse desde considerables distancias.



Representación esquemática de una civilización tipo I, probablemente unos cuantos siglos más avanzada que la nuestra. Ilustración de Jon Lomberg.

Una civilización tipo II puede usar con propósitos de comunicación una producción de energía equivalente a la de una típica estrella, aproximadamente 10^{26} vatios. Ya vemos estrellas sumamente brillantes en frecuencias ópticas en las más cercanas galaxias. Una civilización tipo II lanzando en nuestra dirección 10^{28} vatios en algunas ondas de radio estrechas podría detectarse a enormes distancias intergalácticas. Sería muy fácil de descubrir si empleáramos los procedimientos idóneos de búsqueda, y si tal civilización se hallara en la más próxima galaxia espiral a la nuestra, M31, la gran galaxia de la constelación Andrómeda. M31 es, sin duda, la galaxia más grande. Por ejemplo, una galaxia elíptica, la M87 –también conocida como Virgo A– contiene, quizá, diez millones de millones de estrellas.

Por último, Kardashev supone una civilización tipo III que emplearía, con propósitos de comunicación, la producción de energía de toda una galaxia, aproximadamente 10^{36} vatios. Una civilización tipo III irradiándonos así se podría descubrir si estuviera en cualquier lugar del Universo. No hay nada previsto para una civilización tipo IV. No hay necesidad de que existan muchas civilizaciones tipo II o tipo III para que se

sienta su presencia una vez se organice cuidadosamente la búsqueda de civilizaciones extraterrestres. Muy bien podría ocurrir que unas cuantas civilizaciones tipo II o tipo III se detectasen con más facilidad que un gran número de civilizaciones tipo I, si eligiesen el hacernos señales (véase el capítulo 31).

El vacío de energía entre una civilización tipo I y otra tipo II o entre las civilizaciones del tipo II y III, es enorme, un factor de alrededor de diez mil millones en cada paso. Parece conveniente, si se ha de considerar el asunto seriamente, discriminar en medida más fina, por así decirlo. Sugeriría un tipo 1.0 como civilización, usando 10^{16} vatios para la comunicación interestelar; tipo 1.1, 10^{17} vatios; tipo 1.2, 10^{18} vatios, y así sucesivamente. Nuestra civilización actual podría clasificarse algo así como un tipo 0.7.

Pero puede haber formas más significativas para caracterizar civilizaciones mediante la energía que puedan usar en sus comunicaciones. Factor importantísimo de una civilización es la cantidad total de información que almacene. Esta información se puede describir en términos de bits, el número de declaraciones si-no relativas a sí misma y al Universo que tal civilización conoce.

Un ejemplo de este concepto es el popular juego de «Veinte preguntas», tal y como se juega en la Tierra.

Un jugador imagina un objeto o concepto y realiza una clasificación inicial de él en el campo animal, vegetal, mineral, o en ninguno de estos tres. Para identificar el objeto o concepto, los otros jugadores pueden hacer un total de veinte preguntas que sólo se pueden responder con «sí» o «no». ¿Cuánta información se puede obtener de esta manera?

Se puede pensar en la caracterización inicial como tres preguntas de síes o noes: ¿Conceptual u real? ¿Biológico o no? ¿Planta o animal? Si estamos de acuerdo en que una partida de «veinte preguntas» persigue algo vivo, hemos respondido, en efecto, ya a tres preguntas cuando comience la partida. La primera pregunta dividió al Universo en dos partes (desiguales). La segunda pregunta dividió a una de estas dos partes en dos más, y la tercera dividió a otra de estas últimas, en otras dos. En tal momento hemos dividido al Universo aproximadamente en:

$$2 \times 2 \times 2 = 2^3 = 8 \text{ partes}$$

Cuando terminemos con nuestras veinte preguntas, habremos dividido al Universo en 2^{20} partes adicionales (probablemente desiguales). Ahora, 2^{10} es 1024. Podemos efectuar tales cálculos muy rápidamente si aproximamos 2^{10} por $1000 = 10^3$; por lo tanto, 2^{20} es igual a $(2^{10})^2$, que aproximadamente es igual a $(10^3)^2 = 10^6$. El número total de preguntas efectivas, veintitrés, ha dividido al Universo en alrededor de 2^{23} o 10^7 partes o retazos de información. Así, es posible que los jugadores hábiles ganen en «veinte preguntas» tan sólo si viven en una civilización que posee un contenido de información de aproximadamente 10^7 bits.

Pero, como digo más adelante, nuestra civilización se caracteriza por, quizá, 10^{14} bits. Por consiguiente, los jugadores hábiles deben ganar en «veinte preguntas» en alrededor de 10^7 entre 10^{14} veces, o una en 10^7 , o una en diez millones de veces. Que la partida se gane más a menudo en la práctica se debe a que hay una regla

adicional –por lo general, no estatuida, pero sí bien entendida: sobre todo porque el objeto o concepto mencionado deba ser algo que figure en la herencia cultural general de todos los jugadores. Pero esto debe significar que 10^7 bits de información pueden llevar en sí una gran cantidad de información sobre una civilización, sin duda alguna. Philip Morrison ha calculado que la contribución escrita total a nuestra actual civilización por parte de la civilización clásica griega, sólo es de aproximadamente 10^9 bits. Así, un mensaje de una sola dirección, que contiene, según las normas de la moderna radioastronomía, un número muy pequeño de bits de información, puede contener una significativa cantidad de nueva información y ejercer una poderosa influencia sobre una sociedad, a la larga.

¿Cuál es el número total de bits de información que hay en una palabra inglesa? ¿En todos los libros en el Mundo? Por lo general, se emplean en inglés veintiséis letras más diferentes marcas de puntuación. Calculemos que hay treinta y dos de tales «letras» que son efectivas. Pero $32 = 2^5$; es decir, hay algo así como cinco bits por letra. Si una palabra típica tiene cuatro a seis letras (para un promedio de seis letras por palabra, tendría que haber muchas palabras caprichosas) habrá entonces de veinte a treinta bits por palabra. Un libro corriente –de unas trescientas palabras por página y de alrededor de trescientas páginas– tendría alrededor de cien mil palabras o, aproximadamente, tres millones de bits de información. Las más grandes bibliotecas del mundo, como la del Museo Británico, la Biblioteca Bodleian de Oxford, la Biblioteca Pública de New York, la Biblioteca Widener de Harvard, o la Biblioteca Lenin de Moscú, no tienen más de diez millones de volúmenes. Esto es aproximadamente 3×10^{13} bits de información.

Una fotografía mal revelada puede disponer de un millón de bits. Una caricatura muy complicada puede tener tan sólo unos mil bits. Por otra parte, una fotografía grande y en color puede tener mil millones de bits. Concedamos márgenes a la cantidad de información fundamental contenida en gráficos, fotografías y arte en nuestra civilización, así como la tradición oral grabada. Tratemos también de calcular –esto sólo puede hacerse de manera muy superficial– la información con la que nacemos sobre cómo tratar con el Mundo. (Los seres humanos, al nacer, son, en relación con otros animales, seres con muy poca información, pues tratamos con el Mundo mucho más en términos de información aprendida que de información instintiva o heredada.) Calculo, entonces, que nosotros y nuestra civilización podemos muy bien caracterizarnos por algo así como 10^{14} o 10^{15} bits de información.

Entre paréntesis, el viejo adagio chino de que vale más una imagen que diez mil palabras (trescientos mil bits en inglés, pero ¿y en chino?) es aproximadamente correcto con tal de que la imagen no sea demasiado complicada.

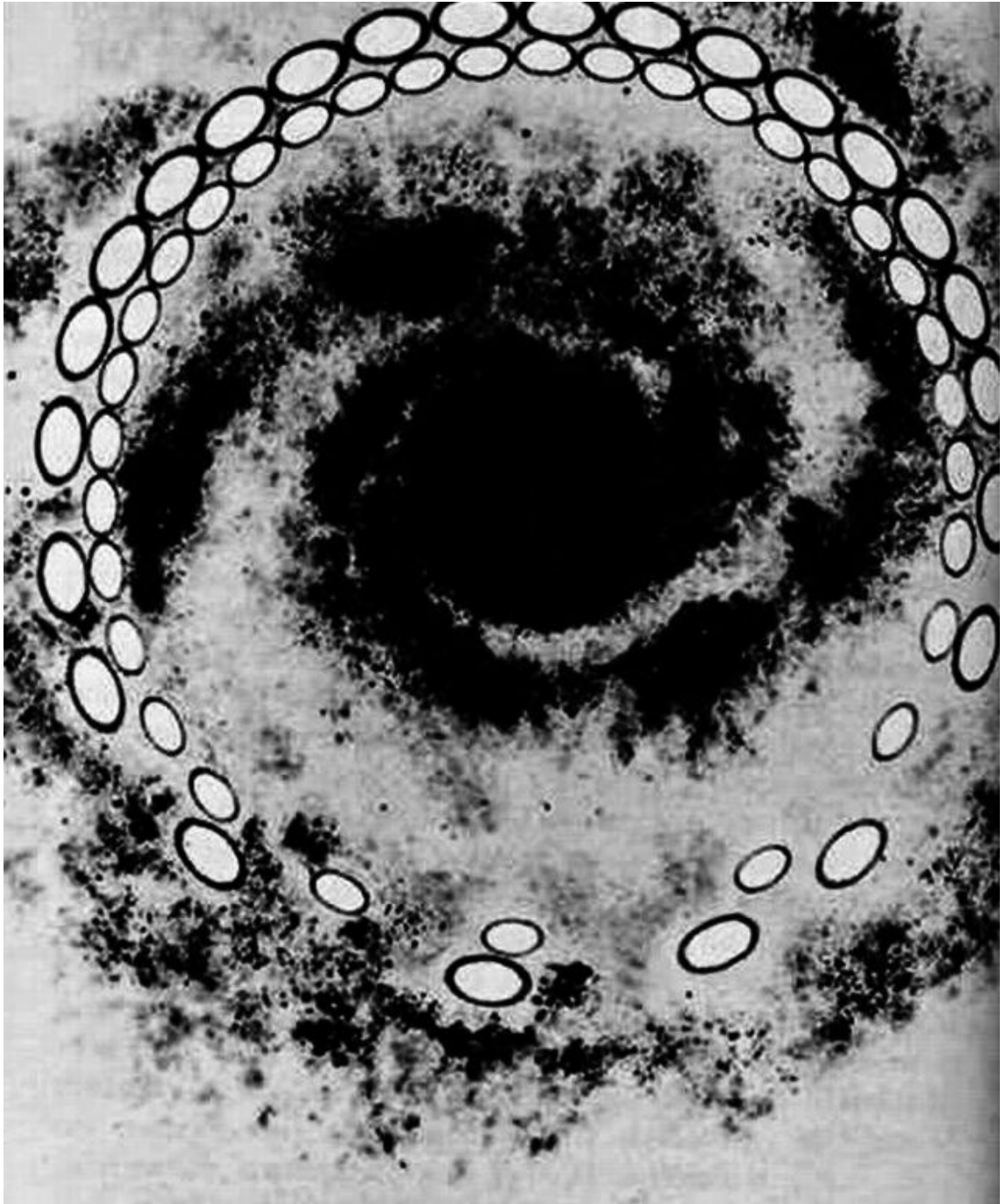
Podemos imaginar civilizaciones que tienen un número mucho más elevado de retazos que caracterizan a su sociedad en mayor grado que a la nuestra. En general, deberíamos esperar que una civilización superdesarrollada en la escala de energía debiera ser sumamente adelantada en la escala de información. Pero esto no necesita ser cierto del todo. En efecto, puedo imaginar sociedades que sean muy complejas y necesiten muchos más retazos para caracterizarlas que lo que necesita nuestra sociedad, pero que no están interesadas en la comunicación interestelar. La caracterización de civilizaciones interestelares requiere que distingamos su contenido de información también.

Si hemos empleado números para describir la energía, quizá debamos usar letras para describir la información. Hay veintiséis letras en el alfabeto inglés. Si cada una de ellas corresponde a un factor de diez en el número de bits, existe la posibilidad de caracterizar con el alfabeto inglés una gama de contenidos de información sobre un factor de 10^{26} , gama muy amplia que parece adecuada a nuestros propósitos. Propongo llamar a un tipo de civilización A como una a nivel de «veinte preguntas», caracterizada por 10^6 bits. En la práctica, ésta es una sociedad extremadamente primitiva —mucho más primitiva que cualquier sociedad humana que conozcamos bien— y un buen punto de comienzo. La cantidad de información que hemos recibido de la civilización griega caracterizaría a esa civilización como de tipo C, aunque la cantidad real de información que caracterizó a la Atenas de Pericles probablemente es equivalente al tipo E, o así. Dé acuerdo con estas normas, nuestra civilización contemporánea, si se caracteriza mediante 10^{14} bits de información, corresponde a un tipo H de civilización.

Una caracterización combinada de información/energía de nuestra actual sociedad global terrestre es del tipo 0.7H. El primer contacto con una civilización extraterrestre sería, creo yo, con una del tipo 1.5J o 1.8K. Si hubiese una civilización galáctica de un millón de mundos, y si cada uno se caracterizara por mil veces el contenido de información de nuestra civilización terrestre, la civilización galáctica sería del tipo Q. Mil millones de tales galaxias federadas con toda la información mantenida colectivamente se caracterizaría como civilización del tipo Z.

Pero, como exponemos en el capítulo siguiente, no hay suficiente tiempo en la historia del Cosmos para que se haya desarrollado tal tipo de sociedad intergaláctica.

35. Intercambios culturales galácticos



Símbolo de una galaxia unificada, por Jon Lomberg. La galaxia representada es la M74, en la constelación de Piscis.

Es posible especular en el futuro, muy distante, de las civilizaciones avanzadas. Podemos imaginar tales sociedades en excelente armonía con sus medios ambientes, su biología, y las extravagancias o caprichos de sus políticas, de manera que gozan de períodos de vida extraordinariamente largos. La comunicación tiene que haberse establecido hace ya mucho tiempo con otras civilizaciones. La difusión de conocimientos, técnicas y puntos de vista se extenderían a la velocidad de la luz. Con el tiempo, las diversas culturas de la Galaxia, que implica un gran número de organismos muy diferentes en su aspecto, basados en diferentes bioquímicas y diferentes culturas iniciales, se homogeneizarían, así como las diversas culturas de la Tierra están hoy día en procesos de homogeneización.

Pero tal homogeneización cultural de la Galaxia costará largo tiempo. Una comunicación por radio de ida y vuelta entre nosotros y el centro de la Vía Láctea requiere sesenta mil años. La homogeneización cultural de la Galaxia precisaría de muchos de tales cambios, aun cuando cada cambio implicara grandes cantidades de información enviada eficientemente. Considero difícil creer que serían adecuados no menos de cien intercambios entre los lugares más remotos de la Galaxia para la homogeneización cultural.

En consecuencia, el mínimo período de vida para la homogeneización de la Galaxia se extendería a muchos millones de años. Por supuesto, las sociedades deben permanecer estables durante períodos de tiempo comparables. Tal homogeneización no precisa ser deseada, pero se dan todavía presiones fuertes y evidentes para que ocurra, como es también el caso en la Tierra. Si hay una comunidad galáctica de civilizaciones que abarca gran parte de la Vía Láctea, y si estamos en lo cierto con respecto a que no se puede transmitir información a una velocidad mayor que la de la luz, entonces la mayor parte de sus miembros —y todos los miembros fundadores— de tal comunidad deben estar, por lo menos, millones de años más avanzados que nosotros. Por esta razón, creo que es algo muy fantástico o más bien una verdadera locura el suponer que actualmente se pueda establecer contactos por radio con los extraterrestres y llegar a ser miembro de la federación galáctica, algo similar a como si un armadillo solicitara ingresar en las Naciones Unidas.

Estas limitaciones de la velocidad de la luz, en cuanto se refiere a la comunicación, también se pueden aplicar a la homogeneización de culturas de diferentes galaxias, después de transcurrido un hipotético período de millones de años, en el cual las civilizaciones estelares de una determinada galaxia alcanzarán una cultura común. Podemos imaginar que otras galaxias estén tratando de entrar en contacto con estas federaciones galácticas.

Las galaxias espirales más cercanas se encuentran a varios millones de años-luz de distancia. Esto significa que un solo elemento de diálogo —un mensaje y su respuesta— necesitaría espacios de tiempo de varios millones de años, probablemente unos diez en total. Si se precisan cien de tales intercambios, la escala de tiempo para la homogeneización de un grupo de galaxias cercanas es entonces del orden de los mil millones de años. Las sociedades galácticas tendrían que ser estables y preservar la continuidad para tales períodos de tiempo. Esto significaría que una civilización sumamente vieja en nuestra Galaxia podría tener enormes semejanzas culturales con federaciones galácticas similares en otros

miembros de los que los astrónomos llaman modestamente el grupo «local» de galaxias.

Estas escalas de tiempo en la homogeneización están comenzando a alcanzar un punto que pone a prueba la credulidad. Hay suficientes catástrofes naturales y fluctuaciones estadísticas en el Universo –aun residiendo en muchos planetas simultáneamente durante más de mil millones de años– como para que una sociedad estable comience a ser poco probable. También, durante estos inmensos períodos de tiempo, las mismas sociedades galácticas comunicantes estarán evolucionando. Se precisarán muchos contactos para mantener la homogeneización. Las galaxias están tan alejadas una de otra que siempre retendrán su individualidad cultural.

En todo caso, para poseer homogeneización cultural con el grupo más próximo de galaxias como la nuestra, y empeñarnos en un centenar de intercambios de mensajes se necesitaría un tiempo superior a la edad del Universo. Esto no es excluir largos mensajes individuales de una galaxia a otra. Puede ser que enormes cantidades de información, por ejemplo –sobre la historia de una federación galáctica– quizá sean conocidas para civilizaciones de otras galaxias. Pero no habrá tiempo suficiente para diálogos. Como máximo, sería posible un intercambio entre las más distantes galaxias en el Universo. Dos intercambios de información a la velocidad de la luz necesitarían más tiempo del que existe, de acuerdo con la moderna cosmología.

Concluimos que no puede haber una red fuertemente coherente de comunicación, unificando inteligencias a través de todo el Universo si: 1) tales civilizaciones galácticas implican evolución hacia arriba de sociedades individuales planetarias; y 2) la velocidad de la luz es indudablemente un límite fijo en la velocidad de transmisión de información como la relatividad especial requiere (es decir, si ignoramos ciertas posibilidades como la de usar agujeros negros para el transporte rápido: véase capítulo 39). Esta inteligencia universal es una especie de dios que no puede existir.

En cierta forma, san Agustín y otros teólogos han llegado a la misma conclusión: Dios no debe vivir en uno a otro momento, sino durante todo el tiempo simultáneamente. Esto es, en cierto sentido, como decir que la relatividad especial no se aplica a Él. Pero los dioses de la supercivilización, quizá los únicos que admiten esta clase de especulación científica, están fundamentalmente limitados. Puede haber tales dioses de galaxias, pero no del Universo como un todo.

36. Entrada al Infinito



Ilustración posterior de *La máquina del tiempo* de H. G. Wells. De Clásicos Ilustrados.

Una de las ideas más penetrantes y fascinantes de la ciencia ficción es el viaje en el tiempo. En *La máquina del tiempo*, el relato clásico escrito por H. G. Wells, y en otras variaciones ulteriores de la historia, hay una pequeña máquina construida, normalmente, por un solitario científico en un remoto laboratorio. Se marca en un dial el año que interesa, se sube a la máquina, se presiona un botón, y al instante, aquí está el pasado o el futuro. Entre los dispositivos comunes que aparecen en todos los relatos del viaje en el tiempo están las paradojas lógicas que acompañan al hecho de encontrarse a sí mismo hace varios años, en el pasado; suprimiendo un antecedente lineal, hereditario; interfiriendo directamente con importantes acontecimientos históricos ocurridos en los últimos milenios; o pisando accidentalmente una mariposa precambriana, siempre se está cambiando toda la historia subsiguiente de la vida.

Tales paradojas lógicas no se dan en los relatos sobre el viaje en el futuro. Excepto el elemento nostalgia —el deseo que todos sentimos de revivir o reivindicar algunos elementos del pasado—, un viaje hacia delante del tiempo seguramente es tan emocionante como el hecho de retroceder en el tiempo. Sabemos muchas cosas sobre el pasado, pero nada sobre el futuro. Los viajes hacia este último poseen un mayor grado de emoción y hasta de excitación intelectual que no tienen los que podríamos calificar de viajes hacia atrás, es decir de retroceso en el tiempo.

No cabe la menor duda de que el viaje hacia el futuro es posible: lo realizamos todos los días, a cada instante, al envejecer normalmente. Pero hay otras posibilidades más interesantes. Todo el Mundo ha oído hablar, e incluso hoy día hay mucha gente que la entiende, sobre la teoría de la relatividad de Einstein. Fue el genio de Einstein el que sometió nuestros usuales puntos de vista acerca del espacio, tiempo y simultaneidad, a un profundo y lógico análisis, que pudo haberse efectuado hace ya dos siglos. Pero la relatividad especial requería, para su descubrimiento, una mente que estuviera totalmente alejada de los prejuicios convencionales y ciega adhesión a las creencias predominantes; por supuesto, rara inteligencia en cualquier época.

Algunas de las consecuencias de la relatividad especial son contraintuitivas en el sentido de que no corresponden a lo que todo el Mundo ve observando cuanto les rodea. Por ejemplo, la teoría dice que una vara de medir se contrae en la dirección en que se mueve. Cuando uno avanza, andando, adelgaza en la dirección en que avanza, pero no a causa de una pérdida de peso. En el momento en que uno se detiene, inmediatamente recupera su dimensión corporal normal. En forma parecida, cuando corremos tenemos más peso, más solidez, que cuando permanecemos inmóviles. Estas proposiciones parecen estúpidas e incluso quizás absurdas, porque la magnitud del efecto es demasiado pequeño para medirlo a velocidades de impulso. Pero si fuésemos capaces de movernos a la velocidad de la luz (300000 km por segundo), estos efectos serían manifiestos. De hecho, los costosos sincrotrones —máquinas para acelerar partículas cargadas muy cerca de la velocidad de la luz— tienen en cuenta estos efectos y trabajan solamente porque ocurre que es correcta la relatividad especial. La razón de que estas consecuencias de la relatividad parezcan contraintuitivas es que no estamos acostumbrados a viajar a la velocidad de la luz. Y no es que le ocurra nada malo al sentido común; el sentido común ocupa perfectamente su lugar.

Hay una tercera consecuencia de la relatividad, un efecto raro e importante sólo cerca de la velocidad de la luz: el fenómeno llamado dilatación del tiempo. Si nos moviésemos próximos a la velocidad de la luz, el tiempo, tal y como se puede medir con nuestro reloj de pulsera o mediante los latidos del corazón, transcurriría más lentamente que el de un reloj comparable, pero estacionario. Además, ésta no es una experiencia de nuestra vida diaria, sino que es una experiencia de partículas nucleares que poseen relojes en su interior (sus tiempos de declinación o decadencia) cuando se mueven a la velocidad de la luz o más bien próximas a esta última. La dilatación del tiempo es una realidad medida y refrendada del Universo en que vivimos.

La dilatación del tiempo implica la posibilidad de viajar en el tiempo hacia el futuro. Un vehículo espacial que pudiera moverse arbitrariamente próximo a la velocidad de la luz condiciona el tiempo medido en el vehículo para moverse tan lentamente como se desee. Por ejemplo, nuestra galaxia tiene un diámetro de aproximadamente unos sesenta mil años-luz. A esta velocidad, dicho vehículo tardaría sesenta mil años en cruzar de un extremo a otro de la Galaxia. Pero este tiempo se mide, por supuesto, por un observador estacionario. Un vehículo espacial capaz de avanzar casi a la velocidad de la luz atravesaría la Galaxia de un lado, a otro en menos del tiempo que se atribuye a una vida humana. Con el vehículo idóneo, podríamos circunnavegar la Galaxia y regresar casi doscientos mil años más tarde, tal y como se mide en la Tierra. Naturalmente, nuestros amigos y parientes habrían cambiado un poco en este intervalo, como habría ocurrido con nuestra sociedad y es probable que hasta con nuestro planeta.

De acuerdo con la relatividad, incluso es posible circunnavegar todo el Universo dentro del período de tiempo de una vida humana, regresando a nuestro planeta muchos miles de millones de años en el futuro. De acuerdo con la relatividad, no hay la menor perspectiva o esperanza de viajar a la velocidad de la luz y ni tan siquiera acercarnos a semejante medida. Y tampoco hay posibilidad de viajar retrocediendo en el tiempo; simplemente podemos reducir el tiempo, pero no detenerlo o hacerlo retroceder.

Los problemas de ingeniería que implican la construcción de vehículos espaciales capaces de desarrollar tales velocidades, son enormes. El *Pioneer 10*, el ingenio más rápido fabricado por el hombre, y que ha podido abandonar nuestro Sistema Solar, viaja a una velocidad diez mil veces menor que la de la luz. Así pues, el viaje hacia el futuro no es, ni muchísimo menos, perspectiva inmediata, pero sí concebible para la avanzada tecnología de planetas de otras estrellas.

Aún hay otra posibilidad que debe mencionarse: es una perspectiva que, sin duda, encierra más especulación. Al final de sus tiempos de vida, las estrellas que tengan una masa 2.5 veces mayor que nuestro Sol sufrirán un colapso tan poderoso que no habrá fuerzas conocidas que puedan evitarlo. Las estrellas provocan una especie de pliegue o arruga en la tela sideral –más bien un «orificio o agujero negro»– en el cual desaparecen. La física de los agujeros negros no compromete la teoría de la relatividad de Einstein; sí implica muchas más dificultades a la teoría general de la relatividad. La física de los agujeros negros –particularmente de los agujeros negros que giran– se entiende en la actualidad bastante mal. Sin embargo, existe una conjetura que no se puede rechazar y que vale la pena anotar: Los agujeros negros

pueden ser una especie de paso o aberturas al Infinito, a algo desconocido incluso para la mente humana. Si nos lanzáramos al interior de uno de estos agujeros, seguramente, y así se especula, emergeríamos en otro lugar del Universo y en otra época en el tiempo. No sabemos si es posible alcanzar esta parte del Universo más rápidamente atravesando un agujero negro, que siguiendo la ruta normal. Ignoramos si es posible viajar en el pasado lanzándonos al interior de uno de estos agujeros negros. Las paradojas que implicaría esta última posibilidad podrían emplearse en contra de semejante probabilidad, pero en realidad no lo sabemos.

Hasta ahora, todo cuanto sabemos, o creemos saber, es que los agujeros negros son los canales de transporte de civilizaciones tecnológicamente avanzadas, quizá canales tanto en el tiempo como en el espacio. Hay un gran número de estrellas que poseen una masa 2.5 veces mayor que la del Sol; suponemos que todas ellas deben convertirse en agujeros negros durante su evolución relativamente rápida.

Los agujeros negros pueden ser entradas al País de las Maravillas. ¿Habrá allí Alicias o conejos blancos?

37. Habitantes de las estrellas - 1. Una fábula



La nebulosa Trífida, una densa nube de polvo y gas, fuera de la cual se están formando brillantes estrellas. Cortesía del Steward Observatory, University of Arizona.

Sucedió una vez, hace diez o quince mil millones de años, que el Universo no tenía forma. No había galaxias. No había estrellas. No había planetas. Y no había vida. Reinaba la obscuridad sideral. El Universo era hidrógeno y helio. La explosión del Big Bang había acabado y los fuegos de aquel acontecimiento titánico –bien la creación del Universo, o bien las cenizas de una anterior encarnación del mismo– tronaban débilmente a través de los corredores del espacio.

Pero los gases de hidrógeno y helio no se hallaban adecuadamente distribuidos. Aquí y allá, en la gran obscuridad, por accidente, se amontonaba una cantidad de gas mayor que la regular. Tales grupos gaseosos aumentaban de manera imperceptible a costa de lo que les rodeaba, atrayendo gravitacionalmente cada vez más y más cantidades de gas cercano. A medida que estas acumulaciones de gas aumentaron en su masa, sus partes más densas, gobernadas por las inexorables leyes de la gravitación y de conservación del momento angular, se contrajeron haciéndose más compactas, a la vez que giraban cada vez a más velocidad. En el interior de estas grandes bolas giratorias y remolinos de gas, se condensaban fragmentos más pequeños de una mayor densidad; estos fragmentos se hicieron pedazos, formando miles de millones de contraídas bolas de gas más pequeñas.

La contracción condujo a violentas colisiones de los átomos en los centros de las bolas de gas. Las temperaturas se hicieron tan altas que los electrones se desprendieron de los protones en los átomos de hidrógeno constituyentes. Como los protones tienen cargas eléctricas positivas, se rechazan mutuamente. Pero con el tiempo las temperaturas en los centros de las esferas de gas llegaron a ser tan grandes que los protones chocaron con extraordinaria energía, una energía tan enorme que se llegó a penetrar la barrera de rechazo eléctrico que rodea al protón. Una vez producida esta penetración, las fuerzas nucleares –las que mantienen unidos el núcleo de los átomos– se pusieron en marcha. Del gas de hidrógeno simple se formó el átomo más cercano en complejidad, el helio. En la síntesis de un átomo de helio entre cuatro átomos de hidrógeno, hay una pequeña cantidad en exceso de energía sobrante. Esta energía, atravesando la esfera de gas, alcanzó la superficie y se irradió al espacio. La esfera de gas se encendió y se formó la primera estrella. Hubo luz en la faz celestial.

Las estrellas evolucionaron durante miles de millones de años, transformándose lentamente el hidrógeno en helio en sus profundos interiores, convirtiendo a la vez la diferencia de masa en energía, e inundando de luz los cielos. En aquellos momentos no había planetas que recibieran la luz, y ninguna forma de vida admiraba el resplandor del cielo.

La conversión de hidrógeno en helio no pudo continuar de modo indefinido. Por último, en los ardientes interiores de las estrellas donde las temperaturas eran suficientemente altas como para vencer a las fuerzas de rechazo eléctrico, se consumió todo el hidrógeno. Se atizó el fuego de las estrellas. Las presiones interiores ya no pudieron soportar el enorme peso de las superpuestas capas de las estrellas. Entonces las estrellas continuaron su proceso de colapso, que había sido interrumpido mil millones de años antes por los fuegos nucleares.

Al producirse una mayor contracción, se alcanzaron temperaturas más elevadas, temperaturas tan altas que los átomos de helio –cenizas de épocas anteriores de reacción nuclear– se convirtieron en útiles como combustible estelar. En el interior de las estrellas se dieron reacciones nucleares más complejas, a la vez que las estrellas aparecían como hinchadas, como estrellas gigantes y rojas.

El helio se convirtió en carbono, el carbono en oxígeno y magnesio, el oxígeno en neón, el magnesio en silicio, el silicio en azufre, y hacia arriba a través de la escala de la tabla periódica de los elementos, una masiva alquimia estelar. Grandes y complicados laberintos de reacciones nucleares formaron algunos núcleos. Otros se unieron para formar núcleos mucho más complejos. Y otros se fragmentaron o combinaron con protones para formar núcleos sólo ligeramente más complejos.

Pero la gravedad en la superficie de las estrellas gigantes es baja, porque las superficies se desarrollaron a partir de los interiores. Las capas exteriores de las gigantes rojas se disiparon lentamente en el espacio interestelar, enriqueciendo al vacío entre las estrellas con carbono, oxígeno, magnesio y hierro, y con todos los elementos más pesados que el hidrógeno y el helio. En algunos casos, las capas exteriores de la estrella se desprendían como si fuesen las sucesivas telas de una cebolla. En otros casos, una colosal explosión nuclear sacudió a la estrella lanzando al espacio a inmensa velocidad la parte más exterior de la misma. Bien por fuga o explosión, por disipación lenta o rápida, el material estelar se expandió al espacio como fino gas del que se habían formado las estrellas.

Pero aquí ya estaban naciendo generaciones posteriores de estrellas. Una vez más, las condensaciones del gas trazaron sus piruetas de gravitación para más tarde convertirse en estrellas. Pero estas nuevas y segundas generaciones estelares se enriquecieron en elementos pesados, patrimonio de sus precedentes. Entonces, al formarse nuevas estrellas, también se formaron cerca de ellas más condensaciones pequeñas, condensaciones demasiado pequeñas como para producir fuegos nucleares y convertirse en estrellas. Eran pequeñas agrupaciones de materia fría, muy poco densas, que se formaban lentamente a causa de la rotante nube, para ser iluminadas más tarde por los fuegos nucleares que ellas no habían podido generar. Estas agrupaciones de poca importancia se convirtieron en planetas: algunos, gigantes y gaseosos, compuestos en su mayor parte por hidrógeno y helio, fríos y alejados de su estrella madre; otros, más pequeños y más calientes, perdiendo el conjunto de su hidrógeno y helio a causa de una lenta fuga al espacio, formaron una clase diferente de planeta, rocoso, metálico y con superficie dura.

Estos restos cósmicos más pequeños, congelándose y calentándose, liberaron pequeñas cantidades de gases enriquecidos con hidrógeno, atrapado en sus interiores durante el proceso de formación. Algunos gases se condensaron en la superficie formando las primeras atmósferas –atmósferas diferentes a la actual de la Tierra, compuestas por metano, amoníaco, sulfuro de hidrógeno, agua e hidrógeno–, una desagradable e insoportable atmósfera para los seres humanos. Pero ésta no es todavía una historia sobre seres humanos.

La luz estelar cayó sobre esta atmósfera. El Sol impulsó y dirigió las tormentas produciéndose truenos y relámpagos. Los volcanes entraron en erupción y la lava ardiente calentó la atmósfera cerca de la superficie. Estos procesos destruyeron las moléculas de una atmósfera primitiva. Pero los fragmentos se unieron para formar

moléculas cada vez más complejas, cayendo en los primeros océanos, y allí, relacionándose unas con otras, desplomándose por casualidad sobre terrenos arcillosos, en vertiginoso proceso de rotura, de resíntesis, de transformación, moviéndose lentamente hacia moléculas de una mayor complejidad, obedeciendo a las leyes de la física y la química. Al cabo del tiempo, los océanos alcanzaron consistencia de un caldo diluido y cálido.

Entre las numerosas especies de moléculas orgánicas complejas que se formaban y disipaban en este caldo, surgió, cierto día, una molécula perfectamente capaz de formar copias de sí misma –una molécula que dirigía débilmente los procesos químicos de su vecindad para producir moléculas como ella–, una molécula patrón, una molécula heliográfica, una molécula autorreproductora. Esta molécula no era muy eficiente. Sus copias eran inexactas. Pero muy pronto obtuvo significativa ventaja sobre las otras moléculas en las tempranas aguas. Las moléculas que no podían copiarse a sí mismas no lo consiguieron. Las que podían hacerlo sí lo hicieron. El número de moléculas aumentó así considerablemente.

A medida que transcurría el tiempo, el proceso de copia se fue haciendo más exacto. Otras moléculas se reprocesaron en las aguas para formar piezas de rompecabezas que se adaptaron a las moléculas que producían copias. La pequeña ventaja, la imperceptible ventaja estadística de las moléculas que podían copiarse a sí mismas, se transformó pronto en proceso dominante en los océanos mediante el cálculo de la progresión geométrica.

Surgieron sistemas reproductores cada vez más elaborados. Los sistemas que copiaban mejor producían más copias. Los que copiaban pobremente producían menos copias. Pronto, la mayor parte de las moléculas se organizaron en estructuras moleculares, en sistemas privados. No se trataba de que algunas moléculas llegaran a tener una idea o sentir una necesidad, deseo, o aspiración; simplemente, tales moléculas que producían copias continuaron haciéndolo y muy pronto la superficie del planeta se transformó por el proceso de copia. Con el tiempo, los mares se llenaron de estas moléculas que formaban estructuras, metabolizando, multiplicándose... y repitiendo estos procesos una y otra vez. Luego surgieron sistemas más complicados, las estructuras moleculares comenzaron a actuar moviéndose hacia donde los cimientos de copia eran más abundantes, evitando a las estructuras moleculares que incorporaban a sus vecinos. La selección natural llegó a ser un tamiz molecular, eligiendo las combinaciones de moléculas mejor dotadas para una posterior multiplicación.

Mientras tanto, se establecían los cimientos, los alimentos, las piezas para copias posteriores, principalmente mediante la luz solar, los relámpagos y los truenos, todo ello guiado por la cercana estrella. Los procesos nucleares en el interior de las estrellas fueron los que dieron impulso a los procesos planetarios que condujeron a una vida sostenida.

A medida que se fueron agotando los alimentos, surgió de nuevo una nueva especie de estructura molecular capaz de producir principios moleculares internos, lejos del agua, del aire y de la luz del Sol. A los primeros animales se unieron las primeras plantas. Los animales se convirtieron en parásitos de las plantas como ya lo habían sido en un principio en el maná estelar caído de los cielos. Las plantas cambiaron lentamente la composición de la atmósfera; el hidrógeno se perdió en el espacio, el

amoníaco se transformó en nitrógeno y el metano en anhídrido carbónico. Por primera vez, se producía el oxígeno en la atmósfera en cantidades importantes, el oxígeno, un gas venenoso capaz de convertir todas las moléculas orgánicas autocopiadoras en gases simples como el agua y el anhídrido carbónico.

Pero la vida tropezó con este supremo reto. En algunos casos horadando o minando hacia medios ambientes en los cuales el oxígeno estaba ausente, pero —en las variantes de más éxito— evolucionando no sólo para que sobreviviese el oxígeno, sino también para usarlo en el más eficaz metabolismo de alimentos.

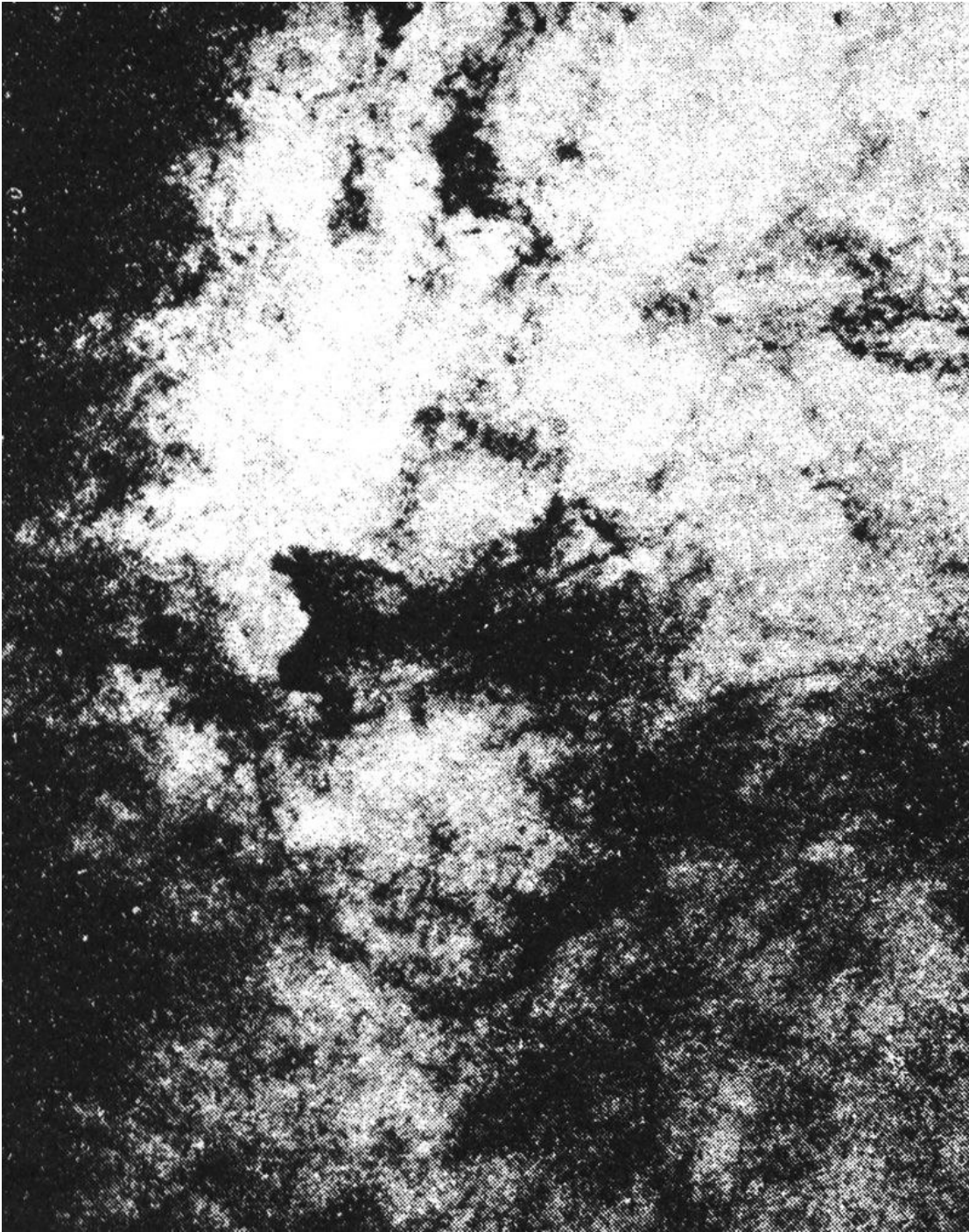
Evolucionaron el sexo y la muerte procesos que aumentaron notablemente el proceso de selección natural. Algunos organismos evolucionaron en sus partes duras, crecieron y sobrevivieron en el terreno. Se aceleró el proceso de producción de formas mucho más complejas. Evolucionó también el vuelo. Enormes bestias de cuatro patas atronaban las humeantes selvas. Surgían pequeñas bestias y sobrevivían entre astucias y rapidez de la vida en períodos que se iban acrecentando cada vez más.

Mientras tanto, el clima también variaba. Ligeros cambios en la producción de luz solar, movimiento orbital del planeta, nubes, océanos y casquetes polares, todo ello provocaba cambios climáticos aniquilando así grupos enteros de organismos y provocando la formidable proliferación de otros grupos al principio insignificantes.

Y entonces... la Tierra se enfrió un tanto. Los bosques iniciaron su retirada. Pequeños animales arborícolas descendían de los árboles para buscarse un modo de vida en las llanuras. Se irguieron y usaron herramientas. Se comunicaban produciendo en el aire ondas de comprensión con sus órganos de respiración y nutrición. Descubrieron que el material orgánico a temperatura suficientemente alta se combinaba con el oxígeno atmosférico para producir el plasma ardiente y estable llamado fuego. Mediante una interacción social, se aceleró el aprendizaje post partum. Se desarrolló la caza comunal, se inventó la escritura, las estructuras políticas, la superstición y la ciencia, la religión y la tecnología.

Y entonces, un día, llegó una criatura cuyo material genético no era muy diferente de las estructuras moleculares reproductoras de cualquier otra clase de organismos del planeta, que dicha criatura llamó Tierra. Pero era capaz de reflexionar sobre el misterio de su origen, de estudiar el extraño y tortuoso sendero por el cual había surgido desde la materia estelar. Era el material del Cosmos contemplándose a sí mismo. Consideró la enigmática y problemática cuestión de su futuro. Se llamó a sí mismo hombre. Y ansió regresar a las estrellas.

38. Habitantes de las estrellas - 2. Un futuro



Densas nubes estelares en dirección a la constelación de Sagitario, hacia el centro de la Galaxia. Las oscuras sendas son nubes de polvo donde se están formando moléculas orgánicas complejas. Entre estas estrellas hay algunas que nacen, y otras, que mueren. En el espacio captado por esta fotografía, probablemente hay innumerables planetas habitados, que giran alrededor de las estrellas. Cortesía de Hale Observatories.

La historia del capítulo anterior es una especie de fábula científica. Es más o menos lo que los científicos modernos creen basándose en cuantas pruebas tienen a mano. Es el esbozo de la aparición del hombre, un proceso que pasó por miles de millones de años, por la física nuclear y la gravitación, por la química orgánica y por la selección natural. El capítulo anterior nos cuenta cómo se generó el material de que estamos hechos en otro lugar y en otro tiempo, en los interiores de una moribunda estrella hace cinco mil millones de años o más.

Hay tres aspectos de la historia que considero particularmente interesantes. Primero, que el Universo se forma de tal manera como para permitir, ya que no garantizar, que sepamos cuál es el origen de la vida y el desarrollo de criaturas complejas. Es fácil imaginar leyes físicas que no permitirían se unieran adecuadas estructuras moleculares. Pero no vivimos en tales universos. Vivimos en un Universo notablemente adecuado para la vida.

Segundo, que en la fábula no hay un escalón único a nuestro Sistema Solar y a nuestro planeta. Hay 250 mil millones de soles en nuestra Vía Láctea, y miles de millones de otras galaxias en los cielos. Probablemente, la mitad de estas estrellas tienen planetas a distancias adecuadas biológicamente del sol local. Los elementos químicos iniciales para el origen de la vida son las moléculas que más abundan en el Universo. Algo similar a los procesos que en la Tierra condujeron al hombre deben haber tenido lugar miles de millones de otras veces en la historia de nuestra Galaxia. Debe haber otros habitantes.

Por supuesto, los detalles de la evolución no serían los mismos. Incluso si la Tierra se iniciase otra vez y solamente las fuerzas operasen al azar no se produciría nada parecido a un ser humano, porque los seres humanos son el producto final de una senda evolucionista exquisitamente complicada, llena de falsos comienzos, de callejones casi sin salida y de accidentes estadísticos. Pero bien podríamos esperar, ya que no seres humanos, sí organismos que funcionalmente no fuesen muy diferentes a nosotros. Puesto que hay segundas y terceras generaciones de estrellas mucho más viejas que nuestro Sol, debe haber, creo, muchos lugares en la Galaxia donde haya seres mucho más avanzados que nosotros en ciencia y tecnología, en política, ética, poesía y música.

El tercer punto es el más atractivo. Es la íntima conexión que hay o pueda haber entre las estrellas y la vida. Nuestro planeta se formó de los restos o sedimentos del material estelar. Los átomos necesarios para la vida se formaron en el interior de gigantescas estrellas rojas. Estos átomos se unieron forzosamente para formar moléculas orgánicas complejas mediante la luz ultravioleta, truenos y relámpagos, todo ello producido por la irradiación de nuestro vecino Sol. Cuando la provisión de alimento escaseó, se desarrolló la fotosíntesis de las plantas verdes, impulsada de nuevo por la luz solar, la luz solar que casi todos los organismos de la Tierra y, por supuesto, todos nosotros conocemos, y ciertamente se sigue viviendo hoy día gracias a ella. Pero éste no puede ser el final de la fábula. Nuestro Sol se está aproximando a su mediana edad. Quizás aún le queden de vida otros cinco mil millones o diez mil millones de años, de vida estelar, se entiende.

¿Y qué hay sobre la vida en la Tierra y el hombre? También, que sepamos, tienen un futuro. Y si no, hay miles de millones de otras estrellas y probablemente miles de

millones de otros planetas deshabitados en nuestra Galaxia. ¿Cuál es la acción recíproca entre las estrellas y la vida?

La muerte de las estrellas está llevando a los astrónomos a inesperados y casi irreales paisajes celestes. Uno de éstos es la explosión supernova, la angustia de muerte de una estrella ligeramente más sólida que nuestro Sol. En el breve período de unas semanas o, probablemente, de unos meses, tal explosiva estrella puede llegar a ser mucho más brillante que el resto de la galaxia en la cual reside. En una supernova, los elementos como el oro y el uranio se generan del hierro. Las supernovas son la tan buscada piedra filosofal, convirtiendo los metales básicos en preciosos.

Habiendo expulsado la mayor parte de su material estelar –destinado, parte de él, a ulteriores formaciones de nuevas estrellas, planetas y vida–, la estrella se dispone a disfrutar tranquilamente de una pacífica vejez, con sus fuegos extinguidos, como una enana blanca. Una enana blanca está constituida de materia en un estado que los físicos, sin ninguna imputación moral, llaman degenerado. Los electrones se desprenden del núcleo de átomos. Los escudos protectores de la electricidad negativa se desmontan. El núcleo puede unirse mucho más, lo que trae como consecuencia un estado de extraordinaria densidad. La materia degenerada pesa aproximadamente una tonelada por dedal. Algunas enanas blancas, consideradas adecuadamente, son grandes cristales estelares capaces de soportar el peso de las capas superpuestas de la estrella. Algunas enanas blancas son principalmente carbono. Podemos hablar de una estrella hecha de diamante.

Pero en cuanto se refiere a estrellas más sólidas, las enanas blancas –con sus brasas apagándose lentamente, reduciéndose a enanas negras– no son el estado final. La materia degenerada no puede soportar el peso de una estrella de mayor masa, y, en consecuencia, sigue otro ciclo de contracción estelar, aplastándose la materia para formar densidades cada vez más increíbles, hasta que se presenta un nuevo orden de física, hasta que una nueva fuerza surge para detener el colapso estelar. Solamente hay una fuerza conocida, con esta amplitud: es la fuerza nuclear que mantiene unido el núcleo del átomo. Esta fuerza nuclear es responsable de la estabilidad de los átomos, y, por tanto, de toda la química y biología. También es responsable de las reacciones termonucleares en el interior de las estrellas que hacen brillar a éstas y que, por ello, de forma completamente diferente, impulsa la biología planetaria

Imaginemos una estrella más o menos parecida al Sol, pero un poco más sólida, ya cerca del fin de sus días de convertir el núcleo simple en otro más complejo. Produce la última serie de reacciones nucleares complejas que es capaz de producir, y luego sufre el colapso. Cuando su tamaño se reduce, gira más y más rápidamente y tan sólo cuando su interior se hace comparable a la densidad de la materia dentro del núcleo atómico es cuando se detiene el colapso. Es una simple cuestión de física elemental calcular en que etapa se detendrá el colapso. Termina cuando la estrella tiene un par de kilómetros de diámetro y gira diez veces por segundo.

Tal objeto es una estrella de neutrones que gira rápidamente. En verdad, es un núcleo atómico gigantesco que mide dos kilómetros de diámetro. La materia de la estrella de neutrones es tan densa que una partícula suya –apenas visible– pesaría

un millón de toneladas. La Tierra no sería capaz de soportarla. Un trozo de materia de estrella neutrón, si pudiera transportarse a la Tierra sin romperse, se hundiría sin el menor esfuerzo atravesando la corteza, manto y núcleo de nuestro planeta como si fuera una hoja de afeitar que cortara mantequilla.

Tales estrellas neutrón eran productos teóricos, fruto de la imaginación de físicos especulativos, hasta que se descubrieron los pulsars. Los pulsars son fuentes de emisión de radio. Algunos de ellos están asociados con antiguas explosiones de supernovas. Nos parpadean como si el rayo de la luz de algún faro cósmico nos iluminara diez veces por segundo. Los detalles de la emisión de los pulsars se entienden mejor si son las estrellas de neutrones de la fábula. A causa de la pérdida de energía al espacio que observamos, el índice de rotación de una estrella de neutrones aislada debe declinar lentamente, aun cuando sea un cronómetro estelar de extraordinaria exactitud. La decadencia observada en los períodos pulsar es aproximadamente lo que se esperaba de la física de la estrella de neutrones.

El primer pulsar que se descubrió fue llamado por sus descubridores, un tanto burlonamente, LGM-1. Las siglas LGM corresponden a la frase «pequeños hombres verdes» [«little green men»]. ¿Era, se preguntaban, un fanal o faro de una civilización extraterrestre avanzada? Mi propio punto de vista, cuando oí hablar por vez primera de los pulsars, fue que eran perfectos fanales de navegación interestelar, la clase de señalizadores que una sociedad espacial interestelar situaría en la galaxia para orientarse en el tiempo y el espacio en sus viajes. Ahora hay muy pocas dudas de que los pulsars son estrellas de neutrones. Pero no excluiría la posibilidad de que si hay sociedades viajeras interestelares, los pulsars naturalmente formados se usan como luces de situación para la navegación y con propósitos de comunicación.

Aún no se ha entendido el estado de la materia del interior de tales estrellas de neutrones. No sabemos si una corteza de superficie conteniendo una celosía de cristal neutrón cubre un núcleo de neutrones líquidos. Si el núcleo fuera sólido, serían de esperar seísmos estelares, una desviación de la materia bajo enormes esfuerzos en el interior de la estrella. Tales seísmos producirían un cambio intermitente en el período de rotación de la estrella neutrón. Se observan tales cambios llamados centelleos.

Algunos se sintieron decepcionados al saber que los pulsars eran estrellas de neutrones y no canales de comunicación de radio interestelar. Pero los pulsars no dejan de ser interesantes. Sin duda alguna, una estrella más sólida que el Sol, que se adapta a una esfera que mide 2 km de diámetro y que gira diez veces por segundo, es, en cierto sentido, mucho más rara que una civilización mucho más avanzada que nosotros en el planeta de otra estrella.

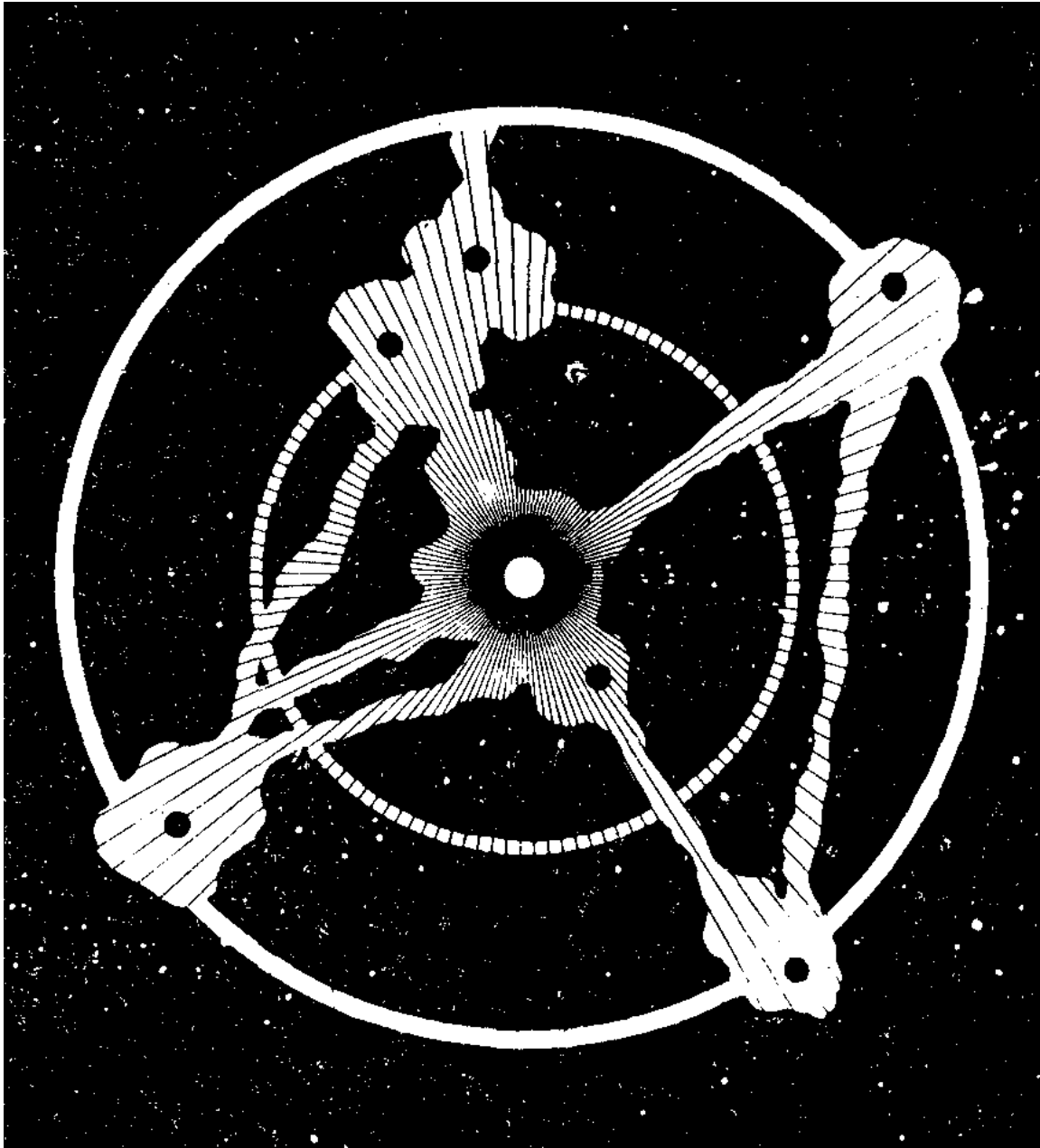
Pero hay otra forma más profunda en la que las estrellas de neutrones y las explosiones supernova están relacionadas con la vida. En una explosión supernova, como hemos mencionado anteriormente, se expulsan enormes cantidades de átomos desde la superficie de la estrella al espacio interestelar. En el caso de las estrellas de neutrones, y a causa de su rápida rotación, hay una zona no muy lejos de su superficie que gira casi a la velocidad de la luz. Las partículas saltan desde esa zona a tan alta velocidad que ha de tenerse muy en cuenta la teoría de la relatividad para describirlas. Tanto las explosiones supernova como las estrellas de

neutrones en su zona de alta velocidad deben producir rayos cósmicos, partículas cargadas muy rápidamente (en su mayor parte protones, pero conteniendo los restantes elementos también), que llenan el espacio entre las estrellas.

Los rayos cósmicos caen en la atmósfera de la Tierra. Las partículas menos energéticas son absorbidas por la atmósfera o desviadas por el campo magnético de la Tierra. Pero las partículas más energéticas, las que fueron producidas por estrellas de neutrones o supernovas, llegan a la superficie de la Tierra. Y aquí chocan con la vida. Algunos rayos cósmicos penetran a través del material genético de formas de vida en la superficie de nuestro planeta. Estos imprevisibles rayos cósmicos producen cambios, mutaciones, en el material hereditario. Las mutaciones son variaciones en lo que podríamos llamar heliografía, instrucciones hereditarias, contenidas en nuestras propias moléculas de autorreproducción o copia. Igual que si un reloj de buena calidad es golpeado con un martillo repetidas veces, el funcionamiento de la vida no mejorará probablemente bajo tales fortuitos porrazos. Pero, como ocurre algunas veces con los relojes o con los aparatos de televisión, un golpe aplicado al azar mejora su funcionamiento. Resulta perjudicial el vasto conjunto de mutaciones, pero la pequeña fracción de las mismas que son una mejora proporcionan las primeras materias para el avance de la evolución. La vida llegaría a un callejón sin salida al carecer de mutación. Así, en otra forma, la vida en la Tierra está íntimamente ligada a los acontecimientos estelares. Los seres humanos están aquí a causa de los paroxismos que se dan en las estrellas situadas a miles de años-luz de distancia.

El nacimiento de estrellas genera los semilleros planetarios de la vida. Las vidas de las estrellas proporcionan la energía de la que depende la vida. Las muertes de las estrellas producen las herramientas para el continuo desarrollo de la vida en otros lugares de la Galaxia. Si hay en los planetas de las estrellas moribundas seres inteligentes incapaces de huir de su destino, al menos podrán consolarse con el pensamiento de que la muerte de su estrella, el acontecimiento que provocará su propia muerte o extinción proporcionará, sin embargo, los medios de un progreso biológico continuado de la vida en un millón de otros mundos.

39. Habitantes de las estrellas - 3. Los gatos de Cheshire cósmicos



La unificación del Cosmos: hipotético sistema de tránsito rápido en los agujeros negros. Por Jon Lomberg.

La estrella de neutrones no es el habitante más raro del bestiario estelar. Una estrella que posee una masa tres veces mayor que la de nuestro Sol es demasiado grande incluso para que las fuerzas nucleares detengan su colapso. Una vez se inicia éste, no hay nada que lo detenga. La estrella se contrae hasta alrededor de 2 km y continúa contrayéndose. El campo de gravitación cercano a esta estrella

moribunda continúa aumentando. Por último, la gravedad es tan fuerte que no solamente la materia es incapaz de abandonar la estrella, sino que también queda atrapada la luz. Un fotón que viaje a la velocidad de la luz alejándose de la estrella, está obligado a seguir una trayectoria curva y caer de nuevo sobre la estrella, como sucede con la gravedad de la Tierra, que es demasiado potente para que cualquiera de nosotros pueda arrojar una piedra a velocidad de escape. Tales estrellas son demasiado sólidas incluso para que escapen los fotones. En consecuencia, son oscuras. No se pueden ver directamente porque no emanan ninguna luz. Están presentes gravitacionalmente, pero no en el aspecto óptico. Se llaman «agujeros negros». Son bestias emparentadas con la sonrisa del gato de Cheshire. Son estrellas enormes que han dejado de parpadear, pero todavía están allí.

Los agujeros negros son, básicamente, conceptos teóricos. Puede que no sean más que esto y que tampoco sean tan encantadores como los elfos de la Tierra Media. Pero probablemente están allí. De hecho, gran parte de la masa de la Galaxia puede residir, no en estrellas que no vemos ni en el gas o polvo que hay entre las estrellas, sino más bien en los agujeros negros que llenan la Galaxia como si fueran los agujeros de un queso Emmenthaler.

Puede haber sido descubierto el primer agujero negro. Cygnus X-1 es una fuente, que varía rápidamente, de rayos X, luz visible, y ondas de radio. Su emisión de rayos X fue captada por el satélite de la NASA, UHURU, lanzado desde un complejo de lanzamiento italiano cerca de la costa de Kenia. Todos los indicios señalan a Cyg X-1 como estrella binaria, dos estrellas que giran una alrededor de la otra en intrincado vals. Por el movimiento de una estrella que vemos, podemos deducir la masa de la que no vemos. Resultó ser una estrella de enorme masa, quizá diez veces la de nuestro Sol. Tal estrella normalmente debería ser muy brillante, pero no se la ve en absoluto. La estrella brillante en Cyg X-1 gira alrededor de un objeto masivo que está presente gravitacional, pero no ópticamente. Es muy probable que se trate de un agujero negro situado a una distancia de la Tierra de miles de años-luz.

Puede que tengan su utilidad los agujeros negros. Lo que hasta ahora sabemos de ellos es totalmente teórico, sin probar contra los escépticos standards de la observación. Hay algunas posibilidades raras que se han sugerido en cuanto se refiere a estos agujeros negros. Como no hay forma de salir de un agujero negro, es, en cierto sentido, un Universo aparte.

De hecho, nuestro propio Universo es muy parecido a un vasto agujero negro. Ignoramos qué es lo que hay fuera de él. Esto es verdad por definición, pero también a causa de las propiedades de los agujeros negros. Los objetos que hay en ellos no les pueden abandonar. En sentido un tanto extraño, nuestro Universo se puede llenar con objetos que no están aquí. No son universos separados. No tienen la masa del nuestro. Pero en su separación y en su aislamiento son universos autónomos.

Incluso hay una perspectiva más audaz. Desde un punto de vista especulativo (capítulo 36) un objeto que penetra en un agujero negro rotativo puede surgir en otra parte: en otro lugar, en otro tiempo. Los agujeros negros pueden ser aberturas o pasos a otras galaxias y a épocas remotas. Puede que sean atajos en el espacio y en el tiempo. Si existen tales agujeros en la tela del tiempo-espacio, por supuesto que será cierto que, por ejemplo, una nave espacial podrá usar un agujero negro

para viajar a través del espacio y del tiempo. El obstáculo más serio sería la fuerza de marea ejercida por el agujero negro durante la aproximación, una fuerza que tendería a destrozar cualquier materia. Y aun así, creo que cualquier civilización avanzada podría luchar con éxito en contra de esta terrible fuerza de un agujero negro.

¿Cuántos agujeros negros hay en el cielo? Nadie lo sabe en la actualidad, pero, de acuerdo con algunos cálculos teóricos, nos parece modesta la cantidad de un agujero negro por cada cien estrellas. Puedo imaginar, aunque sea pura especulación, una federación de sociedades en la Galaxia que haya establecido un sistema de rápido tránsito en los agujeros negros. Un vehículo se dirige rápidamente a través de una red de agujeros negros para llegar al agujero negro más cercano a su destino.

En un lugar típico de la Galaxia, cien estrellas se hallan situadas dentro de un volumen de radio de aproximadamente veinte años-luz. Si imaginamos vehículos espaciales adecuados para los viajes cortos —los trenes o lanzaderas locales— se tardaría solamente unos pocos años en ir desde el agujero negro hasta la estrella más lejana del centenar. Un año a bordo de la nave se ocuparía acelerando a aproximadamente 1 g, la aceleración que nos es familiar a causa de la gravedad de la Tierra. Al cabo de un año de 1 g, nos acercaríamos a la velocidad de la luz. Otro año se ocuparía llevando a cabo una aceleración similar a 1 g, al final del viaje. Una galaxia con tal sistema de transporte, un millón de civilizaciones separadas y grandes números de mundos con colonias, grupos de exploración y equipos de trabajo —una galaxia donde se conserve la individualidad de las culturas, pero a la vez manteniendo una común herencia galáctica; una galaxia en la cual los tiempos de los largos viajes hagan difícil el contacto trivial y la red de agujeros negros haga posible el contacto importante— ésa sería una galaxia de fantástico interés.

Imagino en dicha galaxia grandes civilizaciones que se desarrollarían cerca de los agujeros negros, con los planetas lejos de ellos, pero diseñados como mundos-granja, reservas ecológicas, lugares para ir de vacaciones o a divertirse, fabricantes de especialidades, puntos de aislamiento para poetas y músicos, y retiros para todos aquellos a quienes desagrada la vida de las grandes aglomeraciones de gente. El descubrimiento de este tipo de cultura galáctica podría tener lugar en cualquier momento; por ejemplo, mediante señales de radio enviadas a la Tierra por civilizaciones que habitan planetas de otras estrellas. O es posible que tal descubrimiento no se lleve a cabo en muchos siglos hasta que una solitaria nave espacial de la Tierra se aproxime a un agujero negro y allí descubra el usual conjunto de balizas que prohíban la llegada o el paso de naves mal preparadas y descubra también a los funcionarios de inmigración entre cuyos deberes figure explicar a los recién llegados de nuevas civilizaciones todo cuanto se refiere a convenciones y normas de transportes.

La muerte de las estrellas pesadas puede proporcionar los medios de atravesar los actuales límites o fronteras del espacio y del tiempo, haciendo que todo el Universo resulte accesible a la vida, y, en último caso, a unificar el Cosmos.

B.P.DLC.B.

LOS DRAGONES DEL EDÉN

Especulaciones sobre la evolución de la inteligencia humana

CARL SAGAN

Este libro no podrá ser reproducido, ni total ni parcialmente, sin el previo permiso escrito del editor. Todos los derechos reservados.

Título original: *The dragons of Eden*

Traducción: Rafael Andreu

Revisión: Doménec Bergadá

©Carl Sagan, 1997

© De esta edición Editorial Planeta DeAgostini. S.A. 2003

© Edición especial para Editorial Televisa. S.A. de C.V. 2003

ISBN: 84-674-0460-4

A mi esposa Linda con amor

Agradecimientos

Escribir un libro sobre un tema tan alejado de la propia especialidad es, en el mejor de los casos, aventurado. Aun así, como he intentado explicar, la tentación fue irresistible. Sean cuales sean las virtudes de este libro, se deben en gran parte a los hombres de ciencia que han realizado la investigación básica de la que vamos a ocuparnos, y también, a los biólogos y especialistas en ciencias sociales que tuvieron el gesto de leer y dar réplica a mis razonamientos. Estoy muy reconocido al difunto L. S. B. Leakey y a Hans Lukas Teuber por sus comentarios críticos y estimulantes contrastes de opiniones, y también a Joshua Lederberg, James Maas, John Eisenberg, Bernard Campbell, Lester y David Grinspoon, Stephen Jay Gould, William Dement, Geoffrey Bourne, Philip Morrison, Charles Hockett, Ernest Hartmann, Richard Gregory, Paul Rozin, Jon Lomberg, Timothy Ferris y, muy en especial, a Paul MacLean. Aprecio en lo que vale la minuciosa atención que algunos de ellos dispensaron a este texto, así como la obtenida de Anne Freedgood, directora editorial de la obra, y de Nancy Inglis, encargada de la revisión de originales, una y otra del equipo editorial de Random House, en la lectura de las primeras redacciones del libro. Creo inútil manifestar que ninguno de ellos tiene parte alguna en los errores que se hayan podido deslizar en mi estudio. Deseo también dar las gracias a Linda Sagan y a Sally Forbes por la labor de documentación realizada en la búsqueda de ilustraciones. Asimismo, quiero agradecer a diversos colegas que me hayan dejado consultar sus trabajos antes de darlos a la luz pública, y a Don Davis la confección de la sobrecubierta de la edición original de esta obra, que no pretende ser representación literal de una época geológica en concreto, sino simple alegoría de algunas de las ideas que expongo en el presente libro. Parte de mi trabajo ha sido posible gracias al año sabático que me ha concedido la Universidad de Cornell. También agradezco muy de veras la hospitalidad recibida de L. E. H. Trainor, M. Silverman, C. Lumsden y Andrew Baines, rector del New College, todos ellos ligados a la Universidad de Toronto. La revista Natural History ha publicado amplios extractos del primer capítulo. Por lo demás, algunos de los conceptos expuestos fueron presentados en un coloquio organizado conjuntamente por el Instituto de Higiene Mental de Massachusetts y el Departamento de Psiquiatría de la Facultad de Medicina de Harvard, y también en una de las conferencias del ciclo que patrocina la Fundación L. S. B. Leakey en el Instituto de Tecnología de California. En la redacción de este libro desempeña un papel importante la labor mecanográfica de Mary Roth y, muy en especial, la meticulosa y reiterada transcripción mecanográfica de los múltiples borradores efectuada por Shirley Arden.

Me temo que la principal conclusión que se desprende de la lectura de este libro, a saber, que el hombre desciende de una forma orgánica de rango inferior, irritará grandemente a muchas personas. Sin embargo, no cabe duda de que somos la progenie evolucionada de criaturas primitivas. Jamás olvidaré la sensación de pasmo que me invadió al contemplar por vez primera a un grupo de fueguinos en una bravia y desolada zona costera, porque en seguida me vino a la mente la semejanza de nuestros antecesores con aquellos salvajes. Iban completamente desnudos, la piel pintarrajeada, el largo cabello enmarañado y echaban espumarajos por la boca a causa de la turbación que experimentaban. Su semblante, sobresaltado y receloso, tenía expresión de ferocidad. No conocían arte ni oficio alguno y, cual alimañas, vivían de lo que cazaban. No poseían organización social y se mostraban implacables para con todos los que no pertenecieran a su reducida tribu. Quien haya visto a un salvaje en su entorno natural no sentirá excesivo rubor si se ve obligado a reconocer que por sus venas fluye la sangre de criaturas de un orden más bajo. En lo que a mí concierne, prefiero descender del heroico monito que se plantó ante su más temido enemigo para salvar la vida de su cuidador o del viejo babuino que descendió de la montaña y arrebató triunfalmente a un camarada más joven de los dientes de una sorprendida jauría, que de un salvaje que halla placer en torturar a sus enemigos, que ofrece sacrificios sangrientos, comete infanticidios sin el menor escrúpulo, trata a sus mujeres como esclavas, no conoce el decoro y es víctima de las más necias supersticiones.

Al hombre se le puede disculpar que experimente cierto orgullo por haber escalado, aunque no con su esfuerzo, la cúspide de la jerarquía orgánica. Por otra parte, el hecho de que haya ascendido a dicho puesto, de que no se encontrase en él desde un buen principio, le permite concebir esperanzas de alcanzar en un futuro lejano objetivos aún más encumbrados. Pero lo que ahora importa no son las esperanzas ni los temores, sino solamente la verdad, en la medida en que nuestra razón nos permita desvelarla. He procurado presentar las pruebas recogidas lo mejor que he sabido, y en mi opinión, resulta forzoso reconocer que el hombre, a pesar de las nobles cualidades que le adornan, de la compasión que muestra hacia los más menesterosos, de su bondad no sólo para con los otros hombres, sino también para con las criaturas más insignificantes, de su intelecto divino y de que ha llegado a elucidar los movimientos y constitución del sistema solar, a pesar de todo ello, digo, el hombre aún lleva impresa en su estructura corpórea la huella indeleble de su humilde origen.

CHARLES DARWIN, *El origen del hombre*

Hermano soy de los dragones y amigo de las lechuzas
(Job, 30,29)

Introducción

En buena lógica, ¿no debería la mente del orador conocer la sustancia del tema sobre el que se dispone a hablar?

PLATÓN, *Fedro*

No sé de un solo tratado, antiguo o moderno, que pueda proporcionarme una explicación convincente del medio físico que me rodea. La mitología es lo que más se acerca a lo que anda buscando.

HENRY DAVID THOREAU, *The Journal*

Jacob Bronowski forma parte del reducido grupo de hombres y mujeres que en el transcurso de la historia se han sentido atraídos y han logrado acceder a toda la gama del saber humano: las letras, las ciencias, la filosofía y la psicología. Bronowski rebasa el ámbito de la especialización en una sola disciplina para sobrevolar el vasto panorama de la erudición humana. Su libro, *The ascent of man*, adaptado también para la televisión, constituye un soberbio instrumento educativo a la par que un notable tributo al pasado. En cierto modo viene a relatarnos la evolución paralela del ser biológico y del ser intelectual.

El último capítulo de la obra y episodio final de la serie televisiva, titulado «La dilatada infancia», hace referencia al vasto periodo de tiempo —mucho más prolongado en los individuos de nuestra especie que en los de cualquier otra si tomamos como referencia la duración total de sus respectivas vidas— en que el niño permanece bajo la dependencia del sujeto adulto y su gran plasticidad, es decir, la capacidad que posee para adaptarse al entorno físico y cultural. Casi todos los organismos terrestres actúan en buena medida conforme al legado genético de que son portadores y que ha sido «previamente transmitido» al sistema nervioso del individuo, siendo la información extragenética recogida en el curso de su vida un factor secundario.

Sin embargo, en el caso del hombre y de los demás mamíferos sucede exactamente lo contrario. Sin desconocer el notable influjo del legado genético en nuestro comportamiento, nuestros cerebros ofrecen muchísimas más oportunidades de establecer nuevos modelos de conducta y nuevas pautas culturales en cortos periodos de tiempo que en cualquier otro ser vivo. Por decirlo de algún modo, hemos concertado un pacto con la naturaleza según el cual el difícil proceso de maduración del niño viene compensado por su capacidad de aprendizaje, lo que incrementa en gran manera las posibilidades de supervivencia de la especie humana. A más abundamiento, el ser humano, en la restringida y más reciente fase de su largo devenir biológico-intelectivo, se ha procurado no sólo información extragenética, sino también conocimientos extrasomáticos, o sea, información acumulada fuera de nuestro cuerpo, fenómeno del que la escritura constituye el ejemplo más significativo. Las transformaciones evolutivas o genéticas se consuman al cabo de extensos periodos de tiempo. Para determinar el intervalo que media entre la aparición de una especie superior a partir de su antecedente podría tomarse como base un periodo de cien mil años; por lo demás, con frecuencia las diferencias de comportamiento entre especies animales muy próximas —leones y tigres, por ejemplo— no parecen ser muy considerables. Una muestra de evolución reciente de un elemento corporal en el hombre la tenemos en los dedos del pie. El dedo gordo desempeña una función importante en la conservación del equilibrio al andar, pero el papel de los restantes dedos no es, ni muchísimo menos, tan manifiesto. Es indudable que estos dedos son un elemento evolucionado de los apéndices digitales que algunos animales, como los simios y los monos trepadores, utilizan para aferrarse o maniobrar ágilmente. Este ejemplo de evolución constituye una re-especialización, es decir, la adaptación de un órgano primitivamente evolucionado para una función específica a otra muy distinta, que no se materializó por completo hasta transcurridos unos diez millones de años. (Los pies del gorila de las montañas han seguido una evolución pareja, aunque enteramente autónoma.)

Hoy, sin embargo, no es preciso aguardar diez millones de años en espera de que se produzca la próxima mutación. Vivimos una época de cambios acelerados sin precedentes, y puesto que estos cambios son en buena parte obra humana, es imposible soslayarlos. No queda más alternativa que ajustarse, adaptarse al cambio, controlarlo o perecer.

Probablemente, sólo un mecanismo de aprendizaje extragenético puede afrontar el rapidísimo proceso de transformación que soporta la especie humana. En este sentido, la rápida evolución del intelecto humano que hoy se observa es, por un lado, la causa, y por otro, la única solución concebible a los muchos y graves problemas que nos acechan. Creo de veras que una mejor comprensión de la naturaleza y evolución de la inteligencia humana puede ayudarnos a enfocar con lucidez los peligros ignotos que sin duda esconde el futuro.

Otra de las razones que me han movido a interesarme por el tema de la evolución del factor cognoscitivo es que

hoy, por vez primera en la historia, disponemos de un poderoso instrumento que permite establecer comunicación a través de las inmensas distancias interestelares. Me refiero al radiotelescopio de gran alcance. Aunque un tanto a ciegas y con paso vacilante, hemos empezado a utilizarlo a ritmo creciente para dilucidar si existen otras civilizaciones ubicadas en extraños mundos, a distancias inimaginables, que están enviando radiomensajes a la tierra. Tanto la existencia de dichas civilizaciones como la naturaleza de los hipotéticos mensajes que tal vez transmitan sólo se conciben en la universalidad de la evolución del cerebro humano tal como se ha producido en nuestro planeta. De ahí que parezca lógico suponer que el estudio de la evolución del ser racional en la Tierra permitirá obtener pistas o perspectivas que arrojen un poco de luz a la investigación sobre la existencia de seres inteligentes en el espacio extraterrestre.

Me complació en extremo inaugurar el ciclo de conferencias sobre filosofía natural dedicado a la memoria de Jacob Bronowski que organizara la Universidad de Toronto en noviembre de 1975.

Durante la redacción del presente libro amplié de manera sustancial el ámbito de lo tratado en dicha conferencia, procurándome a cambio la estimulante oportunidad de ampliar conocimientos sobre temas que no son de mi especialidad. Sentí el irresistible impulso de sintetizar parte de los conocimientos adquiridos dentro de un marco coherente y de avanzar algunas hipótesis sobre la naturaleza y la evolución del intelecto humano que tal vez aporten alguna idea original y que, por lo menos, bucean en un terreno que no ha sido estudiado con amplitud.

Tarea ímproba, ya que si bien poseo estudios académicos de biología y llevo años investigando sobre el origen y primeros estadios evolutivos de los organismos vivos, carezco de conocimientos sólidos, por poner un ejemplo, en los terrenos de la anatomía y fisiología cerebrales. En consecuencia, al exponer las ideas que siguen lo hago con cierto sentimiento de inseguridad, consciente de que muchas de ellas entran en el terreno de la especulación y sólo pueden aceptarse o desecharse una vez sometidas a verificación. En todo caso, esta labor de análisis me ha ofrecido la oportunidad de atisbar un tema fascinante. Quizá las observaciones que formulo induzcan a otros a profundizar en su estudio.

El postulado capital de la biología, aquel que a tenor de nuestros conocimientos nos permite distinguir entre ciencias biológicas y ciencias físicas, es la idea de evolución a través de la selección natural, el trascendental hallazgo que realizaron Charles Darwin y Alfred Russel Wallace a mediados del siglo XIX.

Desde que tuviera lugar el famoso debate Victoriano entre el obispo Wilberforce y T. H. Huxley se han disparado inútilmente continuas andanadas contra las ideas sostenidas por Darwin y Wallace, a menudo inducidas por aquellos en posesión de hachas doctrinales que amolar. La evolución es un hecho ampliamente demostrado por los restos fósiles y los hallazgos de la moderna biología molecular. La bien conjuntada teoría de la selección natural tiene por objeto explicar el fenómeno de la evolución. Se hallará una muy ponderada respuesta a las críticas formuladas en fechas recientes a la teoría en cuestión, incluso a la peregrina opinión de que la selección natural es una tautología («Los que sobreviven, sobreviven»), en el artículo de Gould, publicado en 1976, reseñado en las referencias bibliográficas expuestas al final de la obra. Darwin era, indiscutiblemente, un hombre de su época, y por ello mismo proclive — como traslucen sus comentarios sobre los habitantes de la Tierra del Fuego citados al principio del libro — a establecer comparaciones autocomplacientes entre los pueblos europeos y otras comunidades étnicas. A decir verdad, las sociedades del período pretecnológico se parecían más a los hospitalarios, gregarios y civilizados bosquimanos cazadores y recolectores del desierto del Kalahari que a los fueguinos a los que Darwin, no sin cierta justificación, tenía en tan bajo aprecio. Sin embargo, las percepciones darwinianas en torno a la evolución, la selección natural como causa primera de aquella y la incidencia de estos conceptos en la configuración de la naturaleza del ser humano, constituyen auténticos jalones en la historia de la investigación científica, tanto más cuanto que en la Inglaterra victoriana — y también hoy, aunque en menor medida — estas ideas chocaron con una recalcitrante oposición.

Las perfeccionadas y espléndidas formas de vida que hoy conocemos han ido configurándose a través de la selección natural, o dicho en otros términos, la reproducción y supervivencia prioritarios de los individuos de cada especie accidentalmente más adaptados a su medio. La evolución de un órgano tan complejo como el cerebro debe enlazar inextricablemente con las etapas primerizas de la historia de la vida, con su vacilante progreso e insalvables valladares, con la tortuosa adaptación de los organismos vivos a condiciones cambiantes que una y otra vez ponen en trance de extinción formas de vida que en su origen estuvieron perfectamente adaptadas al medio. La evolución es fortuita y escapa a todo pronóstico. Tan sólo la muerte de un inmenso número de organismos mal adaptados nos permite a nosotros dar testimonio de vida.

La biología se asemeja más a la historia que a la física. Queremos decir con ello que las calamidades, errores y circunstancias favorables del pasado prefiguran en gran manera el presente. Al abordar una cuestión biológica tan intrincada como es la naturaleza y evolución de la inteligencia humana estimo, como mínimo, prudente conceder un valor sustancial a los razonamientos derivados de la evolución que ha experimentado el cerebro humano.

En lo que atañe al cerebro, parto de la premisa fundamental de que su actividad, lo que a veces solemos denominar «pensamiento», es mera y exclusiva consecuencia de su anatomía y fisiología. Quizá el «pensamiento» sea el resultado de la acción, separada o conjunta, de los componentes del cerebro, mientras que ciertos procesos pueden ser consecuencia de la actuación del cerebro en bloque. Por lo visto, algunos estudiosos del tema han llegado a la conclusión de que ninguna futura generación de neuroanatomistas podrá aislar y localizar todas las funciones superiores del cerebro puesto que ellos han fracasado en el empeño. Pero la ausencia de pruebas no es prueba válida de la ausencia. La historia reciente de la biología demuestra sin lugar a dudas que en buena medida somos el resultado de las interacciones de un complejísimo conglomerado molecular. Hoy, la naturaleza del material genético, antaño sanctasanctórum de la biología, se explica básicamente en función de los procesos químicos que desarrollan los ácidos nucleicos que lo constituyen, el ADN y el ARN, y de sus elementos activos, las proteínas. En el ámbito de la ciencia y sobre todo en el de la biología, se observa con frecuencia que los individuos más familiarizados con los entresijos de una cuestión tienden a sustentar criterios más empecinados (y a la postre erróneos) sobre la hipotética inasequibilidad del tema que quienes lo contemplan desde cierta distancia. Por otra parte, me doy perfecta cuenta de que si este

alejamiento es excesivo se corre el riesgo de confundir lo que no es sino ignorancia con supuesta percepción del problema. Sea como fuere, amparándome tanto en la clara tendencia que se observa en los más recientes progresos de la biología como en el hecho de que no se dispone de la menor prueba que la sustente, omitiré en estas páginas toda mención a la hipótesis acerca de lo que acostumbraba a conocerse como el dualismo cuerpo-mente, o sea, la noción de que en el interior de la sustancia corpórea material se contiene otra de muy distinta composición llamada mente.

Parte del estímulo y hasta del goce que uno halla en el estudio de la cuestión radica en el nexo que guarda con todas las áreas del esfuerzo humano, en especial la posible interacción de los conocimientos obtenidos del estudio de la fisiología del cerebro con las percepciones derivadas de la introspección humana. Por suerte, existe un cuantioso legado de estas últimas. En un pasado remoto, las más ricas, intrincadas y profundas de tales percepciones se denominaban mitos. «Los mitos son hechos jamás acaecidos pero siempre presentes», dijo Salustio en el siglo IV. En los diálogos platónicos, y también en *La República*, observamos que cada vez que se aborda un punto de vital importancia, Sócrates echa mano de un mito (recuérdese la parábola de la cueva, por aducir el ejemplo más conocido). Y conste que no me refiero aquí al vocablo «mito» entendido en el sentido que normalmente se le otorga, como un hecho que aun siendo contrario a la realidad natural goza de amplia aceptación en el seno de una colectividad, sino que lo utilizo en su acepción primigenia de metáfora sutil referida a una cuestión que no puede explicarse de otro modo. En consonancia con lo dicho, el lector hallará, entremezcladas con las disquisiciones objeto de estas páginas, alusiones esporádicas a mitos antiguos y modernos. Incluso el título de esta obra se debe a la sorprendente idoneidad de diversos mitos tradicionales y contemporáneos.

Aunque albergo la esperanza de que algunas de las conclusiones que expongo atraigan el interés de las personas dedicadas al estudio del intelecto humano, debo aclarar que, en principio, este libro va destinado al profano interesado en la materia. En el capítulo II se vierten conceptos algo más densos que en el resto de mi estudio. Aun así, confío en que el lector podrá salvar el obstáculo con un pequeño esfuerzo suplementario. De lo dicho se infiere que el libro no es de difícil lectura. Como norma general, los vocablos técnicos que aparecen ocasionalmente se definen antes de entrar en materia y, además, han sido incorporados al glosario de términos que figura al final del libro. Las tablas, cuadros, gráficos y esquemas son elementos auxiliares que, junto con el mentado glosario, facilitarán la comprensión del libro a los que no posean estudios en materia científica. Por lo demás sospecho que la correcta interpretación de las ideas expuestas no va a suponer que el lector esté de acuerdo con ellas.

En el año 1754, Jean-Jacques Rousseau escribía en el primer párrafo del *Discurso sobre el origen y la desigualdad de los hombres*:

Aunque para poder discernir con acierto el estado natural del hombre importa estudiarlo en sus orígenes ... no voy a seguir su organización a través de las sucesivas fases que ha conocido ... Sobre este particular no haría sino perderme en imprecisas y casi visionarias conjeturas. Hasta el momento, la anatomía comparada no ha progresado gran cosa, y las observaciones de los naturalistas me parecen demasiado endebles para ser utilizadas como plataforma válida sobre la que erigir una argumentación sólida.

Las prevenciones de Rousseau, formuladas hace más de dos siglos, siguen teniendo vigencia. No obstante, se han producido significativos avances en la investigación tanto de la anatomía del cerebro como de la conducta del hombre y de los animales, aspectos que Rousseau, muy atinadamente, conceptuaba de vital importancia en el marco de la cuestión. Tal vez ya no sea prematuro intentar una síntesis de carácter preliminar.

El calendario cósmico

¿Qué otra cosa vislumbra
en la oscura lejanía, allá en el abismo del tiempo?

SHAKESPEARE, *La tempestad*

El mundo es viejísimo y el ser humano sumamente joven. Los acontecimientos relevantes de nuestras vidas se miden en años o fracciones de tiempo aún más pequeñas, en tanto que la duración de una vida humana se reduce a unos pocos decenios, el linaje familiar a unos cuantos siglos y los hechos que registra la historia a unos milenios. Y, sin embargo, se extiende a nuestras espaldas un fantástico panorama temporal que se pierde en un pasado remotísimo del que apenas sabemos nada. En primer lugar, porque no poseemos testimonios escritos, y en segundo lugar porque resulta muy difícil hacerse una idea de la inmensidad de los periodos involucrados.

Aun así hemos logrado fechar algunos hitos de este remoto pasado. La estratificación geológica y la fijación de cronología en base al empleo de métodos radiactivos aportan datos sobre las distintas etapas arqueológicas, paleontológicas y geológicas. La teoría astrofísica suministra información sobre la edad de los planetas, las estrellas y la galaxia de la Vía Láctea, así como una estimación del tiempo transcurrido desde que acaeció este trascendental suceso conocido como el *big bang*, es decir, la gigantesca explosión cósmica que afectó a toda la materia y la energía del universo. Quizás el *big bang* fuera el principio del universo, o puede que supusiera una discontinuidad que acabó con toda información sobre los más remotos orígenes del cosmos. Pero lo indudable es que constituye el fenómeno más remoto del que se tiene noticia.

Para expresar la cronología cósmica nada más sugerente que comprimir los quince mil millones de años de vida que se asignan al universo (o, por lo menos, a su conformación actual desde que acaeciera el *big bang*) al intervalo de un solo año. Si tal hacemos, cada mil millones de años de la historia terrestre equivaldrían a unos veinticuatro días de este hipotético año cósmico, y un segundo del mismo correspondería a 475 revoluciones efectivas de la Tierra alrededor del Sol. En las páginas 23 a 25 presento la cronología cósmica de tres formas: una relación de fechas significativas anteriores al mes de diciembre; un calendario del mes de diciembre y una visión más pormenorizada de la Nochevieja, o sea del 31 de diciembre. Si se toma como base esta escala temporal, las efemérides narradas en los libros de historia — aun en aquellos que se esfuerzan en ampliar la visión de los hechos— se nos presentan tan apretujados que es necesario recurrir a una exposición detallada de los últimos segundos del año cósmico. Aun así, nos vemos obligados a reseñar como sucesos contemporáneos hechos que se nos ha enseñado a considerar muy distanciados en el tiempo. Es probable que en los anales de la vida se hayan producido acontecimientos igualmente cruciales en otros periodos, como, por ejemplo, entre las 10.02 y las 10.03 de la mañana del 6 de abril o del 16 de septiembre. Pero lo cierto es que tan sólo podemos ofrecer una visión pormenorizada del postrer intervalo del año cósmico.

La cronología se ha confeccionado de acuerdo con las pruebas más consistentes de que disponemos. No obstante, algunas resultan bastante inseguras. Por ello, nadie debe extrañarse si un día llega a determinarse que la vegetación no empezó a cubrir la superficie de la Tierra en el periodo silúrico, sino en el ordoviciense; o que los gusanos segmentados aparecieron en una fase del precámbrico más temprana de lo que se indica. Asimismo, es obvio que al confeccionar la cronología de los últimos diez segundos del año cósmico no me fue posible incluir todos los sucesos de relieve, y en este sentido espero que se me perdone el no haber mencionado de manera explícita los progresos acaecidos en el campo de las artes, la música, la literatura, o, en otro orden, las revoluciones americana, francesa, rusa y china, tan cargadas de significación histórica.

FECHAS ANTERIORES A DICIEMBRE

El <i>big bang</i> (la «gran explosión»)	1 de enero
Origen de la galaxia de la Vía Láctea	1 de mayo
Origen del sistema solar	9 de septiembre
Formación de la Tierra	14 de septiembre
Origen de la vida en la Tierra	~ 25 de septiembre
Formación de las rocas más antiguas conocidas	2 de octubre
Época de los fósiles más antiguos (bacterias y algas verdiazules)	9 de octubre
Diferenciación sexual (en los microorganismos)	~ 1 de noviembre

Plantas fotosintéticas fósiles más antiguas	12 de noviembre
Aparecen las eucariotas (primeras células con núcleo) ~ = <i>fecha aproximada</i>	15 de noviembre

La elaboración de estas tablas y cuadros cronológicos inclina forzosamente a la humildad. Así, resulta desconcertante que la aparición de la Tierra como producto de la condensación de la materia interestelar no acaezca en este año cósmico hasta primeros de septiembre; que los dinosaurios aparezcan en Nochebuena; que las flores no broten hasta el 28 de diciembre o que el ser humano no haga acto de presencia hasta las 22.30 de la víspera de Año Nuevo. La historia escrita ocupa los últimos diez segundos del 31 de diciembre, y el espacio transcurrido desde el ocaso del Medioevo hasta la época contemporánea es de poco más de un segundo. En virtud de la convención adoptada, se supone que el primer año cósmico acaba de tocar a su fin.

Pero, a pesar del intervalo insignificante que nos corresponde en la tabulación cósmica del tiempo, es obvio que lo que vaya a ocurrir en la Tierra y en su entorno al iniciarse el segundo año cósmico, dependerá en buena medida del nivel que alcance la ciencia y de la sensibilidad del género humano en su más prístina manifestación.

¿Con qué martillo? ¿Con qué cadena? ¿En qué horno se ha fundido tu cerebro? ¿Con qué yunque? ¿A qué temible garra sus atroces angustias le impulsaron a sujetarse?

WILLIAM BLAKE, «El Tigre»

De todos los animales, el hombre es el que tiene el cerebro más grande en proporción a su tamaño.

ARISTÓTELES, *De las partes de los animales*

La evolución biológica ha venido acompañada de un incremento de la complejidad. Los organismos más perfeccionados hoy existentes en la Tierra contienen un caudal de información, tanto genética como extragenética, mucho mayor que la de los más complejos organismos de, pongamos por caso, doscientos millones de años atrás, cifra que supone tan sólo la vigésima parte de la historia de la vida en nuestro planeta, o cinco días atrás, si tomamos como base el calendario cósmico. Los organismos actuales más simples tienen un pasado evolutivo tan denso como los de mayor complejidad, aunque bien pudiera ser que la bioquímica interna de las bacterias contemporáneas sea más eficiente que la de las bacterias de hace tres mil millones de años. En cambio, es probable que el monto de información genética de las actuales bacterias no sea mucho mayor que el de sus antecesoras. Así pues, es sumamente importante distinguir entre el caudal de información y la calidad de dicha información.

1 EL CALENDARIO CÓSMICO	
31 de diciembre	
Origen del <i>Procónsul</i> y del <i>Ramapithecus</i> , probables ascendientes del simio y del hombre	~ 13.30
Aparición del primer hombre	~ 22.30
Uso generalizado de los útiles de piedra	23.00
El hombre de Pekín aprende a servirse del fuego	23.46
Empieza el último periodo glaciario	23.56
Pueblos navegantes colonizan Australia	23.58
Florece el arte rupestre en toda Europa	23.59
Invencción de la agricultura	23.59.20
Cultura neolítica. Primeros poblados	23.59.35
Primeras dinastías en Sumer, Ebla y Egipto.	
Grandes avances de la astronomía	23.59.50
Invencción del alfabeto. Imperio acadio. Babilonia y los códigos de Hammurabi. Egipto: Imperio Medio	23.59.52
Metalurgia del bronce. Cultura micénica. Guerra de Troya. Cultura olmeca. Invencción de la brújula	23.59.53
Metalurgia del hierro. Primer Imperio asirio. Reino de Israel. Los fenicios fundan Cartago	23.59.54
La India de Asoka. China: dinastía Chi'n. La Atenas de Pericles. Nacimiento de Buda	23.59.55
Geometría euclidiana. Física de Arquímedes. Astronomía ptolemaica. Imperio romano. Nacimiento de Jesucristo	23.59.56
La aritmética india introduce el número cero y los decimales. Caída de Roma. Conquistas musulmanas	23.59.57
Civilización maya. China: dinastía Sung. Imperio bizantino. Invasión mongólica. Las Cruzadas	23.59.58
La Europa del Renacimiento. Viajes de descubrimiento de los países europeos y de la dinastía china de los Ming. La ciencia y el método empírico	23.59.59
Formidable expansión de la ciencia y de la tecnología. Universalización de la cultura. Adquisición de los medios de autodestrucción de la especie humana. Primeros pasos en la exploración planetaria mediante vehículos espaciales y en la búsqueda de seres inteligentes en el espacio extraterrestre	Tiempo presente: Primer segundo del Año Nuevo

Llamamos taxones a las distintas formas biológicas. Las clasificaciones taxonómicas más genéricas distinguen entre plantas y animales, o entre organismos cuyas células tienen un núcleo muy poco desarrollado (por ejemplo, bacterias y algas verdiazules) y aquellos en los que el núcleo se presenta claramente diferenciado y posee una compleja estructura (caso de los protozoos y del hombre). Sin embargo, todos los organismos del planeta, tanto si tienen o no un núcleo

definido, poseen cromosomas, en los que se almacena el material genético transmitido de generación en generación. Las moléculas transmisoras de los caracteres hereditarios son, en todo los organismos, los ácidos nucleicos. Salvo contadas excepciones, por lo demás secundarias, el ácido nucleico depositario de la información hereditaria es la molécula llamada ADN (ácido desoxirribonucleico). También cabe conceptuar como entidades taxonómicas diferenciadas otras divisiones más finas de varios tipos de plantas y animales en especies, subespecies y razas.

Una especie es un grupo de individuos que pueden cruzarse dando descendencia fértil, situación que no se produce al cruzarse con organismos de otros grupos. El cruce de perros de distintas razas origina cachorros que, una vez adultos, estarán en condiciones de reproducirse. Pero el apareamiento de dos especies distintas, incluso tratándose de especies tan próximas como el caballo y el asno, origina una descendencia estéril (en este caso, la muía). De aquí que asnos y caballos se clasifiquen como dos especies distintas. A veces se producen apareamientos, viables como tales pero infecundos, de especies más diferenciadas —leones y tigres, por ejemplo—, y aunque en rarísimas ocasiones la progenie tiene capacidad reproductiva, ello no indica sino que la definición de especie es un tanto confusa. Todos los hombres somos individuos de la especie *Homo sapiens*, optimista apelativo latino que significa «hombre sabio». Nuestros probables antecesores, el *Homo erectus* y el *Homo habilis* —a la sazón extintos—, se clasifican como pertenecientes al mismo género (*Homo*) pero a diferente especie, aunque nadie, por lo menos en fecha reciente, ha intentado investigar si el cruce de uno y otro con individuos de nuestra especie podría haber originado una progenie fértil.

En la antigüedad dominaba la idea de que se podía obtener descendencia a partir de cruces entre organismos de muy distinta naturaleza. La mitología nos dice que el Minotauro muerto por Teseo era fruto de un toro y de una mujer, y el historiador romano Plinio manifiesta que el avestruz, recién descubierto por aquel entonces, era producto del cruce de una jirafa con un mosquito. (Debo suponer que lo sería del apareamiento de una jirafa hembra y un mosquito macho.) Es indudable que muchos apareamientos no deben haber sido intentados en la práctica por una comprensible falta de incentivos.

En el presente capítulo aludiremos repetidas veces al gráfico de la página 32. La curva de un trazo continuo muestra el momento en que aparecen por vez primera algunos importantes grupos taxonómicos. Ni que decir tiene que existen muchos más taxones que los representados por los escasos puntos que aparecen en la gráfica. Con todo, la curva ilustra de forma clara la gran cantidad de puntos que se necesitarían para representar en la figura las decenas de millones de taxones que han surgido desde que la vida hizo su aparición en el planeta. Los grupos taxonómicos más importantes, aquellos que han evolucionado más recientemente, son por regla general los más complejos.

El análisis del comportamiento de un organismo, esto es, el número de funciones que está llamado a ejecutar en el curso de la vida, permite hacerse una idea de su grado de complejidad. Con todo, este factor también puede determinarse atendiendo al mínimo caudal de información que contiene el material genético del organismo de que se trate. Un cromosoma humano, por ejemplo, contiene una larguísima molécula de ADN arrollada de forma helicoidal, con lo que ocupa un espacio mucho más reducido del que necesitaría en el caso de que se presentara completamente extendida. Dicha molécula de ADN está fragmentada en bloques o unidades autónomas unidos de forma similar a los peldaños de una escala de cuerda. Dichas unidades reciben el nombre de nucleótidos, de los que existen cuatro variedades. El lenguaje de la vida, el caudal de información hereditario, viene determinado por las diferentes disposiciones de los cuatro tipos de nucleótidos distintos. Así pues, podemos decir que el lenguaje de la herencia está escrito en un alfabeto de sólo cuatro letras.

Pero el libro de la vida es muy pródigo y, así, una molécula de ADN cromosómico del hombre está integrada por unos cinco mil millones de pares de nucleótidos. Las instrucciones genéticas de los restantes taxones terrestres están escritas en el mismo lenguaje y con el mismo código. Es evidente, pues, que este lenguaje genético común constituye un indicio de que todos los organismos de la Tierra tienen un solo antecesor, de que en el planeta se produjo una única manifestación de vida hace aproximadamente cuatro mil millones de años.

Por regla general, el volumen informativo de cada mensaje viene representado en unidades llamadas bits, contracción del término inglés *binary digits* (dígitos binarios). El sistema aritmético más sencillo que existe no utiliza diez dígitos (como hacemos nosotros en virtud del accidente evolutivo que nos otorgó diez dedos), sino tan sólo dos, el 0 y el 1. Toda pregunta definida de manera suficiente es susceptible de ser respondida con un solo dígito binario, sea el 0 o el 1, es decir con un «sí» o un «no». En el supuesto de que el código genético estuviera escrito en un alfabeto con dos letras, en vez de en otro con cuatro, el número de bits contenido en una molécula de ADN equivaldría al doble de pares de nucleótidos. Pero dado que existen cuatro clases distintas de nucleótidos, el número de bits de información contenidos en la citada molécula de ADN es el cuádruple del número de pares de nucleótidos. Por lo tanto, si un solo cromosoma tiene cinco mil millones (5×10^9) de nucleótidos, contendrá veinte mil millones (2×10^{10}) de bits de información. (El símbolo 10^9 nos indica simplemente la unidad seguida de un determinado número de ceros; en el caso que nos ocupa, nueve.)

¿Qué cantidad de información suponen veinte mil millones de bits? ¿Cuál sería su equivalente si esta cifra se plasmara en un libro corriente escrito en un idioma moderno? Por regla general, los alfabetos de las distintas lenguas poseen de veinte a cuarenta letras, a los que debe añadirse de doce a veinticinco numerales y signos de puntuación. Por lo tanto, la mayoría de idiomas no requerirían más de sesenta y cuatro caracteres. Puesto que 2^6 es igual a 64 ($2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2$), bastarían seis bits para configurar una letra o signo. Imaginemos que llegamos a esta determinación mediante una especie de juego de las «Veinte preguntas», en el que cada respuesta equivale al empleo de un solo bit para una Pregunta a la que se contesta escuetamente con un «sí» o con un

«no». Supongamos que el carácter que deseamos especificar es la letra J. Para ello, procederíamos del siguiente modo:

PRIMERA PREGUNTA: ¿Se trata de una letra (0) o de otro sig no (1)?

RESPUESTA: De una letra (0). SEGUNDA PREGUNTA: ¿Forma parte de la primera mitad (0) o

de la segunda mitad (1) del alfabeto? RESPUESTA: De la primera mitad (0). TERCERA PREGUNTA: ¿Se encuentra entre las siete primeras

letras (0) de las trece que forman la primera mitad del

alfabeto, o entre las seis restantes (1)? RESPUESTA: Entre las seis últimas (1). CUARTA PREGUNTA: Tomando

las seis últimas letras (H, I, J,

K, L, M,), ¿forma parte de la primera mitad (0) o de la

segunda mitad (1)? RESPUESTA: De la primera mitad (0). QUINTA PREGUNTA: Tomando dichas letras (H, I, J),

¿es la H

(0) o bien la I o la J (1)? RESPUESTA: La I o la J (1).

SEXTA PREGUNTA: ¿Se trata de la I (0) o de la J (1)? RESPUESTA: De la J (1).

En consecuencia, especificar la letra J equivale al código binario 001011, con la salvedad de que no ha sido necesario formular veinte preguntas, sino seis, y es este detalle el que nos permite afirmar que para determinar una letra dada bastan solamente seis bits. Por tanto, veinte mil millones de bits corresponden poco más o menos a tres mil millones de letras ($2 \times 10^{16} = 3 \times 10^9$). Si una palabra consta por término medio de seis letras, el volumen de información que admite un cromosoma humano se eleva a unos quinientos millones de palabras ($3 \times 10^6 = 5 \times 10^8$). Si la página corriente de un libro contiene alrededor de trescientas palabras, la cantidad antedicha nos daría unos dos millones de páginas ($5 \times 10^3 \times 10^2 \approx 2 \times 10^6$). Teniendo en cuenta que, por término medio, un libro contiene quinientas páginas de esta índole, el caudal informativo de un solo cromosoma es el equivalente a unos cuatro mil volúmenes ($2 \times 10^5 \times 10^2 = 4 \times 10^3$). De lo dicho se desprende claramente que la secuencia de segmentos de la cadena de ADN que antes mencionábamos supone un formidable acopio de datos. Por lo demás, es natural que para especificar un objeto de tan exquisita construcción y complejo funcionamiento como el ser humano se requiera un caudal informativo tan inmenso. Los organismos simples son menos complejos y tienen menos funciones que realizar, de ahí que necesiten un menor acopio de información genética. Los computadores de los módulos del *Viking I* y *II* que se posaron sobre Marte en 1976 habían sido previamente programados con un volumen de instrucciones de algunos millones de bits. Por tanto, ambos vehículos espaciales contenían un poco más de «información genética» que una bacteria, pero muchísima menos que un alga.

El gráfico de la página siguiente nos muestra también la cantidad mínima de información genética de las moléculas de ADN en diversos grupos taxonómicos. La suma asignada a los mamíferos es inferior a la del ser humano, por la sencilla razón de que la mayor parte de ellos poseen menos información genética que el hombre. En el seno de algunas categorías taxonómicas —caso, por ejemplo, de los anfibios— el volumen de información genética varía considerablemente de una especie a otra, y se sospecha que buena parte de su ADN es redundante o carece de función específica. Este es el motivo de que en la gráfica conste solamente la cantidad *mínima* de ADN que contiene un taxón determinado.

En la gráfica se observa que hace tres mil millones de años el acopio de información de los organismos terrestres experimentó un marcado incremento, y que a partir de entonces el volumen de información genética ha ido aumentando lentamente. También se aprecia que si para poder sobrevivir el hombre necesita bastante más de varias decenas de miles de millones (varias veces 10^6) de bits de información, los sistemas extragenéticos deberán ser los encargados de facilitarle la cantidad complementaria; la velocidad con que se desarrollan los sistemas genéticos es tan lenta que el ADN no puede suministrar este suplemento de información biológica.

El gráfico muestra la evolución del acopio de información contenida en los genes y en el cerebro durante la historia de la vida en la Tierra. La curva de trazo grueso, jalonada por puntitos negros, representa el número de bits de información contenido en los genes de diversos grupos taxonómicos, de los que se muestra, también, la época de su aparición en la crónica geológica del planeta. Debido a las variaciones en la cantidad de ADN de una célula para ciertos grupos taxonómicos, sólo reseñamos en el gráfico el contenido *mínimo* de información correspondiente a un taxón determinado. Los datos se han tomado de la obra de Britten y Davidson (1969). La curva de trazo discontinuo, flanqueada o cortada por puntos en blanco, constituye una estimación aproximada de la evolución de la cantidad de información contenida en el cerebro y el sistema nervioso de los organismos en cuestión. La información que almacena el cerebro de los anfibios y otros animales de orden inferior caería fuera del margen izquierdo de la figura. También se muestra el número de bits de información contenido en el material genético de los virus, a pesar de que no se ha demostrado fehacientemente que los virus se originaran hace varios miles de millones de años. Cabe en lo posible que los virus hayan evolucionado en una etapa más reciente, por pérdida de funciones, a partir de bacterias u otros organismos más complejos. En el supuesto de que deseáramos ubicar la información extrasomática que se procura el hombre (bibliotecas, etc.), el punto correspondiente caería mucho más allá de la parte inferior del margen derecho de la figura.

El material básico de la evolución son las mutaciones, es decir, los cambios hereditarios producidos en las cadenas

de nucleótidos. Que se encargan de elaborar las instrucciones hereditarias en la molécula de ADN. Causas de mutación son la radiactividad ambiental, los rayos cósmicos del espacio, y, a menudo, el azar, que altera espontáneamente la disposición de los nucleótidos en contra de las previsiones formuladas sobre una base estadística. Los enlaces químicos se rompen accidental y espontáneamente. Hasta cierto punto el propio organismo regula las mutaciones, ya que posee la facultad de reparar determinados daños estructurales causados a su contingente de ADN. Hay, por ejemplo, una serie de moléculas que supervisan el ADN para detectar una posible deterioración de las mismas. Cuando se descubre una alteración particularmente nociva, ésta queda bruscamente cortada por una especie de «tijeras» moleculares, lo que permite recomponer el ADN. Con todo, esta facultad regeneradora no es, no conviene que sea, perfecta, puesto que la evolución necesita de las mutaciones. La mutación sobrevenida en una molécula de ADN del cromosoma de una célula de la piel del dedo índice no tiene influjo en la herencia, ya que los dedos de la mano no intervienen, por lo menos de una manera directa, en la propagación de la especie. Lo que sí influye son las mutaciones en los gametos, los óvulos y las células germinales, que son los agentes de la reproducción sexual.

De manera fortuita, ciertas mutaciones beneficiosas suministran el material de base que impulsa la evolución biológica, como, por ejemplo, la mutación que aporta melanina a determinada especie de mariposas nocturnas, con el consiguiente cambio de coloración del blanco al negro. Por regla general, esta clase de mariposas nocturnas se posa en el tipo de abedul que se da en Inglaterra, donde la coloración blanca del insecto le procura un camuflaje protector. En este caso la mutación de la melanina no supone una ventaja, pues las mariposas con pigmentación negra destacan visiblemente y son engullidas por los pájaros. Se trata, pues, de una mutación perjudicial. Pero cuando a raíz de la revolución industrial la corteza del abedul empezó a cubrirse de hollín, la situación cambió radicalmente, y sólo las mariposas que habían experimentado la mutación antedicha sobrevivieron. En este caso nos hallamos ante una mutación beneficiosa y, andando el tiempo, la mayor parte de las mariposas nocturnas adquieren la pigmentación negra, rasgo hereditario que se transmite a las futuras generaciones. De vez en cuando también se producen «retromutaciones» que destruyen la adaptación inducida por la melanina y que serían beneficiosas para el insecto si se pudiera poner término a la contaminación industrial que padece Gran Bretaña.

Obsérvese que en esta interacción entre mutación y selección natural, la mariposa nocturna no realiza un *esfuerzo* consciente para adaptarse a los cambios del medio físico. Se trata de un proceso fortuito, sólo verificado por apreciaciones estadísticas.

Los organismos de mayor tamaño, como el hombre, sufren por término medio una ni marion por cada diez gametos, o sea, que existe un 10 por 100 de probabilidades de que una célula germinal o reproductora lleve registrado un cambio transmisible por herencia en las instrucciones genéticas que han de configurar la estructura de la siguiente generación. Son mutaciones acaecidas al azar y casi siempre nocivas, pues es raro que un mecanismo de precisión mejore como resultado de un cambio fortuito en las instrucciones para construirlo.

Por otra parte, muchas de las mutaciones aludidas tienen carácter recesivo, es decir, no se manifiestan de forma inmediata. Con todo, el índice de mutación es a la sazón tan elevado que, al decir de diversos biólogos, si aumentase la cantidad de ADN genético se producirían índices de mutación demasiado altos. Si aumentara nuestra dotación de genes, sobrevendrían numerosos desajustes con excesiva frecuencia.

1. Hasta cierto punto el ritmo de mutación viene a su vez regulado por la selección natural, como se desprende del ejemplo aducido sobre las «tijeras moleculares». Pero es muy probable que exista un índice de mutabilidad mínimo e irreducible. 1.º) para que tengan lugar: suficientes expendidos genéticos y la selección natural entre en acción, y 2.º) como elemento equilibrador -jue las mutaciones producidas, supongamos, por los rayos cósmicos y los más eficaces mecanismos «restauradores» de la célula.

Si ello es así, tiene que existir un «techo» en cuanto al volumen de información genética que puede tener cabida en el ADN de los organismos más complejos. Por el mero hecho de su existencia, dichos organismos deben poseer considerables recursos de información extragenética. En todos los animales superiores, a excepción del hombre, esta información se contiene casi exclusivamente en el cerebro.

¿Cómo se distribuye la información contenida en el cerebro? Examinemos los dos puntos de vista más antagónicos acerca de la función del cerebro. Según unos, el cerebro, o por lo menos su capa más superficial, la corteza cerebral, es equipotente, o sea que cualquier parte de la misma puede realizar las funciones de las demás, por lo que no cabe hablar de localización de funciones. La segunda teoría afirma que el cerebro es un entramado de conexiones y que, por tanto, las funciones cognitivas específicas están localizadas en zonas muy concretas del cerebro. El estudio de los computadores parece indicar que la verdad radica en un punto medio entre ambos extremos. Por una parte, toda estimación no mística de la función cerebral debe relacionar la fisiología con la anatomía y cada función específica debe subsumirse en unos módulos neurales concretos u otras estructuras cerebrales. Por otra, y con objeto de asegurar la esmerada ejecución de cada función y prevenir eventuales fallos, cabe suponer que la selección natural ha desarrollado una redundancia considerable en la función cerebral. Y lo mismo cabe esperar del curso evolutivo más probablemente seguido por el cerebro.

La redundancia de memoria almacenada quedó claramente probada gracias a los experimentos de Karl Lashley, un psiconeurólogo de Harvard que extirpó considerables porciones de la corteza cerebral de ratas sin que los roedores olvidaran el trazado, previa mente asimilado, de un laberinto. De los referidos experimentos se infiere que una misma memoria ha de estar forzosamente localizada en múltiples partes del cerebro. Hoy sabemos que determinados recuerdos

se canalizan a través de un conducto denominado cuerpo calloso, que comunica los hemisferios cerebrales derecho e izquierdo.

Según Lashley, tampoco se apreciaron cambios en el comportamiento general de las ratas tras serles extirpada una porción considerable, digamos un 10 por 100, de cerebro. Aun así, habría que consultar al animalito y preguntarle su opinión al respecto. Aclarar inequívocamente la cuestión requeriría un estudio minucioso del comportamiento social de las ratas, de sus hábitos para procurarse alimentos y de su reacción ante el acoso de un felino. Hay cantidad de hipotéticas alteraciones que podrían ser consecuencia de tales extirpaciones y que, aun cuando no se hicieran evidentes al investigar de forma inmediata, serían de gran trascendencia para la rata, como, por ejemplo, el interés que suscita un individuo atractivo en otro del sexo opuesto después de la extirpación, o el grado de apatía que acredita el roedor frente a un gato al acecho.

. Incidentaimeme, como prueba de la influencia de las películas de dibujos animados en la vida norteamericana, vuélvase a leer el párrafo en que se habla de la rata y sustituyase este término por el de «ratón». Luego compruebe si aumenta de sopetón la simpatía hacia este incomprometido roedor expuesto incesantemente al bisturí de los investigadores.

Se arguye a veces que el seccionamiento o las lesiones de partes importantes de la corteza cerebral en el hombre — como tras practicar una lobotomía prefrontal bilateral o a resultas de un accidente— apenas repercuten en su comportamiento. Sin embargo, no debe perderse de vista que determinadas formas de conducta humana no se aprecian claramente desde el exterior, y a veces incluso pasan inadvertidas al propio sujeto. Ciertas percepciones y actividades, como la creatividad, se dan muy raramente. La asociación de ideas que llevan aparejados los actos del genio creativo, por insignificantes que sean, requieren al parecer el despliegue de múltiples recursos del cerebro. Es indiscutible que estos actos creativos son rasgo distintivo de nuestra civilización y del hombre como especie animal. Con todo, en muchos individuos se producen raramente y es muy posible que ni el sujeto que padece la lesión cerebral ni el médico que le examina perciban su ausencia.

Si bien es inevitable una considerable redundancia o duplicación de las funciones cerebrales, podemos asegurar casi con certeza que la hipótesis de la equipotencia integral es falsa, y la mayor parte de los neurofisiólogos contemporáneos la han rechazado. En cambio, no resulta fácil descartar la hipótesis de un cierto grado de equipotencia (como sería, por ejemplo, sostener que la memoria es una función de la corteza cerebral en bloque) aunque, como tendremos ocasión de ver, también ésta puede rebatirse.

Esta muy generalizada la idea de que la mitad del cerebro o más no entra en funciones. Desde un punto de vista evolutivo sería esta una circunstancia realmente anómala y cabría preguntarse por qué hubo proceso de evolución si a esta porción del cerebro no le corresponde función alguna. La verdad, empero, es que tal aseveración no se asienta en pruebas sólidas y que, una vez más, se formula tomando como base que numerosas lesiones cerebrales, generalmente de la corteza, no tienen repercusión manifiesta en el comportamiento. Esta teoría no toma en cuenta (1) la posibilidad de redundancia funcional, ni (2) el hecho de que determinados actos humanos se gestan a niveles de conciencia muy recónditos. Así, las lesiones del hemisferio derecho de la corteza cerebral pueden menoscabar pensamiento y acción, pero en dominios que no son los de la expresión oral y que, por definición, son de difícil descripción, tanto por parte del médico como del paciente.

Por otra parte, existen abundantes pruebas que demuestran el carácter local de las funciones cerebrales. Por ejemplo, se ha determinado que debajo de la corteza existen áreas cerebrales específicas relacionadas con el apetito, el sentido del equilibrio, la regulación térmica, la circulación de la sangre, los movimientos sincronizados y la respiración. Uno de los estudios clásicos sobre las funciones superiores del cerebro lo constituyen los experimentos del netirocrujano canadiense Wilder Penfield, quien ha investigado los efectos de la estimulación eléctrica de diversas partes de la corteza cerebral, por lo general tratando de aminorar los síntomas de dolencias tales como la epilepsia psicomotora. Los pacientes, tras una ligera estimulación eléctrica de determinadas zonas del cerebro, acreditaron rememorar percepciones olfativas, auditivas o visuales ya experimentadas en el pasado.

Uno de los casos tipo podría ser el del paciente al que después de serle practicada una craneotomía afirma haber escuchado con todo detalle la interpretación de una composición orquestal cuando se estimula eléctricamente su corteza cerebral a través del electrodo de Penfield. Cuando Penfield indicaba al paciente, que por norma siempre permanecía despierto durante los experimentos, que le estaba estimulando la corteza cuando en realidad no era así, el enfermo, indefectiblemente, señalaba que no afluían a su mente recuerdos de ninguna especie. Pero cuando Penfield provocaba sin previo aviso una estimulación eléctrica de la corteza, surgía o continuaba determinada evocación. Por ejemplo, había pacientes que decían experimentar una emoción concreta, una sensación de familiaridad o la remembranza plena de una experiencia acaecida muchos años atrás, todo ello de forma simultánea, pero no conflictiva, con la conciencia de estar en un quirófano conversando con el cirujano. Aunque algunos enfermos aludían a estas rememoraciones como «pequeños sueños», lo cierto es que no aparecía en ellos el simbolismo característico de toda ensoñación. Estas explicaciones han sido facilitadas casi exclusivamente por epilépticos, pero cabe dentro de lo posible, aunque en manera alguna se haya demostrado, que en circunstancias similares también los no epilépticos tengan reminiscencias perceptibles de la misma especie.

En un caso de estimulación eléctrica del lóbulo occipital, que está relacionado con la vista el paciente dijo estar viendo revolotear una mariposa con tan palpable verismo que, recostado como estaba en la mesa de operaciones, extendió su mano para atraparla. En el curso de un experimento parejo, realizado con un mono, el animal miraba con fijeza, como si tuviera un objeto ante sus ojos, hasta que realizó un brusco ademán con la mano derecha, como si quisiera aprehender alguna cosa, para luego contemplar con manifiesto desconcierto su mano vacía.

La estimulación eléctrica indolora de por lo menos algunas zonas cerebrales provoca una avalancha de

recuerdos concretos. Sin embargo, la supresión del tejido cerebral que está en contacto con el electrodo no borra la memoria. Es difícil resistirse a la conclusión de que, por lo menos en el hombre, la memoria de los distintos sucesos se acumula en alguna región de la corteza cerebral, en espera de que el cerebro la reclame mediante impulsos eléctricos, que, por supuesto, genera normalmente el propio órgano cerebral.

Si la memoria es una función de la corteza cerebral en bloque —más bien una especie de reverberación dinámica o estereotipo de ondas electromagnéticas estacionarias de sus partes constituyentes que acumulación estática en compartimientos estancos del cerebro— quedaría explicada la supervivencia de recuerdos aun después de haber sufrido el cerebro lesiones graves. Sin embargo, los indicios apuntan en dirección contraria. En una serie de experimentos llevados a cabo por el neurofisiólogo norteamericano Ralph Gerard, de la Universidad de Michigan, se enseñó a unos hámsters a recorrer un sencillo laberinto. A continuación los animalitos fueron sometidos a temperaturas de casi cero grados en un congelador, sometidos a una especie de hibernación artificial. Las bajas temperaturas hicieron que cesara toda actividad eléctrica detectable en el cerebro de los hámsters. Si la teoría de una memoria dinámica hubiese sido cierta, el experimento hubiera debido borrar del cerebro de los hámsters la retentiva del trazado del laberinto. Sin embargo, tras su descongelación, los hámsters recuperaron la memoria. A lo que parece, la memoria se halla localizada en regiones específicas del cerebro, y el hecho de que no sufra menoscabo después de lesiones cerebrales importantes demuestra que existe un suplemento residual de memoria estática almacenada en diversas áreas de la masa cerebral.

Penfield, ampliando los hallazgos de los investigadores precedentes, también descubrió la existencia de una notable localización funcional en la corteza motora. Determinadas partes de las capas superficiales de nuestro cerebro envían o reciben señales a/de ciertas partes del cuerpo. En las páginas 40 y 41 se ofrecen dos croquis de la corteza motórica y sensorial según Penfield. En ellos se refleja con claridad la importancia proporcional de las distintas partes de nuestro cuerpo. La gran extensión de área cerebral que corresponde a los dedos —sobre todo el pulgar—, así como a la boca y a los órganos del habla, corresponde exactamente a lo que en el plano fisiológico, y por vía del comportamiento, nos diferencia de la inmensa mayoría de las restantes especies animales. Sin el habla no habríamos desarrollado nuestro saber ni nuestra cultura, y sin las manos no hubieran sido posibles los portentosos avances técnicos del hombre ni sus creaciones monumentales. En cierto modo, el esquema de la corteza motora es una fiel representación de nuestra condición humana.

Pero en la actualidad las pruebas que poseemos acerca de la localización de las funciones son aún mucho más sólidas. En una brillante serie de experimentos, David Hubel, de la Facultad de Medicina de Harvard, descubrió la existencia de formaciones reticulares de células cerebrales que responden selectivamente a la percepción ocular de una serie de líneas orientadas según diversas direcciones. Así, existen células que detectan líneas horizontales, otras las verticales, unas terceras las diagonales, y cualquiera de ellas sólo resulta estimulada cuando percibe líneas con la orientación apropiada. Por tanto, ya se han registrado ciertos indicios indudables de pensamiento abstracto en las células cerebrales.

La existencia de regiones específicas del cerebro relacionadas con funciones cognoscitivas, sensoriales y motoras concretas, hace innecesaria la existencia de una perfecta correlación entre masa cerebral e inteligencia. Determinadas partes del cerebro son, a todas luces, más importantes que otras. Entre los cerebros de mayor tamaño se cuentan, por ejemplo, los de personajes como Oliver Cromwell, Ivan Turguenev y Lord Byron, todos ellos hombres de gran talento, pero no, en cambio, el de Albert Einstein, que tenía un cerebro de tamaño corriente. El cerebro de Anatole France, hombre de inteligencia superior a la media, era la mitad de grande que el de Byron.

Homúnculos sensorial y motor, según Penfield. Se trata de dos esbozos gráficos de la especialización de funciones en la corteza cerebral. Las figuras humanas distorsionadas muestran la atención que la corteza concede a los distintos órganos del cuerpo humano. Cuanto mayor es la parte del cuerpo expuesta, más importancia reviste. El croquis del «homúnculo sensorial» muestra dicha área somática, que recibe información neural de las partes del cerebro que se representan. El croquis del «homúnculo motor» corresponde a la transmisión de impulsos del cerebro al cuerpo.

El recién nacido posee un cerebro muy grande en proporción al tamaño del cuerpo (un 12 por 100, poco más o menos). Durante los tres primeros años de su vida, o sea el periodo en que el niño aprende con mayor rapidez, el cerebro, y en especial la corteza, continúan creciendo muy rápidamente. Al cumplir los seis, el niño posee ya el 90 por 100 de la masa encefálica que tendrá como adulto. El peso medio de la masa encefálica del hombre actual es de unos 1.375 gramos. Dado que la densidad del cerebro, como la de todos los tejidos corporales, es aproximadamente la del agua (un gramo por centímetro cúbico), el volumen de un cerebro de estas características sería de 1.375 cm³ algo menos de un litro y medio. (Un centímetro cúbico tiene, poco más o menos, el volumen del ombligo de un hombre adulto.)

El volumen del cerebro de la mujer es alrededor de 150 cm³ menor. Si se toman en cuenta las carencias ambientales y educacionales, no existen indicios sólidos de diferencias intelectuales cabales entre los individuos de uno y otro sexo. Consideramos, pues, que una diferencia de peso de 150 gramos en el cerebro de los individuos de la especie humana carece de relieve. También entre los adultos de las distintas razas humanas se dan parecidas diferencias. Por término medio, el cerebro de los orientales es un poco más grande que el de los blancos, y puesto que tampoco en este

caso se ha demostrado que, en igualdad de condiciones, existan diferencias en cuanto al nivel de inteligencia, la conclusión es la misma. La gran diferencia de peso entre los cerebros de Lord Byron (2.200 gramos) y de Anatole France (1.100 gramos) indica que, dentro de estos límites, una diferencia de incluso varios centenares de gramos no tiene, funcionalmente hablando, trascendencia alguna.

Por otra parte, el adulto microcéfalo, es decir, el individuo que nace con un cerebro pequeño» experimenta un grave menoscabo en sus facultades cognoscitivas. Por término medio, su masa cerebral es de 450 a 900 gramos, la masa encefálica de un recién nacido es corrientemente de 350 gramos, y la de un niño de un año, de 500 gramos aproximadamente. Es evidente que descendiendo en la escala de las masas cerebrales, llega un momento en que dicha masa es tan reducida que su actividad, comparada con la de un ser humano adulto que posea un cerebro de tamaño normal, se verá seriamente menoscabada.

Por lo demás, en los seres humanos existe una correlación esta dística entre el peso o tamaño del cerebro y la inteligencia. Como se desprende del ejemplo antes expuesto, concerniente al tamaño de los cerebros de Byron y de Anatole France, la relación entre ambos aspectos no es biunívoca. En ningún caso podemos afirmar taxativamente cuál es el grado de inteligencia de un individuo, hombre o mujer, tomando en cuenta solamente el tamaño de su cerebro. Sin embargo, como ha demostrado Leigh van Valen, biólogo evolucionista de la Universidad de Chicago, los datos de que disponemos nos inclinan a pensar que, por término medio, existe una correlación bastante estrecha entre el tamaño del cerebro y la inteligencia del individuo. ¿Significa esto que en algún caso el tamaño del cerebro es factor *determinante* de la inteligencia? ¿No es posible, por ejemplo, que la desnutrición del individuo, sobre todo del feto en el útero o durante la primera infancia, origine a la vez una merma del tamaño del cerebro y una disminución del nivel intelectual, sin que uno de estos factores sea causante del otro? Van Valen pone de manifiesto que la correlación entre el tamaño del cerebro y el grado de inteligencia en el ser humano es más exacta que la supuesta correlación entre la inteligencia y la estatura o el peso corporal del individuo adulto, que se sabe vienen mediatizados por una alimentación insuficiente. Por lo demás, no existe la menor duda de que la desnutrición puede originar un deterioro de la inteligencia. En fin, dejando al margen estas repercusiones, parece posible afirmar hasta cierto punto que a mayor tamaño del cerebro, en términos absolutos, mayores son las probabilidades de que el individuo alcance un grado superior de inteligencia.

Los físicos, al explorar zonas vírgenes del ámbito intelectual, han considerado útil realizar estimaciones sobre los órdenes de magnitud. Se trata de cálculos aproximados que esbozan el problema y sirven de guía a ulteriores estudios, sin que pretendan alcanzar una exactitud extrema. En lo que atañe al tema de la relación entre masa del cerebro e inteligencia, está claro que en el presente estadio de la ciencia no es posible efectuar una reseña de la función de cada centímetro cúbico de cerebro. Cabe preguntarse, empero, si habrá algún medio, por tosco que sea, de relacionar masa cerebral e inteligencia.

Es precisamente en este contexto donde las diferencias de masa cerebral entre individuos de ambos sexos ofrecen interés, porque, en general, la mujer es más baja y tiene una masa corpórea más reducida que el hombre. Cabe preguntarse, pues, si teniendo menos masa corpórea que controlar, la mujer necesita también un cerebro más pequeño. Ello implicaría suponer que la proporción entre masa del cerebro y masa total del organismo es un baremo más adecuado para medir la inteligencia que la estimación del valor absoluto de la masa cerebral.

En este diagrama se coteja la masa cerebral con la masa corpórea de primates, mamíferos, aves, peces, reptiles y dinosaurios. El diagrama se ha compuesto tomando como base la obra de Jerison (1973) y se han añadido algunos puntos correspondientes a los dinosaurios y miembros de la familia humana a la sazón extintos.

En el diagrama de la página 44 se muestra la masa cerebral y la masa corpórea de diversas especies animales. Se aprecia una notable diferencia de los peces y reptiles frente a las aves y mamíferos. Éstos presentan una considerable masa cerebral en proporción a la masa o peso corporal. El cerebro de los mamíferos puede llegar a pesar de diez a cien veces más que el de los reptiles actuales de tamaño equivalente. En cuanto a las diferencias entre mamíferos y dinosaurios, todavía son más abultadas. Se trata de diferencias realmente asombrosas y sistemáticas. Habida cuenta de que el hombre es un mamífero, es probable que alberguemos algún que otro prejuicio acerca de la proporción que guarda la inteligencia de los mamíferos con la de los reptiles. Con todo, creo que existen abundantes pruebas de que los mamíferos son, en todos los casos, mucho más inteligentes que los reptiles. (En el gráfico de la página 46 se nos muestra una insólita excepción; se trata de un dinosaurio del suborden de los terópodos, semejante al avestruz, perteneciente al último periodo del cretáceo, cuya proporción entre cerebro y masa corpórea le sitúa en una zona normalmente reservada a las grandes aves y a los mamíferos menos inteligentes. Sería interesante conocer muchos más datos acerca de esta, criaturas estudiadas por Dale Russell, director de la división de Paleontología de los Museos Nacionales de Canadá.) De este diagrama, también se infiere que los primates, grupo taxonómico en el que se incluye el hombre, se diferencian, aunque no de forma tan sistemática, de los restantes mamíferos. El cerebro de los primates es por término medio, de dos a veinte veces más grande que el de los mamíferos no primates de idéntica masa corporal.

Si examinamos con más detenimiento el citado diagrama y seleccionamos un grupo de animales, observaremos los resultados en la página 46. De todos los organismos reseñados en el gráfico el animal que posee el cerebro más grande en proporción al peso del cuerpo es una criatura llamada *Homo sapiens*, al que le siguen los delfines.

Si nos atendemos al criterio de la proporción entre masa cerebral y masa corporal los tiburones son los más inteligentes especímenes de la fauna piscícola, circunstancia congruente con el papel que la naturaleza asigna a esos cretáceos, ya que los depredadores del mar deben ser más inteligentes que los comedores de plancton. Tanto por lo que representa al progresivo aumento de la masa cerebral en proporción al peso del cuerpo como concerniente a la formación de centros coordinadores en los tres principales componentes de los cerebros, la evolución de los tiburones se ha desarrollado, curiosamente, de forma paralela a

la evolución de los vertebrados superiores en tierra firme.

Una vez más, creemos que no vamos a pecar de chauvinistas si afirmamos, en base a los indicios que nos suministran sus respectivos comportamientos, que el hombre y el delfín cuando menos dos de los organismos más inteligentes de la Tierra. Ya Aristóteles reparó en la importancia de la proporción, entre cerebro y masa corporal. En la actualidad, el principal defensor de esta teoría es Harry Jenson, neuropsiquiatra de la Universidad de California en Los Angeles. Jenson indica que existen algunas excepciones a nuestra correlación. Tal sucedería con la musaraña enana de Europa, que alberga una masa cerebral de 100 miligramos en un cuerpo de 4,7 gramos, de lo que resulta una proporción que la sitúa en la escala del hombre. Consideramos, empero, que no cabe aplicar la correlación masa-inteligencia a los animales de escasa envergadura corpórea, porque la más simple de las funciones «de manutención» del cerebro requiere un porcentaje mínimo de masa cerebral.

He aquí una ampliación detallada de algunos de los puntos del diagrama de la página 44. El sauromitoide corresponde a la especie de reptil parecido al avestruz que se menciona en el texto.

La masa cerebral de un cachalote maduro, pariente cercano del delfín, es de casi 9.000 gramos, o sea seis veces y media mayor que la usual en el hombre. Es una masa insólita en términos absolutos, pero no (cotéjese con el gráfico superior) si atendemos a la proporción entre tamaño del cerebro y envergadura del organismo. Con todo, la masa cerebral de las especies más gigantescas de dinosaurio representa el 1 por 100 de la que ostenta el cachalote. ¿Para qué necesita este cetáceo disponer de un cerebro tan enorme? ¿Existen estudios, percepciones, artes, ciencias o leyendas en torno a la figura del cachalote?

La pauta de la proporción entre masa cerebral y masa corpórea, en la que no intervienen apreciaciones de conducta, ha demostrado ser un baremo sumamente útil para medir la inteligencia proporcional de muy distintas especies animales. Es lo que un físico llamaría «un primer enfoque satisfactorio». (Conviene tomar nota, de cara a posteriores referencias, que los australopitecos, que o bien fueron antecesores directos del hombre o, por lo menos, de una rama muy afín, tenían también un cerebro considerable en proporción al peso del organismo, como demuestran los moldes obtenidos de cráneos fosilizados). Me pregunto si el singular atractivo de los niños de corta edad y de otros pequeños mamíferos —con cabezas proporcionalmente muy grandes comparadas con la de los individuos adultos de la misma especie— se debe a que tenemos una conciencia oculta de la importancia que reviste la proporción cerebro-masa corpórea.

De lo dicho hasta el momento se deduce que la evolución de los mamíferos a partir de los reptiles, ocurrida hace más de doscientos millones de años, vino acompañada de un notable incremento del tamaño relativo del cerebro y de la inteligencia, y que la evolución del hombre a partir de los primates más simples, ocurrida unos cuantos millones de años atrás, impulsó un proceso de cerebración todavía más asombroso.

El cerebro humano (dejando a un lado el cerebelo, que no parece tenga intervención en las funciones cognoscitivas) contiene alrededor de diez mil millones de elementos conmutadores llamados neuronas. (El cerebelo, situado debajo de la corteza cerebral, en la parte posterior de la cabeza, contiene aproximadamente otros diez mil millones de neuronas.) Los flujos eléctricos generados por y a través de las neuronas o células nerviosas llevaron al anatomista Luigi Galvani al descubrimiento de la electricidad. Galvani había comprobado que se podían enviar impulsos eléctricos a las ancas de la rana y que aquéllas se contraían espasmódicamente. Desde entonces se extendió la idea de que la electricidad era la causa de la motricidad animal en su acepción más profunda. A lo sumo, esta es una verdad a medias. Los impulsos eléctricos, transmitidos por conducto de las fibras nerviosas, producen efectivamente, por intermedio de agentes neuroquímicos, movimientos tales como la articulación de los miembros; pero los impulsos se generan en el cerebro. Sin embargo, la moderna ciencia de la electricidad, así como las industrias eléctricas y electrónicas, ven el origen de su actividad en los experimentos de estimulación eléctrica y subsiguiente contracción nerviosa de las ancas de las ranas llevados a cabo en el siglo XVIII.

Pocos decenios después de la muerte de Galvani, un grupo de escritores ingleses bloqueado en los Alpes por los rigores invernales decidió, como pasatiempo, ver cuál de sus componentes era capaz de escribir el relato más alucinante. Fue así como Mary Wollstonecraft Shelley, que formaba parte del grupo, escribió la archiconocida historia del monstruo del doctor Frankenstein, que cobra vida al serle aplicadas intensas descargas eléctricas. Desde entonces, el instrumental y los artificios eléctricos han sido ingrediente indispensable en la ambientación de las novelas y películas de terror. La idea de que estos elementos sean tan importantes para la creación de la vida humana arranca básicamente de Galvani, pero resulta un tanto equívoca, pese a lo cual el concepto ha tomado carta de naturaleza en numerosas lenguas occidentales. Así, puedo afirmar que me he sentido *galvanizado* por el afán de escribir este libro.

En general, los neurobiólogos estiman que las neuronas son los elementos activos de la función cerebral, si bien existen indicios de que determinados tipos de memoria y otras funciones cognoscitivas pueden estar ubicadas en ciertas moléculas del cerebro, tales como el ARN o las proteínas de reducido peso molecular. A cada neurona cerebral le corresponden aproximadamente diez células gliales o neurogliales (de la denominación griega de la cola o visco), que constituyen el andamiaje de la construcción neuronal. Por término medio una neurona del cerebro humano posee entre 1.000 y 10.000 sinapsis o puntos de contacto con las neuronas más próximas. (Parece que muchas neuronas de la médula espinal poseen alrededor de 10.000 sinapsis, y es posible que las llamadas células de Purkinje, en el cerebelo,

tengan todavía más. En cuanto al número de conexiones por neurona en la corteza cerebral, es probable que sean menos de diez mil.) En el supuesto de que cada sinapsis responda a una cuestión elemental con un simple «sí» o «no», al igual que los elementos de conmutación de las computadoras electrónicas, resultaría que el máximo de respuestas en uno u otro sentido, o bits de información, que podría contener el cerebro sería, poco más o menos, de $10^{10} \times 10^3 = 10^{13}$, esto es, 10 billones de bits (o 100 billones = 10^{14} bits, si partimos de 10^4 sinapsis por neurona). Algunas de dichas sinapsis contienen probablemente la misma información que otras sinapsis; otras guardarán relación con funciones motoras u otras funciones no cognoscitivas; finalmente, las habrá vacías de contenido, actuando como amortiguadores en espera del flujo informativo de la próxima jornada.

Si el cerebro humano tuviera una sola sinapsis —lo que correspondería a un individuo de monumental estupidez— no podríamos alcanzar más que dos estados mentales. Si las sinapsis fueran dos, tendríamos $2^2 = 4$ estados; si fueran tres, $2^3 = 8$ estados, y siguiendo esta progresión, a n sinapsis corresponderían 2^n estados. Pero el caso es que el cerebro humano contiene alrededor de 10^{13} sinapsis, por lo que el número de estados mentales que puede alcanzar el hombre es de $2^{10^{13}}$, o sea, 2 multiplicado por sí mismo diez billones de veces. Se trata de una cifra irrepresentable, mucho mayor, por ejemplo, que el número de partículas elementales (protones y electrones) que existen en todo el universo, número muy inferior a 2^{1000} . Debido a esta ingente cantidad de configuraciones cerebrales funcionalmente distintas no puede haber dos hombres iguales, ni siquiera dos gemelos monovitelinos que se hayan criado juntos. Esta cifra colosal puede explicar también, hasta cierto punto, el porqué de la imposibilidad de predecir la conducta humana y el hecho de que en un momento dado lleguemos a sorprendernos de nuestros propios actos. Y, ciertamente, a la vista de tales magnitudes, es realmente asombroso que existan pautas regulares de conducta en el hombre. La única respuesta válida es la de que en modo alguno se han agotado la totalidad de estados cerebrales y que, por consiguiente, existe un ingente número de configuraciones mentales no experimentadas, y ni siquiera atisbadas por el ser humano a lo largo de la historia de la humanidad. Desde este ángulo, todos somos diferentes entre sí, por lo que el reconocimiento de la inviolabilidad de la vida humana, en razón a la singularidad de cada individuo, resulta una consecuencia ética plausible.

En los últimos años se ha podido determinar la existencia de microcircuitos electrónicos en el cerebro. Las neuronas que constituyen estos microcircuitos presentan una gama de respuestas que va mucho más allá del escueto «sí» o «no» de los elementos conmutadores de las computadoras. Debido a su reducidísimo tamaño (normalmente, una diezmilésima de centímetro) los microcircuitos pueden procesar la información a gran velocidad, pues responden a estímulos o impulsos cuyo voltaje es una centésima menor del que se necesita para estimular a una neurona común y, por lo tanto, son capaces de dar respuestas mucho más precisas y complejas. A lo que parece, estos microcircuitos proliferan de manera congruente con nuestras nociones habituales acerca de la complejidad de un animal, por lo que sería en el ser humano donde se daría una mayor proliferación de los mismos, tanto en términos absolutos como relativos. Por otra parte, en el hombre se desarrollan en una fase embriológica tardía. La existencia de dichos microcircuitos induce a suponer que la inteligencia no sólo es la resultante de unos índices de proporcionalidad muy elevados entre cerebro y masa corporal, sino también de la abundancia de elementos conmutadores en el cerebro que realizan funciones muy específicas. Los microcircuitos hacen que el número de estados cerebrales sea mayor que el calculado en el párrafo anterior, con lo que se realza la sorprendente unicidad del cerebro de cada individuo.

Cabe, también, abordar el tema del caudal de información con tenido en el cerebro humano con arreglo al método introspectivo, completamente distinto del precedente. Tratemos, por ejemplo, de representarnos visualmente una escena de nuestra niñez. Escrutémosla con los ojos de la imaginación y supongámosla compuesta por una finísima trama de puntos, como las telefotos de los periódicos. Cada puntito tiene un color y una intensidad de tono. Se trata de averiguar cuántos bits de información se necesitan para fijar el color y la intensidad tonal de cada uno de ellos, cuántos puntitos forman la imagen representada y cuánto tiempo se requiere para grabar en la mente todos los detalles de la imagen. En esta evocación retrospectiva, uno centra la imaginación en una pequeñísima porción de la imagen cada vez, obteniendo un campo de visión muy reducido. Al integrar los distintos fragmentos de imagen, determinamos la velocidad con que el cerebro procesa los datos acumulados, que se expresará en bits por segundo. Realizado este cálculo, se detecta una velocidad máxima de procesamiento de unos 5.000 bits por segundo.

El ángulo de uno al otro extremo del horizonte en una superficie plana mide 180 grados; el diámetro de la luna es de 0,5 grados. Me consta que puedo apreciar algunos detalles en la superficie del astro, tal vez unos doce elementos visuales. De ello se deduce que el ojo tiene un poder de resolución de unos $0,5 / 12 = 0,04$ grados. Todo lo que esa cifra escapa a la visión del ojo humano. Según parece, el campo visual instantáneo que percibe el «ojo» de mi mente, así como mi ojo real, es unos dos grados por lado. Así pues, la figurita cuadrada que puedo visualizar en cualquier momento dado, contiene alrededor de 2.500 elementos gráficos ($2 / 0,04$)² equivalentes a los puntitos de una telefoto. Establecer toda la posible gama de grises y de color de estos puntos exige unos 20 bits por cada elemento de la imagen. Así, la descripción de la figurita a que aludía requiere unos 50.000 bits (2.500×20 bits). Pero escrutar la imagen requiere unos diez segundos, por lo que la velocidad de procesamiento sensorial de datos probablemente no es mucho mayor de 5.000 bits por segundo ($50.000 / 10$). A título de referencia, las cámaras instaladas en el *lander* del *Viking*, que poseen asimismo un poder de resolución de 0,04 grados, utilizan sólo seis bits por elemento gráfico para establecer su intensidad de tono y es capaz de transmitirlos directamente por radio a la Tierra a razón de 500 bits por segundo. Las neuronas del cerebro generan un potencial de 25 wátios, apenas suficiente para encender una pequeña luz incandescente. El potencial del *lander* del *Viking* para la transmisión de mensajes por radio y la realización de las restantes funciones encomendadas es de unos 50 wátios en total.

Por lo general, estas evocaciones visuales se concentran en los perfiles de las formas y en los contrastes muy marcados de color, como el paso del blanco al negro, más que en la representación de las gradaciones intermedias. La rana, por ejemplo, propende marcadamente a visualizar los gradientes de intensidad de tono. Con todo, existen claros

indicios de que con razonable frecuencia se da una detallada rememoración no sólo de los contornos de los objetos o figuras, sino también de su masa interior. Tal vez el ejemplo más chocante sea realizar con el hombre el experimento de reconstrucción estereoscópica de una imagen tridimensional a base de contemplar separadamente un mismo objeto situado ante uno y otro ojo. La fusión de imágenes en este anáglifo exige la rememoración de 10.000 elementos visuales.

Pero cuando estoy en estado de vigilia no me paso las horas reteniendo imágenes visuales ni me dedico a escudriñar sin tregua a cuantas personas y objetos encuentro a mi paso. Todo lo más, dedico a ello un pequeño porcentaje de mi tiempo. Mis restantes conductos de información —auditivos, táctiles, olfativos y gustativos— también participan, pero con una velocidad de transmisión mucho más baja. Finalmente, deduzco que la velocidad media de mi cerebro en el tratamiento de la información es de unos 100 bits (5.000/50) por segundo. Así pues, resultaría que a lo largo de un periodo de sesenta años destinamos 2×10^{11} bits, o sea un total de 200.000 millones de bits, a la retentiva visual y de otro género, en el supuesto de que poseamos una buena memoria. Se trata de una cifra inferior, aunque razonablemente inferior, al número de sinapsis o conexiones neurales (puesto que el cerebro realiza otras funciones, además de la simple evocación mental), e indica que las neuronas son, indiscutiblemente, los elementos conmutadores básicos de la función cerebral.

El psicólogo norteamericano Mark Rosenzweig y sus colegas de la Universidad de California en Berkeley han llevado a cabo una serie de notables experimentos sobre los cambios que experimenta el cerebro durante el proceso de aprendizaje. Para ello constituyeron dos colonias de ratas de laboratorio: una en un medio silencioso, monótono y degradado, y otra en un entorno abigarrado, bullicioso y estimulante. Pues bien, el segundo grupo mostró un asombroso aumento de la masa y espesor de la corteza, simultáneamente con una serie de alteraciones en la química del cerebro. El fenómeno pudo detectarse tanto en los roedores maduros como en los jóvenes. Esta clase de experimentos demuestra que las incidencias de orden intelectual van acompañadas de cambios fisiológicos y pone de manifiesto que la plasticidad o adaptabilidad puede ser regulada anatómicamente. Teniendo en cuenta que una corteza cerebral más grande puede facilitar el aprendizaje futuro, se aprecia claramente la importancia de que la niñez del individuo transcurra en un medio estimulante.

Ello significaría que el saber adquirido se corresponde con la producción de nuevas sinapsis o la reactivación de las casi extintas. El neuroanatomista William Greenough, de la Universidad de Illinois, junto con sus colaboradores, ha encontrado indicios que abonan esta hipótesis. En efecto, se ha comprobado que las ratas, después de varias semanas dedicadas al aprendizaje de nuevas instrucciones en el laboratorio, desarrollan en su corteza las ramas neuronales que necesitan para formar sinapsis. Por el contrario, otros roedores sometidos a las mismas condiciones ambientales pero que recibieron una instrucción mucho menos amplia no presentaron innovaciones neuroanatómicas de clase alguna. La formación de nuevas sinapsis requiere la síntesis de moléculas de proteína y de ARN. Pues bien, existen abundantes indicios de que estas moléculas se elaboran en el cerebro durante el aprendizaje, e incluso se ha dicho que el saber está contenido en las moléculas de proteína o de ARN del cerebro. Pero lo más probable es que la

información incorporada esté contenida en las neuronas, que a su vez están constituidas por proteínas y ARN.

¿Cuál es el grado de compactibilidad de la información almacenada en el cerebro? Por regla general, un computador moderno en funcionamiento alberga un caudal informativo de alrededor de un millón de bits por centímetro cúbico, cantidad resultante de dividir el total de información almacenada en el computador por su volumen. Como hemos dicho, el cerebro humano almacena alrededor de 10^{13} bits en poco más de 10^3 centímetros cúbicos. Así pues, su densidad de información es de $10^{13}/10^3 = 10^{10}$, o sea, unos diez mil millones de bits por centímetro cúbico. Por lo tanto, el cerebro acumula diez mil veces más información que un computador, pese a la diferencia de tamaño entre uno y otro. Dicho de otra manera: un computador de la última generación que tuviera que procesar los datos contenidos en el cerebro humano, tendría que tener un volumen diez mil veces mayor. Por otra parte, los actuales computadores electrónicos pueden procesar la información a una velocidad entre 10^6 y 10^7 bits por segundo, mientras que la velocidad máxima que desarrolla el cerebro es diez mil millones de veces menor. Fácil es imaginar cuán perfecto debe ser el sistema de almacenamiento y «bobinado» del cerebro, habida cuenta de su enorme volumen informativo y lenta velocidad de procesamiento de datos, para realizar tantas tareas vitales con mucha mayor eficiencia que el más perfeccionado de los computadores.

El número de neuronas contenidas en el cerebro de un animal no crece a la par que el volumen del cerebro, sino que aumenta más lentamente. Como se ha dicho, el cerebro del hombre, cuyo volumen es de unos 1.375 cm^3 , contiene, aparte del cerebelo, unos diez mil millones de neuronas y diez billones de bits. No hace mucho, hallándome en un laboratorio del Instituto Nacional de Salud Mental cercano a Bethesda, Maryland, tuve entre mis manos el cerebro de un conejo. Su volumen era a lo sumo de treinta centímetros cúbicos, poco más o menos el tamaño de un rábano común, correspondiente a unos pocos centenares de millones de neuronas y a unos cien mil millones de bits. Esta masa encefálica regulaba, entre otras cosas, la masticación de la lechuga, las contracciones del hocico y la actividad sexual de los individuos adultos.

Dado que en el seno de grupos taxonómicos como los mamíferos, reptiles o anfibios hay individuos con muy distintas masas cerebrales, no nos es posible ofrecer una evaluación fidedigna acerca del número de neuronas que contiene el cerebro de un representante común de cada entidad o categoría taxonómica, pero sí podemos calcular los valores medios, como se muestra en el gráfico de la página 32. Las evaluaciones aproximadas que allí se ofrecen indican que el cerebro del hombre tiene, poco más o menos, cien veces más bits de información que un conejo. No sé si tendrá utilidad saber que el hombre es cien veces más inteligente que el conejo, pero en todo caso no me parece una aserción ridícula. (Por supuesto que de ello no debe inferirse que un centenar de conejos alcancen el nivel de

inteligencia de un ser humano.)

Estamos ya en condiciones de poder comparar el gradual incremento que ha ido experimentando el caudal de información contenido en el material genético y el acumulado en el cerebro de los organismos a lo largo de los sucesivos estadios evolutivos. La intersección de las dos curvas (página 32) coincide con una fecha que nos lleva a remontarnos unos cuantos centenares de millones de años en el pasado y a un volumen de información equivalente a unos miles de millones de bits. En algún lugar de las calurosas junglas del carbonífero emergió un organismo que por vez primera en la historia de la Tierra poseía más información en el cerebro que en los genes. Se trataba de uno de los primeros reptiles, y si nos topásemos con él en nuestro supercivilizado mundo, no le asignaríamos un grado de inteligencia excepcional. Sin embargo, este cerebro marcó un simbólico hito en los anales de la vida sobre el planeta. Los dos jalones subsiguientes en el proceso de cerebra-ción, coincidentes con la aparición de los mamíferos y el advenimiento de los primates semejantes al hombre, constituyeron un avance todavía más significativo en lo tocante a la evolución de la inteligencia. Gran parte de la historia de la vida a partir del carbonífero puede ser descrita como el progresivo —y, por supuesto, incompleto— dominio del cerebro sobre los genes.

El cerebro de un pez es incipiente. Un pez posee un notocordio o médula espinal, al igual que otros invertebrados de inferior jerarquía. Un pez primitivo tiene, además, una pequeña protuberancia en el extremo frontal de su médula espinal que hace las veces de cerebro. En los peces más evolucionados esta protuberancia está más desarrollada, pero su peso aún no sobrepasa los dos gramos. En los animales superiores, esta turgencia corresponde al llamado cerebro posterior o rombencéfalo y al cerebro medio o mesencéfalo. El cerebro de los actuales peces está constituido en buena parte por el mesencéfalo y un diminuto prosencéfalo (cerebro anterior), a la inversa que en los reptiles y anfibios contemporáneos (véase la figura de la página 56). Y, sin embargo, los registros fósiles de los primeros vertebrados conocidos nos muestran ya configuradas las principales divisiones del cerebro del hombre actual (por ejemplo, regiones anterior, media y posterior). Hace quinientos millones de años, nadaban en los mares primitivos unos vertebrados acuáticos pisciformes —los llamados placodermos y ostracodermos— cuyos cerebros tenían ostensiblemente las mismas divisiones básicas que los nuestros. Con todo, el tamaño y la importancia proporcional de sus partes, e incluso las funciones primitivas de las mismas, eran sin duda muy diferentes a los de nuestros días.

Esquemas comparativos de los cerebros de un pez, un anfibio, un reptil, un ave y un mamífero. El cerebelo y la médula oblongada forman parte del cerebro posterior.

Una de las perspectivas más interesantes de la ulterior evolución del cerebro es la crónica del continuo crecimiento y especialización de tres nuevas capas o membranas que coronan la médula espinal, el rombencéfalo y el mesencéfalo. Al término de cada fase de la evolución perviven las antiguas divisiones cerebrales, pero deben adecuarse al cambio y, además, se ha unido a ellas una nueva capa dotada de nuevas funciones.

Paul MacLean, director del laboratorio de evolución cerebral y conducta del Instituto Nacional de Salud Pública, es en la actualidad el más destacado representante de esta teoría. Uno de los rasgos más sobresalientes del trabajo de MacLean es que abarca una amplia gama de especies animales, desde el lagarto hasta el

tití. Otra nota acreditativa de su excelente labor es el minucioso estudio que él y sus colegas han llevado a cabo sobre el comportamiento social y de todo tipo de estos animales para así incrementar las posibilidades de descubrir qué actos de conducta concretos regula cada una de las partes del cerebro.

Los titíes de rasgos faciales «exóticos» se saludan entre sí con arreglo a una especie de ritual exhibicionista. Los machos muestran la dentadura, sacuden las barras de la jaula, lanzan un chillido estridente —que a buen seguro tiene carácter intimidatorio en las colonias de estos platirrinós— y elevan las piernas dejando al descubierto el pene erecto. Si en la comunidad humana un comportamiento de este género se consideraría en muchos casos sumamente grosero, en lo que respecta a los titíes constituye un acto complejo que sirve para mantener la jerarquía de dominio en el ámbito de su comunidad.

MacLean ha descubierto que basta la lesión de una pequeña porción del cerebro para que el tití no pueda acometer la exhibición referida, aun cuando mantenga intactas sus restantes facultades, como pueden ser las funciones sexuales y la agresividad. La parte afectada se halla en la parte más «vieja» del prosencéfalo, que tanto el hombre como otros primates comparten con los mamíferos y reptiles antecesores del hombre. En los mamíferos no pertenecientes al orden de los primates y en los reptiles se da un comportamiento ritual semejante que, al parecer, se regula desde la misma región cerebral. Las lesiones de este componente reptiloide pueden repercutir sobre otras actividades automáticas no precisamente rituales como, por ejemplo, los actos de andar o de correr. Entre los primates hallamos con frecuencia esta relación entre ostentación sexual y posición jerárquica del individuo. Por ejemplo, entre los macacos japoneses, la casta social se mantiene y refuerza mediante la monta diaria de los individuos de castas inferiores, que adoptan la sumisa postura sexual característica de la hembra en celo mientras los machos dominantes efectúan una breve y formularia cubrición. Se trata no tanto de apareamientos de carácter sexual como de actos generalizados y rutinarios que denotan claramente la identidad social del individuo en el seno de una sociedad compleja.

En un estudio sobre el comportamiento del tití Caspar, el animal dominante de la colonia y, con mucho, el más exhibicionista, no fue visto ni una sola vez copulando pese al gran número de veces que hizo ostentación del miembro genital (las dos terceras partes del total computado); por lo demás, casi todas sus exhibiciones iban dirigidas a otros machos adultos. El hecho de que Gaspar se viera fuertemente inducido a dejar constancia de su dominio, pero en cambio muy poco estimulado en cuanto a sus apetitos sexuales, indica que aun cuando ambas funciones puedan suponer la intervención de los mismos órganos no guardan entre sí una relación directa. Los científicos que estudiaban el comportamiento de la citada colonia llegaron a la conclusión de que «la exhibición de los genitales debe ser considerada como el signo socialmente más eficaz para delimitar la jerarquía del individuo dentro del grupo. Con este comportamiento de carácter ritual, el mono parece querer indicar: Aquí soy yo quien manda. Seguramente deriva de la práctica sexual, pero se utiliza con fines de comunicación social, sin relación con la actividad reproductiva. En otras palabras la exhibición fálica es un ritual derivado del comportamiento sexual pero que cumple un fin social, no de orden reproductivo».

Durante un programa televisivo con personajes invitados emitido en 1976, el entrevistador preguntó a un jugador de fútbol profesional si a los miembros del equipo les resultaba embarazoso mostrarse desnudos en el vestuario, a lo

que ei interpelado contestó sin vacilar: «¡Qué va! ¡Nos gusta exhibirnos! Nadie se siente violento. Es como si nos dijésemos el uno al otro: ¡En, tío veamos qué calibre gastas!... Puede que con los entrenadores o los masa jistas no sea lo mismo».

Las relaciones de comportamiento y neuroanatómicas entre apt título sexual, agresividad y dominio se han visto confirmadas por una amplia variedad de estudios. El ceremonial que conlleva el apareamiento de los gatos monteses y muchos otros animales es difícilmente distinguible, al menos en las primeras fases, del combate entre dos individuos de la misma especie. Todo el mundo sabe que a veces el gato doméstico ronronea irritado mientras raspa lentamente con sus garras el tapizado de un mueble o la piel del hombre protegida por una liviana prenda de vestir. El empleo de la sexualidad como fórmula para fijar y mantener la relación de dominio se aprecia a veces en las prácticas heterosexuales y homosexuales del hombre (aun cuando no se trate, por supuesto, del único elemento que interviene en ellas), así como en muchas expresiones «obsenas». Téngase en cuenta la peculiaridad de que el más común de los insultos verbales en inglés (*fuck-you*, «jódete») y, también en muchos otros idiomas, hace referencia a un acto de intenso placer físico. Probablemente, la forma inglesa deriva del antiguo verbo alemán y holandés *fokken*, que significa «golpear», «atacar», «dar caña», etc. Este por lo demás enigmático empleo puede entenderse como un equivalente verbal del lenguaje simbólico del macaco, en el que el pronombre «yo» queda sobreentendido por ambas partes. Tanto esta expresión como otras de parecida índole parecen constituir un apareamiento de carácter ceremonial entre individuos de la especie humana. Como tendremos ocasión de ver, es probable que este comportamiento se retrotraiga a especies muy anteriores a los monos y se remonte cientos de millones de años en el pasado geológico.

Partiendo de experimentos como los realizados con los titíes, MacLean ha elaborado un sugestivo modelo de la estructura y evolución cerebral que él llama cerebro «trino». Afirma que «estamos obligados a examinarnos a nosotros mismos y al mundo en general a través de tres mentalidades muy distintas», en dos de las cuales no interviene la facultad del habla. MacLean sostiene que el cerebro humano «equivale a tres computadores biológicos interconectados», cada uno de los cuales posee «su peculiar y específica inteligencia, subjetividad y sentido del tiempo y del espacio, así como sus propias funciones de memoria, motrices y de todo tipo». Cada cerebro corresponde a una etapa evolutiva de trascendental importancia. El referido investigador afirma también que los tres cerebros se distinguen tanto por su configuración neuroanatómica como por su funcionalidad, y que contienen proporciones muy dispares de dopamina y colinesterasa, dos sustancias químicas cerebrales.

La parte más primitiva del cerebro humano comprende la médula espinal; la médula oblongata y la protuberancia anular (o pons), que forman el cerebro posterior; y el cerebro medio o mesencéfalo. MacLean llama «armazón neural» al conjunto integrado por la médula espinal, el cerebro posterior y el cerebro medio.

Alberga los mecanismos neurales básicos de la reproducción y la autoconservación, aspecto que incluye la regulación del ritmo cardíaco, circulación sanguínea y respiración. En un pez o un anfibio este es casi todo el cerebro que existe, pero según MacLean, un reptil o animal superior privado de prosencéfalo (cerebro anterior) es «tan insensible y tan inútil como un vehículo parado sin conductor».

Representación muy esquematizada del complejo-R, el sistema límbico y el neo-córtex en el cerebro humano, según MacLean.

En mi opinión, la llamada epilepsia *gravior o gran mal* puede ser considerada como una dolencia en la que los impulsores cognoscitivos han quedado inutilizados debido a una especie de tormenta eléctrica sobrevenida en el cerebro, tras la cual, el sujeto afectado no dispone momentáneamente de más elemento operativo que el armazón neural. Se trata de una grave lesión que, momentáneamente, hace retroceder a la víctima varios cientos de millones de años. Los antiguos griegos, de los que seguimos utilizando el nombre con que denominaron a la enfermedad, reconocieron el carácter insondable de la misma y la llamaron «la enfermedad infligida por los dioses».

MacLean distingue tres clases de elementos motrices del armazón neural. El de formación más antigua envuelve el cerebro medio (integrado en buena parte por lo que los neuroanatomistas denominan la estría olfatoria, el cuerpo estriado y el *globus pallidus*); lo comparten con nosotros los restantes mamíferos y los reptiles. Probablemente se desarrolló hace varios centenares de millones de años. MacLean lo denomina el complejo reptílico o complejo R. Rodeándolo se halla el sistema límbico, llamado así porque linda con el cerebro propiamente dicho. (En inglés, brazos y piernas se llaman *limbs* [miembros] por ser órganos *periféricos* al resto del cuerpo.) También los restantes mamíferos tienen un sistema límbico, y en un grado mucho menos evolucionado lo poseen asimismo los reptiles. Seguramente se originó hace más de ciento cincuenta millones de años.

Por último, rematando lo que resta del cerebro, se encuentra el neocórtex, sin duda la incorporación evolutiva más moderna. El hombre, al igual que los mamíferos superiores y los restantes primates, posee un neocórtex proporcionalmente grande. En los mamíferos más evolucionados se aprecia un aumento gradual de esta zona cerebral. El más perfecto es el nuestro (junto con el de los delfines y los grandes cetáceos como las ballenas). Probablemente se constituyó hace varias decenas de millones de años, pero con la aparición del hombre su desarrollo se aceleró en gran manera. En la página anterior ofrecemos una representación esquemática ajustada a esta descripción del cerebro humano, y en la parte superior de la página siguiente un cotejo del sistema límbico con el neocórtex en tres mamíferos contemporáneos. El concepto de cerebro «trino» concuerda de forma notable con la conclusión, derivada de forma independiente del estudio de la proporción entre masa cerebral y masa corpórea ofrecido en el capítulo anterior, de que la aparición de los mamíferos y de los primates (especialmente del hombre) vino acompañada de verdaderos hitos en el proceso de cerebración.

Representación esquemática de la parte superior y lateral de los cerebros del conejo, el gato y el mono. Las zonas punteadas en negro constituyen el sistema límbico, que se aprecia más claramente en los esquemas laterales. La región en blanco, con presencia de surcos, representa el neocórtex, visible sobre todo en las figuras de la parte superior.

Resulta muy difícil evolucionar alterando la estructura profunda de la vida. Cualquier intento de cambio puede resultar funesto. Aun así es posible que se produzcan transformaciones básicas mediante la superposición de nuevos sistemas a los ya existentes. Ello nos trae a la memoria una teoría que Ernest Haeckel, el anatomista alemán del siglo XIX, llamó de la *recapitulación* y que ha conocido distintas fases de aceptación y rechazo entre los medios científicos. Decía Haeckel que durante su desarrollo embriológico un animal tiende a repetir o «recapitular» la secuencia evolutiva de sus antecesores. Asimismo, el feto humano, durante su vida intrauterina, pasa por distintas fases evolutivas muy semejantes a las de los peces, reptiles y mamíferos no primates antes de desarrollar aquellos rasgos fisiológicos que acreditan su condición de hombre. Durante la etapa pisciforme inclusive posee unas hendiduras branquiales, que no reportan utilidad alguna al embrión, ya que éste se alimenta a través del cordón umbilical, pero que son vitales dentro del proceso embriológico humano. En efecto, dado que las branquias eran un órgano fundamental para nuestros antepasados, el embrión humano pasa por una fase de desarrollo branquial. El cerebro de un feto humano también se desarrolla de dentro hacia afuera y, en términos aproximados, pasa por la secuencia almacén neural, complejo R, sistema límbico y neocórtex (véase en la página 204 un esquema seriado del desarrollo embrionario del cerebro humano).

Las causas explicativas de la recapitulación pueden entenderse del siguiente modo. La selección natural opera tan sólo en los individuos, no en la especie, y escasamente sobre los huevos o los fetos. En este sentido, el último cambio evolutivo se produce después del parto. Puede que el feto presente determinados rasgos, como las ya citadas hendiduras branquiales de los mamíferos, que perjudicarían la adaptación del individuo al medio tras su nacimiento, pero mientras no causen daños al feto y desaparezcan antes del parto, el organismo las tolera sin dificultad. Nuestras hendiduras branquiales no son vestigios de los antiguos peces, sino de los primitivos embriones de peces. Muchos órganos de nueva génesis se constituyen, no por adición y conservación, sino por transformación de órganos primitivos en otros nuevos: las aletas se transforman en patas y las patas en miembros natatorios o alas; los pies se convierten en manos, y a la inversa; las glándulas sebáceas en glándulas mamarias; los arcos branquiales en los huesos del oído; las escamas de los tiburones en dientes, etc. Por lo tanto, la evolución por adición o superposición y la preservación funcional de la estructura preexistente se produce por una de estas dos razones: o bien porque la primitiva función es tan necesaria como la nueva, o bien porque no existe medio de relegar el órgano antiguo sin poner en peligro la supervivencia del individuo.

La naturaleza nos ofrece muchas otras muestras de este tipo de desarrollo evolutivo. Para tomar un ejemplo, casi al azar, analicemos por qué las plantas son verdes. El proceso de fotosíntesis de las plantas verdes utiliza la luz de las bandas roja y violeta del espectro solar para romper las moléculas de agua, formar hidratos de carbono y acometer otras funciones vegetales. Sin embargo, el sol irradia más luz en las bandas amarilla y verde del espectro que en las bandas roja y violeta. Las plantas cuyo único pigmento fotosintético es la clorofila rechazan, pues, la fuente lumínica más abundante. Muchos vegetales parecen haber «advertido» un tanto tardíamente esta circunstancia y han llevado a cabo las pertinentes adaptaciones. También han ido apareciendo otros pigmentos que reflejan la luz roja y absorben la verde y la amarilla, como los carotenoides y ficobilinas. Tanto mejor. Cabe preguntarse, empero, si estas plantas que utilizan nuevos pigmentos en la operación de fotosíntesis han prescindido de la clorofila. La respuesta es negativa. La fotografía de esta página nos muestra la «fábrica» fotosintética de un alga roja. Las zonas estriadas contienen clorofila y las pequeñas esferas arrebujadas junto a ellas contienen ficobilinas, que son las que confieren a esta alga su típica coloración rojiza. Por regla general, estas plantas transfieren la energía que toman de las bandas verde y amarilla de la luz solar al pigmento de la clorofila, que aun cuando no la absorba, sigue siendo instrumento válido para salvar los desajustes entre la luz y los procesos químicos en la fotosíntesis de todas las plantas. La naturaleza no podía prescindir sin más de la clorofila para sustituirla con pigmentos más idóneos, y ello porque está profundamente urdida con la obra estructural de la vida. Que duda cabe, las plantas que poseen otros pigmentos suplementarios se diferencian de las restantes en cuanto que son más eficientes; pero de todas formas, en ellas hallamos como elemento clave del proceso de fotosíntesis la clorofila, que sigue activa aunque con responsabilidades muy disminuidas. Pues bien, estimo que el proceso evolutivo del cerebro ha seguido el mismo cauce y que las partes más internas, las más primitivas, continúan cumpliendo su misión.

Fotografía de una pequeña planta llamada *alga roja* tomada con el microscopio electrónico. Su denominación científica es la de *Porphyridium cruentum*. El clo-roplasto, factoría fotosintética de este organismo, ocupa casi toda la superficie de la célula. La imagen ha sido ampliada 23.000 veces y fue tomada por la doctora Elizabeth Gantt, del laboratorio de Biología y Radiación de la Smithsonian Institution.

El complejo R

Si la tesis que hemos avanzado es correcta, cabe suponer que en cierto modo el complejo R sigue desempeñando

dentro del cerebro humano las mismas funciones que cumplía en el dinosaurio, y que la corteza límbica genera los estereotipos mentales de los pumas y los perezosos. Es indiscutible que cada nueva fase en el proceso de cerebración viene acompañada de transformaciones en la fisiología de los primitivos componentes del cerebro. La evolución del complejo R habrá acarreado cambios en el cerebro medio y en otras regiones del encéfalo. Pero sabemos que la regulación de buen número de funciones es tarea común de diferentes componentes cerebrales, y sería realmente extraño que los componentes cerebrales de la base del neocórtex no continuaran actuando en buena medida como lo hacían en tiempos de nuestros remotos antecesores. MacLean ha demostrado que el complejo R desempeña un papel importante en la conducta agresiva, la territorialidad, los actos rituales y el establecimiento de jerarquías sociales. Salvo excepciones esporádicas, a las que damos la bienvenida, tengo la impresión de que estos rasgos configuran en buena medida el comportamiento burocrático y político del hombre actual. No quiero decir con ello que el neocórtex no juegue también su papel en una convención política estadounidense o en una sesión del Soviet Supremo de la URSS. A fin de cuentas, se trata de rituales en los que prevalece la comunicación de tipo verbal, es decir, generada por aquel órgano. Pero sorprende comprobar en qué medida nuestros actos reales —en contraposición a lo que decimos o pensamos— pueden explicarse en función de las pautas que rigen la conducta de los reptiles. Hablamos muchas veces de asesinos que matan «a sangre fría». Entre los consejos de Maquiavelo al príncipe está el de «actuar a sabiendas como las alimañas».

En lo que cabe considerar como una interesante anticipación parcial de estas ideas, la filósofa norteamericana Susanne Langer escribió: «La vida humana está punteada de actos rituales, como lo están los hábitos de los animales. Es una obra intrincada en la que se entremezclan la razón y el rito, el saber y la religión, la prosa y la poesía, la realidad y los ensueños... El ritual, como el arte, es en esencia la culminación activa de una transformación simbólica de la experiencia. Se engendra en la corteza, no en el "cerebro primitivo", pero es fruto de una *necesidad elemental* de dicho órgano, una vez desarrollado éste hasta acceder al estadio humano». Salvo el hecho de que el complejo R *es parte* del «cerebro primitivo», la autora de estas palabras da de lleno en el blanco. Quisiera hablar sin reticencias acerca de las repercusiones que tiene en el plano social la aseveración de que el cerebro del reptil influye en los actos del hombre. Si la conducta burocrática está esencialmente regulada por el complejo R, ¿significa esto que no hay esperanza para el futuro humano?

Dos fotografías en el interior del tercer ventrículo del cerebro tomadas con el microscopio electrónico por Richard Steger, de la Wayne State University. Se observan en ellas minúsculos apéndices filamentosos o cilios de movimiento ondulante transportando pequeñas proteínas cerebrales esféricas. Parece que estamos ante una multitud por encima de cuyas cabezas cruzan grandes pelotas playeras.

En el hombre, el neocórtex representa alrededor del 85 por 100 del cerebro, lo que refleja en cierta medida su importancia comparado con el cerebro posterior, el complejo R y el sistema límbico. Tanto la neuroanatomía, como la historia política y la propia introspección ofrecen pruebas de que el ser humano es perfectamente capaz de resistir el apremio de ceder a los impulsos emanados del cerebro del reptil. Es impensable, por ejemplo, que el complejo R pudiera registrar, y mucho menos concebir, la Declaración de los Derechos Humanos contenida en la Constitución norteamericana. Es precisamente nuestra adaptabilidad y largo proceso de maduración lo que impide que aceptemos servilmente las pautas de conducta genéticamente programadas de que somos portadores, y ello de forma más manifiesta que en las restantes especies. Pero, si bien el cerebro trino constituye un buen modelo del comportamiento del hombre, no podemos ignorar el componente reptil de la naturaleza humana, sobre todo en lo que atañe a los actos rituales y jerárquicos. Por el contrario, el modelo del cerebro trino puede ayudarnos a comprender mejor la naturaleza profunda del ser humano. (Me pregunto, por ejemplo, si los aspectos rituales de muchas enfermedades psicóticas como la esquizofrenia hebefrénica pueden ser resultado de la hiperactividad de algún centro del complejo R o del fallo de algún emplazamiento neocortical cuya misión es contener o eliminar al complejo R. También me pregunto si el carácter ritual que posee muchas veces el comportamiento de los niños es consecuencia del todavía incompleto desarrollo de sus neocórtex.)

En un pasaje que, curiosamente, viene muy al caso, G. K. Chesterton escribió: «Puedes liberar a las cosas de leyes accidentales o ajenas a las mismas, pero no de las que conciernen a su propia naturaleza... No vayamos a... forzar la situación hasta el punto de pretender que el triángulo rompa el marco carcelario de sus tres lados, pues en el momento en que lo haga, su vida acaba de forma deplorable». Pero no todos los triángulos tienen los lados iguales. En nuestra mano está efectuar algunos ajustes sustanciales del papel que proporcionalmente corresponde a los diversos componentes del cerebro trino.

El sistema límbico

En el sistema límbico se gestan las emociones intensas o singularmente vividas, circunstancia que amplía de inmediato nuestra perspectiva acerca de la mente del reptil, en cuanto que ésta no viene caracterizada por indómitas pasiones ni calamitosas contradicciones, sino más bien por una dócil y torpe aquiescencia al modelo de conducta que le dictan sus genes y su cerebro.

Las descargas eléctricas en el sistema límbico producen en ocasiones síntomas similares a los que ocasionan las psicosis o las drogas psicodélicas y alucinógenas. A decir verdad, la sede del efecto de muchas drogas psicotrópicas

reside en el sistema límbico. Quizá sea dicho sistema el que controla la hilaridad, el sobrecogimiento y una gran variedad de sutiles emociones que solemos considerar privativas del hombre.

La pituitaria, «glándula directriz» que influye en otras y domina el sistema endocrino del hombre, forma parte esencial de la región límbica. Las alteraciones del ánimo que acaranean los desequilibrios endocrinos ofrecen interesantes indicios acerca de la conexión del sistema límbico con los estados mentales. En el sistema límbico hay una pequeña inclusión en forma de almendra, llamada amígdala, que desempeña un importante papel en la génesis de los impulsos agresivos y de los sentimientos de temor. La excitación eléctrica de la amígdala en pacíficos animales domésticos puede llevarles a grados de terror o agitación extremos. En el curso de un experimento, un gato se encogió de miedo a la vista de un ratoncito blanco. Por otra parte, animales salvajes como el lince se convierten en dóciles animalitos que se dejan acariciar y manejar a gusto del hombre tras serles extirpadas las amígdalas. Las perturbaciones del sistema límbico pueden originar irritaciones, miedo o emotividad intensa sin causa aparente. La hiperestimulación natural puede producir los mismos resultados. Quienes padecen esta dolencia experimentan sensaciones incomprensibles y sin conexión con la realidad que les categorizan como enajenados mentales.

Parte al menos de la función reguladora de la emotividad que desempeñan glándulas endocrinas del sistema límbico como la pituitaria, la amígdala y el hipotálamo proviene de las pequeñas proteínas hormonales que segregan y que afectan a otras regiones cerebrales. Tal vez la más conocida sea la hormona adrenocorticotrópica (ACTH), proteína de la pituitaria, que puede tener repercusión en funciones mentales tan diversas como la retención visual, la ansiedad y el grado de atención. Algunas proteínas hipotalámicas de pequeño volumen han sido localizadas por vía experimental en el tercer ventrículo del cerebro, que conecta el hipotálamo con el tálamo, zona que también forma parte del sistema límbico. Las asombrosas imágenes de la página 67 tomadas con un microscopio electrónico muestran dos primeros planos de la actividad del tercer ventrículo. El esquema de la página 77 puede servir para clasificar algunos de los aspectos de índole neuroanatómica que acabamos de exponer.

Existen motivos para creer que las raíces del comportamiento altruista se hallan en el sistema límbico. Ni que decir tiene que, salvo raras excepciones (sobre todo los insectos sociales), los mamíferos y las aves son los únicos organismos que se esmeran en el cuidado de su prole, fenómeno de orden evolutivo que, sobre la base del largo periodo de adaptabilidad que origina, saca partido de la considerable aptitud del cerebro de los mamíferos y primates en cuanto al procesamiento de datos. A lo que parece, el amor es invención de los mamíferos.

. Sin embargo, esta norma sobre los cuidados proporcionalmente mayores que los mamíferos prodigan a sus crías frente a los reptiles tiene no pocas excepciones. El cocodrilo hembra del Nilo, por ejemplo, coloca con todo esmero a las crías recién salidas del cascarón en su boca y las deposita en las aguas fluviales, donde gozan de relativa seguridad, en tanto que el león macho del Serengeti, cuando se pone por vez primera al frente de una manada de leones, mata a todos los cachorros allí residentes. Pero, en conjunto, los mamíferos muestran mucho más apego hacia sus crías que los reptiles. Seguramente, esa diferencia era todavía más marcada cien millones de años atrás.

Muchas facetas del comportamiento de los animales tienden a refrendar la noción de que las emociones intensas son básicamente privativas de los mamíferos y en menor grado de las aves. Las similitudes de las reacciones emotivas de los animales domésticos y las del hombre me parecen obvias. Es de sobras conocida la notoria tristeza que invade a las hembras de muchos mamíferos cuando se les arrebatan las crías. Uno se pregunta por la intensidad de estas emociones. ¿Acaso los caballos albergan a veces sentimientos de fervor patriótico? ¿Experimentan los perros hacia el hombre un cierto arrebato parecido al éxtasis religioso? ¿Qué otra clase de intensas y recónditas emociones albergan los animales que no comunican con nosotros?

Apunte de la hipotética configuración corpórea del *Lycaenops*, reptil del mesozoico, según John Hermann. Posiblemente fueron criaturas de este género, semejantes a los mamíferos, las que primero experimentaron un sustancial desarrollo del sistema límbico.

La parte más primitiva del sistema límbico es la corteza olfativa, relacionada con la percepción de olores, cuya intensa calidad emocional conocen bien la mayoría de los humanos. En el hipocampo, estructura situada dentro del sistema límbico, se localiza buena parte de nuestra capacidad de retención y evocación del pasado, conexión que se aprecia con toda claridad si se toman en cuenta los menoscabos de memoria que producen las lesiones en el mismo. Un caso famoso fue el de H. M., paciente con un largo historial clínico de ataques apopléticos y convulsiones, que sufrió extirpación bilateral de la región que circunda el hipocampo en un logrado intento de aminorar la frecuencia y la intensidad de aquéllos. Inmediatamente el enfermo experimentó amnesia, pero conservó casi intactas sus facultades perceptivas, consiguió asimilar nuevas técnicas motoras y conoció cierto grado de aprendizaje perceptual. De todos modos, no acertaba a recordar un suceso a las pocas horas de acaecido. Según sus propias palabras, «cada día es un episodio aislado; con él se esfuman las alegrías y las tristezas que haya podido experimentar». Describió su vida como una prolongación incesante de esta sensación de aturdimiento que nos sobrecoge al despertar de un sueño sin que acertemos a recordar claramente su contenido. Lo más curioso es que a pesar de la grave lesión que padecía, el

coeficiente de inteligencia de H. M. mejoró al serle extirpada la porción cerebral que envuelve al hipocampo. A lo que parece, percibía los olores, pero no acertaba a identificar por su nombre lo que producía dicho aroma. También mostraba una carencia total de apetitos sexuales.

Otro caso conocido fue el de un joven piloto norteamericano que en el curso de un duelo fingido con otro compañero de escuadrilla sufrió una herida producida por un estilete en forma de florete que le penetró por la ceja derecha y perforó la pequeña zona del sistema límbico situada exactamente encima de la misma. La herida le ocasionó una grave pérdida de memoria, parecida a la que experimentó H. M., aunque menos seria, pues conservó buena parte de sus facultades perceptuales e intelectivas. Los trastornos de la memoria se manifestaron muy en especial en la dificultad para encontrar palabras con que expresarse. Por otro lado, el accidente le ocasionó impotencia sexual y le hizo insensible al dolor. En cierta ocasión paseó descalzo por la cubierta metálica de un buque de pasaje caldeada en extremo por el sol sin darse cuenta de que se estaba infligiendo graves quemaduras, hasta que los pasajeros próximos a él empezaron a quejarse de un nauseabundo olor a carne chamuscada; pero él no sintió dolor alguno ni percibió el desagradable olor a quemado.

En base a los ejemplos expuestos, parece evidente que una actividad propia de los mamíferos tan compleja como la función sexual viene regulada simultáneamente por cada uno de los tres componentes del cerebro «trino»: el complejo R, el sistema límbico y el neocórtex. (Hemos aludido ya a la influencia del complejo R y del sistema límbico en la actividad sexual. El análisis introspectivo nos permite fácilmente recoger pruebas que demuestran la participación del neocórtex.)

Una parcela del sistema límbico primitivo regula las funciones orales y gustativas, y otra las funciones sexuales. La relación entre olfato y actividad sexual es muy antigua y se manifiesta especial mente en los insectos, circunstancia que nos permite apreciar tanto la importancia como las desventajas que comportaba para nuestros antepasados el fiarlo todo a su capacidad olfativa.

En una ocasión fui testigo de un experimento en el transcurso del cual se conectó la cabeza de una mosca verde, mediante un finísimo hilo eléctrico, a un oscioscopio que registraba en una especie de gráfico todos los impulsos eléctricos producidos por su aparato olfativo. (Conviene puntualizar que hacía muy poco que se había separado la cabeza del cuerpo del insecto con objeto de facilitar el acceso al aparato olfativo, y que aquélla continuaba funcionando casi normalmente.)

La cabeza y el cuerpo de un artrópodo siguen funcionando normalmente por breve tiempo aun separadas la una del otro. La *manlis religiosa* hembra suele responder al porfiado cortejo de un macho decapitándolo. Si entre los hombres tal proceder sería socialmente execrable, no ocurre lo mismo entre los insectos. En efecto, al desgajar el cerebro del festo del cuerpo se eliminan las inhibiciones sexuales y se estimula el apareamiento con lo que queda del macho. Luego, la hembra completa el festín con un ágape, por supuesto en solitario. Quizás esta reacción sea una, a modo de lección, medida cautelar contra la excesiva represión sexual.

Los investigadores que llevaban a cabo el experimento produjeron emanaciones de muy distinta índole, incluso de gases repelentes y tóxicos, como el amoníaco, sin que se apreciara efecto alguno. La línea que trazaba el oscioscopio era absolutamente plana, sin alternancias en su trazado horizontal. Pero cuando se depositó ante la cabeza del insecto macho una ínfima cantidad del estimulante sexual que segrega la hembra de la mosca verde, el oscioscopio registró en el acto una violenta línea vertical. En una palabra, la mosca verde no podía oler otra cosa que el estimulante de la sexualidad, pero esa molécula la percibía fantásticamente bien.

En los insectos suele darse esta especialización olfatoria. Por ejemplo, la mariposa macho del gusano de seda puede detectar el estimulante sexual con sólo que sus livianas antenas capten unas cuarenta moléculas por segundo de sustancia estimulante. Una hembra de la especie necesita liberar tan sólo una centésima de micro-gramo de sustancia estimulante para atraer a todos los machos que se hallan a una milla cúbica de distancia. Así queda asegurada la propagación de la especie.

Quizá la muestra más palpable y curiosa de la importancia que reviste este fiar el hallazgo de la hembra al sentido olfativo con fines de propagación de la especie nos lo proporciona un escarabajo que vive en Sudáfrica, el cual, durante el invierno, se guarece en un hueco excavado en el suelo. Con la llegada de la primavera se caldea la tierra y emergen los insectos. Pero lo curioso es que los escarabajos machos asoman, aturridos, unas semanas antes que las hembras. En esta misma región de Sudáfrica crece una especie de orquídea que desprende un aroma idéntico al de la sustancia sexual emanada por el escarabajo hembra. Lo cierto es que la evolución de la orquídea y del escarabajo ha coincidido en la producción de una molécula básicamente igual. Resulta, además, que el escarabajo macho es extremadamente «corto de vista», y los pétalos de las orquídeas presentan una configuración que el miope insecto confunde con una hembra de la especie en postura sexual-mente receptiva. Por espacio de varias semanas el insecto macho se despacha a gusto con las orquídeas, e imaginamos a las hembras abandonando su refugio invernal heridas en su amor propio y justamente indignadas. Entretanto, las orquídeas han sido fecundadas por polinización cruzada gracias a los enardecidos insectos machos, que, confundidos, hacen ahora cuanto pueden para asegurar la pervivencia de su especie. Con ello, uno y otro organismo logran su objetivo. (Digamos de pasada que no conviene a las orquídeas mostrarse demasiado irresistibles, ya que si los escarabajos no pudieran luego reproducirse entre sí aquéllas se verían en grave trance.) Acabamos de descubrir una de las limitaciones que presenta la estimulación puramente olfativa. Otra restricción radica en el hecho de que cada escarabajo hembra produce el mismo tipo de estimulante sexual, por lo que no es fácil que un individuo macho se prenda, por decirlo de algún modo, de la hembra de sus sueños. Si bien en ciertos casos el macho hace ostentación de su calidad de tal para atraer a la hembra o, como ocurre con el ciervo volante, se traba por la mandíbula en singular combate con otro individuo para ganarse los favores de la dama, parece

indudable que el papel determinante de la sustancia sexual en el apareamiento reduce la amplitud de la selección sexual entre los insectos. Los reptiles, pájaros y mamíferos han puesto en juego otros métodos para localizar a su par. Sin embargo, la relación de la función sexual con el sentido del olfato es todavía apreciable, en el marco de la anatomía cerebral, en los animales de orden superior, y en el plano anecdótico, en la experiencia del ser humano. A veces me pregunto si los desodorantes, sobre todo los desodorantes «femeninos», no constituyen un intento de encubrir los estímulos de orden sexual para que concentremos nuestra atención en otros menesteres.

El neocórtex

Incluso en los peces las lesiones del cerebro anterior repercuten en las pulsiones de iniciativa y cautela hasta destruirlas. En los animales superiores, estas mismas pulsiones, aunque mucho más perfeccionadas, parecen localizadas en el neocórtex, región donde se ubican muchas de las funciones cognitivas que mejor definen al hombre como tal. Al hablar de esta porción de la corteza cerebral suelen distinguirse en ella cuatro regiones o lóbulos: frontal, parietal, temporal, y occipital. Los primeros neurofisiólogos sostenían que, básicamente, las conexiones del neocórtex no rebasaban el marco de este órgano; pero hoy sabemos que existen gran número de conexiones neurales con el cerebro subcortical. De todos modos, no está claro, ni mucho menos, que las subdivisiones neocorticales constituyan auténticas unidades funcionales. Ciertamente, cada una de ellas regula multiplicidad de funciones, muy distintas unas de otras, pero es probable que algunas sean ejercidas por más de un lóbulo a la vez. Según se desprende de los estudios realizados, los lóbulos frontales están relacionados con la reflexión y la regulación de la acción; los lóbulos parietales, con la percepción espacial y el intercambio de información entre el cerebro y el resto del cuerpo, los lóbulos temporales cumplen una variedad de complejas tareas perceptuales y los lóbulos occipitales guardan relación con la vista, el sentido dominante en el hombre y en otros primates. Por espacio de muchas décadas la mayoría de neurofisiólogos han pensado que los lóbulos frontales, o sea la parte anterior de la corteza, albergan el mecanismo que nos permite anticiparnos y planear el futuro, facultades características del ser humano. Sin embargo, las últimas investigaciones llevadas a cabo demuestran que el panorama no es tan sencillo. El neurofisiólogo norteamericano Hans-Lukas Teuber, del Instituto Tecnológico de Massachusetts, ha investigado un gran número de casos de lesiones frontales, debidas sobre todo a heridas de guerra o por arma de fuego. Teuber descubrió que muchas lesiones del lóbulo frontal apenas tienen incidencia perceptible en la conducta del individuo afectado. De todas formas, en casos de lesiones muy graves del lóbulo frontal, aun cuando «el paciente no llega a perder del todo la facultad de anticiparse a los hechos futuros, no acierta a imaginarse a sí mismo como agente potencial en relación con ellos». Teuber subrayó que el lóbulo frontal pudiera estar relacionado tanto con la anticipación motora como con la cognoscitiva, sobre todo a la hora de evaluar las posibles consecuencias de los movimientos voluntarios. Por otra parte, parece que el lóbulo frontal interviene también en el nexo entre visión y postura erecta y bípeda.

Así pues, los lóbulos frontales pueden intervenir en las funciones genuinas del ser humano de dos maneras distintas. Si regulan el sentido de anticipación del futuro, deben ser el emplazamiento obligado de los sentimientos de inquietud, los centros del ansia y la desazón. Esta es la razón de que el corte transversal del lóbulo frontal reduzca la ansiedad. Por otro lado, la lobotomía prefrontal puede mermar en gran manera la capacidad del hombre para comportarse como tal. El precio que pagamos por la previsión del futuro es la desazón que ello engendra. Sin duda, el augurio de una calamidad no resulta muy divertido. Poliana, con su optimismo desbordante, era mucho más dichosa que Casandra. Pero necesitamos de los componentes fatalistas de nuestra naturaleza para sobrevivir. Ellos fueron los artífices de una serie de doctrinas que aspiran en lo posible a interpretar el futuro y que han sido causa y origen de la ética, la magia, la ciencia y los códigos legales. La ventaja que procura el pronóstico de las catástrofes radica en la posibilidad de adoptar medidas para impedir que se produzcan, sacrificando las ganancias inmediatas en favor de unos beneficios a más largo plazo. Una sociedad que, como resultado de esta capacidad de anticipación, alcanza un alto nivel de seguridad material, genera el tiempo libre necesario para impulsar el progreso social y tecnológico.

Corte lateral esquematizado del cerebro humano, en el que destaca el neocórtex, con un sistema límbico y un cerebro posterior más pequeños. No se aprecia el complejo-R.

Otra función que se supone corresponde al lóbulo frontal es la que permite adoptar la postura bípeda al hombre. Esta conformación vertical, erecta, del cuerpo no habría sido posible sin el previo desarrollo de los lóbulos frontales. Más adelante veremos con mayor detalle cómo el hecho de asentarnos sobre dos pies liberó nuestras manos y nos permitió manipular con ellas, lo que posteriormente abocaría en un notable acrecentamiento de los rasgos culturales y fisiológicos del hombre. Cabe decir, sin exagerar un ápice, que la civilización tal vez sea producto de la actividad de los lóbulos frontales.

La información visual llega al cerebro por conducto del ojo y se concentra primordialmente en el lóbulo occipital, a la altura de la coronilla, mientras que las impresiones auditivas quedan localizadas en la capa superior del lóbulo temporal, bajo la sien. Existen indicios de que los diversos componentes del neocórtex están bastante menos evolucionados en los sujetos ciegos y sordomudos. Las lesiones del lóbulo occipital —como las que, por ejemplo, produce una herida por arma de fuego— comportan con frecuencia una merma del campo visual. La víctima puede ser perfectamente normal en

los demás aspectos, pero tendrá una visión periférica de los objetos, es decir, verá, frente a él, en el centro del campo visual normal, una densa mancha oscura. En otros casos se originan percepciones aún más extrañas, como las manchas movedizas de contornos geoméricamente regulares que obstaculizan el campo y los «paroxismos visuales» en los que, a título de ejemplo, el paciente percibe momentáneamente los objetos que están a su derecha y en el suelo como flotando en el aire y a su izquierda, habiendo descrito un giro espacial de 180 grados. Incluso es posible determinar la parte del lóbulo occipital que regula determinada función visual mediante la estimulación sistemática de los obstáculos que interfieren el campo visual en base a diversas lesiones occipitales. El menoscabo de la visión tiene muchas menos posibilidades de convertirse en crónico tratándose de pacientes jóvenes, pues sus cerebros poseen la facultad de regenerarse por sí solos o de transferir funciones sin dificultad a otras regiones circundantes. La facultad de conectar los estímulos auditivos con los visuales también se localiza en el lóbulo temporal. Las lesiones de esta región cerebral pueden manifestarse en forma de afasia que incapacita al sujeto afectado para captar la palabra hablada. Resulta notable y significativo que ciertos pacientes aquejados de lesiones cerebrales puedan expresarse oralmente sin dificultad pero sean incapaces de plasmar sus ideas por escrito, o a la inversa. Unas veces pueden escribir pero no leer y otras descifrar los números pero no las letras, o bien nombrar los objetos pero no los colores. En el neocórtex se da una marcada separación de funciones, lo que invalida el tópico de que leer y escribir, identificar palabras o números, son actividades muy afines. Se habla también —aunque no ha podido confirmarse— de lesiones cerebrales que impiden al sujeto comprender las frases en voz pasiva, las oraciones prepositivas, o las construcciones con posesivos. (Tal vez un día descubramos qué punto del cerebro regula el empleo del subjuntivo. ¿Resul tará entonces que los latinos están sobremanaera dotados y los anglosajones considerablemente mermados en lo que toca a esta pequeñísima porción de la anatomía cerebral?) Según parece, determinadas abstracciones, como, por ejemplo, las «partes gramaticales de la oración» se hallan «impresas» en regiones específicas del cerebro, hipótesis realmente asombrosa.

En un caso clínico sorprendente, una lesión del lóbulo temporal impedía al paciente reconocer las caras de la gente, incluso de las personas más allegadas. Al serle mostrado el rostro de un individuo en la página opuesta a la que estaba examinando, dijo que «posiblemente» se trataba de una manzana. Incitado a que justificase esta interpretación, identificó la boca como una incisión en el fruto, la nariz como el rabillo doblado sobre la superficie y los ojos como dos agujeros o picaduras de gusano. El mismo paciente, podía, en cambio, identificar sin dificultad esbozos de casas y otros objetos inanimados. Un amplio capítulo de experimentos muestra que las lesiones del lóbulo temporal derecho producen amnesia en cuanto a ciertas manifestaciones de índole no verbal, en tanto que las lesiones del lóbulo temporal izquierdo originan una característica pérdida de memoria del lenguaje hablado.

Nuestra capacidad para leer y levantar mapas, para orientarnos en el espacio tridimensional y valem os de los símbolos pertinentes —facultades que a buen seguro intervienen, si no en su uso, en la elaboración del lenguaje—, queda seriamente afectada por las lesiones del lóbulo parietal, ubicado cerca de la coronilla, detrás y por encima de la cisura central. Un soldado que sufrió un profundo desgarr o del lóbulo parietal a causa de una herida de guerra estuvo todo un año sin poder orientar los pies para calzarse las zapatillas y menos todavía encontrar el camino hacia la cama en la sala del hospital. Sin embargo, terminó por recuperarse casi totalmente.

Una lesión de la circunvolución angular del neocórtex, en el lóbulo parietal, engendra alexia, o sea, incapacidad para descifrar la escritura. A lo que parece, el lóbulo parietal interviene en todo lo relacionado con el lenguaje simbólico del hombre. De todas las lesiones cerebrales, las del lóbulo parietal son las que provocan mayor deterioro intelectual si nos atenemos a las actividades de la vida cotidiana.

Rostro descrito por un paciente como una manzana. (O, desde otro ángulo: manzana descrita por un médico como una cara.) Según Teuber.

Entre las manifestaciones del pensamiento abstracto radicadas en el neocórtex del hombre destacan los lenguajes simbólicos, en especial la lectura, la escritura y la matemática, que parecen requerir la cooperación conjunta de los lóbulos temporal, parietal y frontal, y hasta quizá del occipital. Sin embargo, no todos los lenguajes simbólicos se localizan en las regiones neocorticales. Las abejas, en las que no existe la menor traza de neocórtex, poseen un

complicado lenguaje inspirado en movimientos al modo de una danza. Karl von Frisen, entomólogo austriaco, descubrió que con sus evoluciones las abejas se comunicaban datos acerca de la distancia y dirección de la fuente de alimentos. Se trata de un lenguaje gestual que reproduce, exagerándolos, los movimientos reales de la abeja cuando va en busca de alimento. Es como si nosotros nos encaminásemos hacia el refrigerador y deteniéndonos en seco nos restregásemos el vientre y dejáramos colgar la lengua. Pero los vocabularios de tales lenguajes son en extremo reducidos; a lo sumo de unas docenas de palabras. El aprendizaje que experimentan los adolescentes durante el largo periodo de la niñez parece ser una función casi exclusiva de neocórtex.

Si bien casi todo el proceso olfativo radica en el sistema límbico, una pequeña parte del mismo se produce en el neocórtex. La misma división de funciones parece ser aplicable a la memoria. Como ya he dicho, además de la corteza olfativa, una de las partes primordiales del sistema límbico es la corteza del hipocampo. Si se extirpa la corteza olfativa, los animales todavía pueden percibir los olores, aunque con mucha menos intensidad, lo que viene a demostrar una vez más que en el cerebro se da una redundancia de funciones. Existen indicios de que, en el hombre actual, la memoria olfativa «efímera» reside en el hipocampo. Puede que, originariamente, la función del mismo fuera tan sólo la retención momentánea de los olores, lo que sería de utilidad, por ejemplo, para seguir el rastro de una presa o para localizar a un individuo del sexo opuesto. Pero, en el hombre, una lesión bilateral del hipocampo constituye, como en el caso de H. M., un serio menoscabo de todo tipo de memoria «efímera». Los pacientes que sufren este tipo de lesiones olvidan sus experiencias, sin exagerar un ápice, a los pocos segundos. Es evidente que tanto el hipocampo como los lóbulos frontales tienen incidencia en la memoria efímera del ser humano.

Una de las muchas e interesantes consecuencias que se derivan de este hecho es que tanto la memoria efímera como la duradera se localizan mayormente en distintas porciones del cerebro. Parece que los reflejos condicionados — como los clásicos de los perros de Pavlov, que segregaban saliva al toque de una campana— se hallan localizados en el sistema límbico. Se trata ciertamente de una memoria duradera, pero de un género muy restringido. La auténtica y compleja retentiva propia del ser humano se halla emplazada en el neocórtex, lo que se corresponde con la aptitud del hombre para planear y anticiparse al futuro. Conforme vamos envejeciendo solemos olvidar cosas que a veces acabamos de oír, en tanto somos capaces de recordar con claridad y exactitud sucesos de nuestra infancia. En tales casos poco tienen que ver la memoria efímera o la memoria duradera. La dificultad reside en el acarreo de nuevo material a la memoria duradera. Penfield estimaba que esta merma de posibilidades era producto de la falta de irrigación del hipocampo en la edad senil, bien a causa de una arteriosclerosis bien por otros impedimentos fisiológicos. Así pues, las personas ancianas —y otras que no lo son tanto— pueden tener serias dificultades para acumular datos en la memoria efímera sin que por ello se resienta ni su vitalidad ni su inteligencia.

Existe un cúmulo de pruebas de tipo médico acerca de la conexión entre la irrigación sanguínea y las facultades intelectuales. Se sabe desde hace tiempo que los pacientes privados de oxígeno por espacio de unos minutos pueden experimentar graves menoscabos mentales con carácter permanente. Las intervenciones quirúrgicas para limpiar las arterias carótidas obstruidas e impedir así el ataque apoplético han traído aparejadas consecuencias beneficiosas no previstas. Según datos recogidos en un estudio sobre el tema, a las seis semanas de operados, los pacientes mostraban un incremento medio del coeficiente intelectual de dieciocho puntos, lo que constituye una mejora sustancial. Asimismo, se discute si la inmersión en oxígeno hiperbárico —o sea, oxígeno a muy alta presión— aumenta el grado de inteligencia en los niños de corta edad.

Este fenómeno muestra también la neta distinción entre memoria efímera y retentiva duradera, congruente con su localización en distintas partes del cerebro. Las camareras de los restaurantes de cocina rápida son capaces de recordar un impresionante número de datos, que luego transmiten correctamente a la cocina. Sin embargo, al cabo de una hora han olvidado todos los detalles ya que tal información se había almacenado únicamente en el área de la memoria efímera sin que mediara esfuerzo alguno para transferirla a la memoria duradera.

La mecánica de rememoración puede llegar a ser muy compleja. Muchas veces tratamos de evocar una palabra, un nombre, una cara, una experiencia del pasado sin conseguirlo, por más que nos esforzamos; la memoria se niega a suministrarnos el dato solicitado. Pero si acudimos a la evocación indirecta, rememorando algún detalle afín o marginal al objeto central de nuestra búsqueda, a menudo surge espontáneo el detalle que en vano tratábamos de recordar. (Algo parecido ocurre con el ojo humano.) Cuando miramos directamente a un objeto de luz tenue —una estrella, por ejemplo— entra en juego la fovea, es decir la parte de la retina donde la agudeza visual alcanza su máximo y en donde hay más abundancia de las células llamadas conos. Pero si apartamos levemente los ojos del objeto, o, por decirlo de otro modo, lo contemplamos de soslayo o con el rabillo del ojo, provocamos la intervención de los llamados bastoncillos, unas células sensibles a la débil luminosidad y, en consecuencia, capaces de percibir la estrella de luz tenue.

Sería interesante averiguar por qué el pensamiento indirecto activa el mecanismo de recordación. Puede que se deba a la simple conexión con el cauce recordatorio a través de otra senda neural. Pero ello no indica la existencia de una dinámica cerebral más efectiva.

Todos estamos familiarizados con la experiencia del brusco despertar de un sueño poblado de imágenes vividas, escalofrantes, premonitorias o destacables por otros conceptos, mientras nos decimos: «Ciertamente recordaré *este* sueño por la mañana»; y al día siguiente despertamos sin la menor idea del contenido del sueño o, a lo sumo, con leves

trazos del tono emocional. Por otra parte, si el sueño me inquieta lo suficiente como para despertar a mi mujer en mitad de la noche y contárselo, por la mañana no tengo dificultad alguna en recordarlo. Asimismo, si me tomo la molestia de anotar lo que acabo de soñar, al día siguiente me acuerdo perfectamente de todos los detalles sin necesidad de consultar las notas. Otro tanto cabe decir, por ejemplo, cuando se trata de memorizar un número de teléfono. Si me dan un número y quiero grabarlo en la mente, lo más probable es que acabe olvidándolo o equivocando alguna cifra; pero si repito el número en voz alta o lo escribo en un papel, puedo recordarlo perfectamente. Ello significa sin duda que hay en nuestro cerebro una zona que retiene el sonido y la imagen, pero no el pensamiento puro. Me pregunto si este tipo de memoria se configuró antes de que nuestra mente albergara demasiados pensamientos, cuando era más importante recordar el silbo de un reptil amenazante o la sombra de un halcón lanzándose en picado sobre su presa que nuestras ocasionales reflexiones filosóficas.

Acerca de la naturaleza humana

A pesar de la misteriosa localización de funciones en el modelo de cerebro «trino», quiero señalar una vez más que no cabe hablar de una estricta separación de funciones so pena de simplificar en exceso la cuestión. Es indiscutible que en el hombre tanto el comportamiento ritual como el de carácter emotivo están fuertemente influenciados por el razonamiento abstracto de origen neocortical. Se han expuesto demostraciones analíticas acerca de la validez de convicciones puramente religiosas y se han aducido argumentos filosóficos para justificar el comportamiento jerarquizado, como puede ser la «demostración» de Thomas Hobbes sobre el hipotético derecho divino que asiste a los monarcas. De la misma manera, animales que nada tienen que ver con el hombre —y hasta algunos que ni siquiera pertenecen al orden de los primates— parecen estar en posesión de cierta capacidad de análisis. Esta es la impresión que decididamente me producen los delfines, como ya expuse en mi libro *La conexión cósmica*.

Sin embargo, a la vez que conviene retener estas puntualizaciones, creemos que es útil una primera aproximación que considere que los aspectos rituales y jerárquicos de nuestras vidas están muy influenciados por el complejo R y que ambos son también patrimonio de nuestros antepasados reptiloides; que los rasgos altruistas, emocionales y religiosos de nuestras vidas se hallan localizados en buena medida en el sistema límbico, y que los compartimos con nuestros ascendientes mamíferos no pertenecientes al orden de los primates, y hasta es posible que con las aves; y que el intelecto o la razón es una función del neocórtex que en cierto grado compartimos con los primates superiores y con cetáceos como los delfines y las ballenas. Si bien la conducta ritual, las emociones y la función discursiva son todos ellos aspectos muy significativos de la naturaleza humana, cabe afirmar que el rasgo más específico del hombre es su capacidad de raciocinio y formulación de abstracciones. La curiosidad y el afán de resolver dilemas constituyen el sello distintivo de nuestra especie. Por otra parte, las actividades que mejor identifican al hombre como ser pensante son las matemáticas, la ciencia, la técnica, la música y las artes, una gama de temas algo más amplia de lo que normalmente se incluye bajo el epígrafe de las «humanidades». Ciertamente, tomado en su acepción más corriente, este término refleja una singular estrechez de miras acerca de lo genuinamente humano. La matemática entra en el capítulo de las humanidades con el mismo derecho que la poesía. Por lo demás, las ballenas y los elefantes pueden ser tan «humanos» como el hombre.

Mosaico II, obra de M. C. Escher.

El modelo de cerebro trino deriva de los estudios realizados sobre el comportamiento y la neuroanatomía comparados. Sin embargo, la especie humana no desconoce el análisis introspectivo veraz y genuino, y si el modelo de cerebro trino es exacto cabe esperar que hallemos algún indicio de su existencia en la historia del empeño humano por conocerse a sí mismo. La hipótesis más conocida y que recuerda hasta cierto punto la del cerebro trino es la división que establece Sigmund Freud del psiquismo humano al clasificarlo en las categorías del *ello*, el *ego* y el *superego*. Los aspectos relacionados con la agresividad y la sexualidad que hallamos en el complejo R corresponden satisfactoriamente a la descripción que Freud nos ofrece del *ello* (por ejemplo, la condición animal de nuestra naturaleza). Pero por lo que a mí se me alcanza, en su definición del *ello* Freud no da excesiva preponderancia a los aspectos rituales o sociojerárquicos del complejo R. El psicólogo vienes habla de las emociones —en particular la «experiencia oceánica», que viene a ser el equivalente freudiano de la epifanía religiosa como una función del *ego*. Sin embargo, no presenta al *superego* como el emplazamiento básico del razonamiento abstracto, sino más bien como elemento de absorción de las constricciones sociales y familiares, que en el caso del cerebro trino sospechamos constituyen ante todo una función del complejo R. Por todo ello me veo obligado a considerar que la mente tripartita que propone el psicoanálisis presenta escasas concomitancias con el modelo del cerebro trino.

Tal vez una metáfora más válida sea la división de la mente que efectúa Freud al hablar de lo consciente, lo preconsciente, es decir, de lo que permanece latente pero que es aprehensible, y del inconsciente, o sea, todo lo que por estar reprimido escapa a un primer análisis. Cuando Freud dijo, refiriéndose al hombre, que «su capacidad para contraer neurosis es simplemente el anverso de su capacidad para progresar en el orden cultural», el científico estaba pensando en la tensión que existe entre los diversos componentes de la psique. Freud llamó a las funciones del inconsciente «procesos primarios».

La alegoría de la psique contenida en *Fedro*, el diálogo platónico, encierra una concordancia de orden superior. Sócrates compa ra el alma humana a un carro tirado por dos caballos, uno blanco y otro negro, que empujan en distintas direcciones y a los que el auriga apenas acierta a dominar. La metáfora del carro y del auriga se asemeja notablemente a

la noción de almacén neural que propone MacLean. Los dos caballos representan el complejo R y la corteza límbica, mientras que el auriga que apenas puede controlar las sacudidas del carro y el galope de los caballos equivale al neocórtex. Freud, utilizando otra metáfora, habla del *ego* como de un jinete que monta un potro desbocado. Tanto la alegoría freu- diana como la platónica ponen de relieve la considerable independencia y la tensión existente entre las partes constitutivas de la psique, rasgo que caracteriza al ser humano como tal y del que nos ocuparemos más adelante. Debido a las conexiones neuroanatómicas entre los tres componentes, el cerebro trino, al igual que el carro de *Fedro*, también podría ser tomado como una metáfora. En todo caso, es muy probable que resulte ser una metáfora de considerable hondura y utilidad.

El Edén como metáfora. La evolución del hombre

Entonces no te sentirás perdido al tener que abandonar este paraíso, sino que poseerás un paraíso dentro de ti, mucho más dichoso ... Cogidos de la mano, lentamente y con paso vacilante, salieron del Edén y emprendieron su solitario camino.

JOHN MILTON, *El Paraíso perdido*

¿Por qué abandonaste las sendas holladas por el hombre y prematuramente, con escasas fuerzas pero con ánimo valeroso, osaste enfrentarte al dragón indómito en su guarida? Indefenso como estabas, ¡ay!, ¿dónde se ocultaba la sensatez, ese escudo espejado ...?

PERCY B. SHELLEY, *Adonais*

Habida cuenta su superficie externa, los insectos son muy livianos de peso. Una abeja lanzada desde gran altura alcanza en seguida su velocidad punta. La resistencia del aire impide que se precipite con excesiva violencia, y de allí que después de caer al suelo observemos que se aleja por sus propios medios sin mayores contratiempos. Otro tanto puede decirse de los pequeños mamíferos, como por ejemplo las ardillas. Un ratón puede ser arrojado a un pozo de mina de unos trescientos metros de profundidad y si el terreno es blando llegará al fondo aturdido pero esencialmente indemne. Por el contrario, el ser humano puede quedar tullido o perder la vida si se precipita de una altura que exceda los cuatro metros; dada nuestra talla, pesamos demasiado en proporción a la superficie externa de nuestro cuerpo. Por consiguiente, nuestros antepasados arborícolas tenían que proceder con mucha cautela ya que cualquier error al columpiarse de rama en rama podía resultarles fatal. Cada salto constituía una oportunidad de cara a la evolución de la especie. Poderosas fuerzas selectivas entraban en juego para engendrar organismos gráciles y ligeros, dotados de visión binocular, múltiples aptitudes manipulativas, magnífica coordinación entre el órgano de la vista y las manos y una captación intuitiva de la gravitación newtoniana. Cada una de estas facultades requirió sustanciales progresos en la evolución del cerebro y, muy en especial, de las neocortezas de nuestros antepasados. El intelecto humano lo debe esencialmente todo a los millones de años que nuestros antecesores pasaron en solitario colgados de los árboles.

Cabe preguntarse si una vez de regreso al llano y la sabana, lejos de los árboles, echamos de menos los majestuosos y formidables saltos y el éxtasis de la ingravidez bajo los rayos solares que se filtraban por la techumbre arbórea. ¿Tiene el reflejo de temor en el niño de hoy la misión de impedir que caiga de la copa de un árbol? ¿Hay en nuestras ensoñaciones nocturnas de extraños vuelos y en el afán de surcar los cielos que siente el hombre, como nos muestran los casos de Leonardo da Vinci o de Konstantin Tsiolkovski, reminiscencias nostálgicas de los días transcurridos en las ramas de los corpulentos árboles de la selva?

Las modernas técnicas empleadas en la fabricación de cohetes y en la exploración espacial deben muchísimo al doctor Robert H. Goddard, quien a lo largo de muchas décadas de abnegada investigación en solitario impulsó decisivamente todos los aspectos básicos de la tecnología de los proyectiles. Goddard se interesó por este campo en un instante de mágica inspiración. En el otoño de 1899, hallándose en Nueva Inglaterra, Goddard, que contaba diecisiete años y era estudiante de último curso de enseñanza media, se subió a un cerezo y mientras paseaba distraídamente la mirada por el suelo tuvo la etérea visión de un vehículo que transportaba seres humanos al planeta Marte; desde aquel momento decidió dedicar su esfuerzo a esa tarea. Exactamente un año después volvió a trepar al árbol, y en adelante, hasta el resto de sus días, hizo del 19 de octubre una fecha conmemorativa de aquel momento de inspiración. ¿Es realmente un azar que esta visión de los viajes espaciales, que se hizo luego realidad histórica por propia dinámica, tuviera por marco las ramas de un árbol?

Las manos de los animales están adaptadas a su forma de vida, y a la inversa. En la figura se muestran los apéndices de A) el oposum; B) la tupaya; C) el potto (primate de África occidental); D) el *tarsius* (tarsero); E) el babuino (la parte del apéndice que sirve a la vez de mano y de pie); F) el orangután, adaptado a la función braquial; G) el hombre, dotado de un pulgar oponible y relativamente largo.

Otros mamíferos, incluso algunos no pertenecientes ni al orden de los primates ni al de los cetáceos, poseen neocortezas cerebrales. Interesa, sin embargo, preguntarse cuándo se produjo la primera gran mutación del neocórtex. Aunque ninguno de los simios de los que descendemos está presente entre nosotros para aclararnos este punto, podemos responder a la cuestión, o por lo menos intentarlo, recurriendo al examen de los cráneos fósiles. En el hombre, en los antropoides y en los monos, así como en otros mamíferos, el cerebro ocupa casi por completo la cavidad craneal, lo cual no ocurre, por ejemplo, en los peces. En consecuencia, si sacamos el molde de un cráneo, podemos determinar lo que se conoce como el volumen endocraneal de nuestros antepasados directos y colaterales al tiempo que efectuar estimaciones aproximadas del volumen de sus cerebros.

A estas alturas los paleontólogos todavía no se han puesto de acuerdo sobre quiénes son los verdaderos antecesores del hombre, y apenas transcurre un año sin que aparezca el fósil de un cráneo asombrosamente parecido al del hombre actual mucho más antiguo de lo que hasta ahora se creía posible. Lo que sí parece cierto es que hará unos cinco

millones de años abundaban los animales de apariencia antropolíde, como los gráciles australopitecos, que caminaban sobre dos patas y cuyo volumen cerebral era de unos 500 centímetros cúbicos, es decir, unos cien centímetros cúbicos más que el cerebro de un chimpancé de nuestros días. Sobre la base de estos indicios, los paleontólogos han llegado a la conclusión de que «el bipedismo precedió a la encefalización», con lo que se quiere significar que nuestros antecesores caminaron sobre dos patas antes de contar con un cerebro de buen tamaño.

Hace tres millones de años existía gran variedad de criaturas bípedas con una amplia gama de volúmenes craneales, algunos muchísimo mayores que el del australopiteco grácil del África oriental que viviera unos pocos millones de años antes. Uno de ellos, al que L. S. B. Leakey —el conocido antropólogo anglokeniano que tanto ha estudiado al hombre primitivo— denominó *Homo habilis*, poseía un volumen cerebral de unos 700 centímetros cúbicos. La arqueología nos proporciona también indicios de que el *Homo habilis* fabricaba herramientas. El primero que avanzó la idea de que el empleo de herramientas constituye a la vez causa y efecto del caminar sobre dos piernas, con la consiguiente liberación de las manos, fue Charles Darwin. El hecho de que cambios de conducta tan significativos vayan acompañados por otros igualmente significativos en el volumen cerebral no demuestra que lo uno sea la causa de lo otro. Sin embargo, nuestro comentario anterior hace que este vínculo causal aparezca como muy probable.

Una familia de australopitecos gráciles hace cinco millones de años.

El cuadro de la página 93 resume el tema de los restos fósiles, tal como lo conocíamos en 1976, acerca de nuestros más recientes antepasados y parientes colaterales. Las dos clases distintas de australopitecos halladas hasta ahora no pertenecían al género *Homo*; no eran hombres, sino bípedos todavía incompletos cuya masa cerebral equivalía tan sólo a una tercera parte de la que ostenta hoy por término medio el hombre adulto. Suponiendo que nos encontráramos con un australopiteco, digamos en el metro, tal vez lo que más nos llamaría la atención sería la casi ausencia total de frente. Era el menos evolucionado de los antropolídes. Existen marcadas diferencias entre las dos clases de australopitecos. La especie robusta era de más envergadura y mayor peso, con una dentadura más poderosa y una notable estabilidad evolutiva. El volumen endocraneal de un *A. robustus* varía muy poco de un espécimen al otro a lo largo de millones de años. Volviendo de nuevo a los australopitecos gráciles y basándonos una vez más en su dentadura podemos presumir que comían carne y también vegetales. Eran de menor envergadura que el hombre y más flexibles, como su nombre indica. Sin embargo, son considerablemente más viejos y presentan mucha más variación en cuanto al volumen endocraneal que sus robustos primos. Y, lo que es más importante, la ubicación de los restos del australopiteco grácil se halla asociada al hallazgo de lo que reviste todo el carácter de un oficio: la fabricación de útiles de piedra y de huesos, cuernos y dientes de animales tallados meticulosamente, partidos, frotados y pulimentados para conseguir herramientas de corte y bruñido o de útiles para triturar y machacar. En cambio no se han encontrado herramientas asociadas a los restos fósiles del *A. robustus*. La proporción entre el peso del cerebro y la masa del cuerpo en la especie grácil es de casi el doble que en la especie robusta, por lo que resulta lógico preguntarse si este factor es el que marca la diferencia entre la aptitud para construir herramientas o la incapacidad para ello. Aproximadamente por la época en que surge el *A. robustus* apareció un nuevo animal, el *H. habilis*, al que cabe considerar como el primer hombre genuino. Tanto en el aspecto corporal como en lo relativo al peso del cerebro, era más desarrollado que los dos tipos de australopitecos, y la proporción entre su masa cerebral y peso del cuerpo era aproximadamente la misma que la detectada entre los australopitecos gráciles. Apareció en una época en que por razones climáticas la tierra se iba deforestando. El *H. habilis* habitaba en las vastas sabanas africanas, un medio sobremanera estimulante poblado por una enorme variedad de depredadores y presas. En estas llanuras de matorral aparecieron tanto el primer hombre con los rasgos actuales como el primer caballo según hoy lo conocemos. Fueron, por así decirlo, casi coetáneos.

En los últimos sesenta millones de años se ha producido una incesante evolución de los ungulados, como registran perfectamente los restos fósiles, proceso que culminó en el caballo actual. El *Eohippos* o «caballo de la aurora» de hace cincuenta millones de años era poco más o menos del tamaño de un perro pastor escocés, con un volumen cerebral de unos veinticinco centímetros cúbicos y una proporción entre masa cerebral y peso corporal de aproximadamente la mitad de la de un mamífero contemporáneo de tamaño equivalente. Desde entonces los caballos han experimentado una fantástica transformación tanto en el tamaño absoluto como relativo del cerebro, incorporando notables innovaciones en el neocórtex y muy en especial en los lóbulos frontales, evolución acompañada ciertamente por notables incrementos en el grado de inteligencia equina. Me pregunto si el progreso paralelo de la inteligencia en el caballo y en el hombre tiene una causa común. ¿Necesitaban los caballos, por ejemplo, tener ligereza de cascos, sentidos muy finos e inteligencia despierta para escapar de los depredadores que acechaban tanto a los primates como a los equinos?

El *H. habilis* tenía una frente amplia, lo que sugiere un notable desarrollo de las zonas neocorticales de los lóbulos frontal y temporal así como de las regiones cerebrales, aspecto del que trataremos más adelante. Dicho desarrollo parece guardar relación con la facultad del habla. En el supuesto de que llegáramos a tropezarnos con un *H. habilis* vestido a la última moda en el bulevar de una metrópoli moderna, posiblemente nos limitaríamos a echarle un rápido vistazo, y ello quizá sólo en razón de su corta estatura. En conexión con el *H. habilis* se han encontrado una gran variedad de herramientas muy perfeccionadas. Además, tomando como base algunas disposiciones circulares de piedras existen motivos para suponer que el *H. habilis* construía sus propios habitáculos, y que mucho antes de las épocas glaciares del pleistoceno, o mucho antes de que los hombres vivieran habitualmente en las cavernas, el *H. habilis* ya construía viviendas al descampado, probablemente de madera, junco, hierba y piedra.

La sabana de África oriental cerca del paso de Olduvai hace unos millones de años. A la derecha del dibujo, en primer plano, se distinguen tres homínidos, tal vez australopitecos o especímenes de *Homo habilis*. El volcán en activo que se divisa al fondo corresponde al actual monte Ngorongoro.

Dado que el *H. habilis* y el *A. robustus* hicieron su aparición casi al mismo tiempo, es muy improbable que el uno fuera antepasado del otro. Los australopitecos gráciles coexistían con el *H. habilis*, pero la especie de los primeros se había originado mucho tiempo antes. Por lo tanto, es posible, aunque en modo alguno quepa afirmarlo con seguridad, que tanto el *H. habilis*, con un futuro evolucionista prometedor, como el *A. robustus*, un ser llegado al límite de su evolución, surgieran del grácil *A. africanus*, que sobrevivió el tiempo suficiente como para ser contemporáneo de ambos.

El primer hombre cuyo volumen endocraneal coincide con el del hombre actual es el llamado *Homo erectus*. Desde hacía muchos años los principales especímenes de *H. erectus* se hallaban ubicados en China y se estimaba que tenían cerca de medio millón de años. Sin embargo, en 1976, Richard Leakey, director de los Museos Nacionales de Kenya, dio cuenta del hallazgo de un cráneo casi completo de *H. erectus* en unos estratos geológicos con un millón y medio de años de antigüedad. Habida cuenta de que los especímenes de *H. erectus* hallados en China están claramente asociados a residuos de fogatas, es posible que nuestros antepasados conociesen el uso del fuego desde hacía mucho más de un millón y medio de años, lo que desplaza la figura de Prometeo a tiempos mucho más pretéritos de cuanto se pensaba.

Quizá el aspecto más notable de los hallazgos arqueológicos de tiles y herramientas es que aparecen desde el principio en gran cantidad. Uno tiene la impresión de que un inspirado *A. grácil* descubrió el uso de las herramientas e inmediatamente empezó a enseñar la técnica de su construcción a parientes y amigos. No hay modo de explicar la intermitente aparición de útiles de piedra, salvo en el caso de que los australopitecos contaran con instituciones educativas. Forzosamente tuvo que existir una especie de comunidad o hermandad de artesanos de la piedra que transmitiera a las sucesivas generaciones sus preciosos conocimientos sobre la fabricación y el uso de las herramientas, conocimientos que en última instancia llevarían a los débiles y casi indefensos primates al dominio del planeta Tierra. Lo que no es posible determinar es si el género *Homo* inventó por su cuenta las herramientas o aprovechó alguna técnica de construcción concebida por el género *Australopithecus*.

Consultando el cuadro antedicho observamos que la proporción entre cerebro y masa corpórea es aproximadamente la misma para los *A. gráciles*, el *H. habilis*, el *H. erectus* y el hombre actual. En consecuencia, no es posible explicar los progresos realizados en los últimos millones de años atendiendo a la mera proporción entre masa cerebral y masa corpórea, sino más bien tomando en cuenta el incremento total de la masa cerebral, la especialización perfeccionada de nuevas funciones, un aumento en la complejidad de la estructura cerebral y, muy especialmente, el aprendizaje extrasomático.

L. S. B. Leakey puso de relieve que la crónica fósil de hace unos pocos millones de años refleja la existencia de una gran variedad de especies antropomorfas, muchas de las cuales aparecen con agujeros o fracturas en el cráneo. Es posible que algunas de estas heridas fuesen infligidas por leopardos o hienas, pero Leakey y el anatomista sudafricano Raymond Dart estaban convencidos de que muchas de ellas fueron causadas por nuestros antecesores. Es casi seguro que durante el plioceno y el pleistoceno existió una intensa rivalidad entre muchas formas antropoides, de las que sólo sobrevivió un tronco: el de los que dominaban el uso de los útiles y herramientas, el tronco que desemboca en el hombre actual. Queda sin resolver la cuestión del papel que desempeñaron las matanzas en el cuadro de estas rivalidades. Los australopitecos gráciles caminaban erectos, eran ágiles, veloces y medían alrededor de un metro de altura, es decir, eran individuos de «estatura enana». A veces me pregunto si las leyendas en torno a gnomos, gigantes y enanos no serán una remembranza genética o cultural de esos remotos tiempos.

A la vez que el volumen craneal de los homínidos sufría este incremento espectacular, sobrevino otra transformación asombrosa de la anatomía humana. Tal y como ha observado el anatomista británico sir Wilfred Le Gros Clark, de la Universidad de Oxford, se produjo una remodelación total de la pelvis. Con toda probabilidad se trató de una adaptación para facilitar el parto de la generación de individuos dotados de una consistente masa cerebral. Si en la actualidad se produjera otro agrandamiento sustancial de la banda pélvica en la región del conducto natal, las mujeres verían muy dificultada la tarea de caminar. (Al nacer, las niñas poseen una pelvis y una abertura ósea mucho más grande que la de los niños; al llegar a la pubertad, la pelvis de la adolescente vuelve a sufrir un notable agrandamiento.) La aparición paralela de estas dos efemérides evolucionistas ilustra fehacientemente cómo opera la selección natural. Las madres que habían heredado pelvis dilatadas pudieron engendrar criaturas dotadas de cerebros grandes que una vez llegadas al estado adulto y a causa de su intelecto superior competían ventajosamente con la descendencia, menos dotada cerebralmente, alumbrada por madres con una abertura pélvica más reducida. En los tiempos pleistocénicos el individuo que poseía un hacha de piedra era quien tenía más probabilidades de salir victorioso en una disputa. Y lo que es más importante, era mejor cazador. Pero la invención y la construcción ininterrumpida de hachas de piedra exigía mayores volúmenes cerebrales.

Que yo sepa, el alumbramiento es normalmente doloroso en una sola de los millones de especies animales que pueblan la tierra: la del ser humano. Posiblemente ello sea consecuencia del reciente e incesante incremento de la capacidad craneal. El cráneo de los hombres y mujeres de nuestros días posee doble capacidad que el cráneo del *H.*

habilis. El alumbramiento es doloroso porque la evolución del cráneo humano ha sido espectacularmente rápida y reciente. El anatomista norteamericano C. Judson Herrick aludió al desarrollo del neocórtex en los siguientes términos: «Su formidable crecimiento en la última fase filogenética constituye uno de los ejemplos más llamativos de transformación evolutiva que conoce la anatomía comparada». El cierre incompleto del cráneo al nacer, la hendidura de la cubierta ósea llamada fontanela, es con toda probabilidad una adaptación imperfecta a esta reciente evolución del cerebro.

En el libro del Génesis hallamos una insólita explicación del nexo entre la evolución de la inteligencia y el dolor del parto. Como castigo por comer la fruta del árbol del conocimiento del bien y del mal, Dios dice a Eva:² «Parirás con dolor» (Génesis, 3,16).

El juicio de Dios sobre la serpiente fue el de que en adelante «reptarás sobre tu vientre», dando a entender que con anterioridad, los reptiles tenían otra forma de desplazarse, lo cual coincide exactamente con la realidad, puesto que los antecesores de las serpientes eran unos animales de cuatro patas parecidos a los dragones. Muchos ofidios conservan todavía en su cuerpo vestigios de los miembros de sus antecesores.

Es interesante hacer notar que Dios no prohíbe la adquisición de todo tipo de conocimiento, sino, de manera específica, el conocimiento de la diferencia entre el bien y el mal, es decir, los juicios abstractos y morales, que de residir en alguna parte del cerebro se ubicarían en el neocórtex. Incluso en la época en que se escribió el relato del Paraíso, el perfeccionamiento de las facultades cognoscitivas se asociaba a la idea del hombre cargado de atributos divinos y tremendas responsabilidades. Dijo Yhavé, Dios: «He aquí al hombre hecho como uno de nosotros, conocedor del bien y del mal; que no vaya ahora a tender su mano al árbol de la vida, y comiendo de él, viva para siempre» (Génesis, 3,22). Así pues, el hombre debe ser expulsado del Paraíso y Dios coloca al este del Edén una guardia de querubines con flameantes espadas para mantener al Árbol de la Vida lejos de las ambiciones del hombre.

El texto bíblico habla de querubines, en plural, y en el Génesis (3,24) se habla específicamente de una espada flamígera. Es de suponer que este tipo de espada no abundaba

Tal vez el jardín del Edén no sea tan distinto de la Tierra como se les mostraba a nuestros antepasados de hace tres o cuatro millones de años, en el curso de una legendaria época dorada en la que el género *Homo* vivía en perfecta armonía con los restantes animales y vegetales. Según el relato bíblico, tras su expulsión del paraíso la humanidad es condenada a morir; a ganar el pan con su esfuerzo; a vestirse y guardar un cierto pudor como preventivos de la estimulación sexual; a la férula de los hombres sobre las mujeres; al cultivo de las plantas (Caín); a la domesticación de los animales (Abel) y al asesinato (Caín y Abel). Todos estos aspectos se ajustan con bastante exactitud a los indicios históricos y arqueológicos. No hallamos en la metáfora del Edén prueba alguna de asesinato antes de la Caída. Sin embargo, los cráneos fracturados de bípedos no pertenecientes al tronco evolutivo del hombre pueden constituir un indicio de que nuestros antepasados dieron muerte, incluso en el mismo Edén, a muchos animales antropomorfos.

La civilización arranca no de Abel, sino de Caín el homicida. El mismo término «civilización» deriva del vocablo latino para designar la ciudad. Fue el tiempo libre, la organización comunal y la especialización de la actividad laboral en las primeras ciudades lo que propició la aparición de las artes y de las técnicas que consideramos como pruebas de contraste de las distintas civilizaciones. Según el Génesis, la primera ciudad fue construida por Caín, el inventor de la agricultura, actividad que requiere un asentamiento fijo, y fueron sus descendientes, los hijos de Lamec, los que inventaron tanto «los instrumentos cortantes de bronce y de hierro» como los instrumentos musicales. La metalurgia y la música, es decir, la técnica y el arte, son patrimonio de la estirpe de Caín. Por otro lado, las pasiones exacerbadas que conducen al asesinato no se atemperaron. Así, Lamec dice: «Por una herida mataré a un hombre y a un joven por un cardenal; si Caín fue vengado siete veces, Lamec lo será setenta veces siete». Desde entonces conocemos el nexo entre asesinato e invención. Uno y otro derivan de la agricultura y de la civilización.

Una de las primeras consecuencias de las facultades anticipatorias inherentes a la evolución de los lóbulos prefrontales debe haber sido la conciencia de la muerte. Con toda seguridad el hombre es el único organismo en la tierra con una idea relativamente clara de la inevitabilidad del destino que le aguarda. Los diversos ceremoniales fúnebres, entre los que se incluye el depósito de alimentos y de objetos junto al cuerpo del fallecido, se remontan por lo menos a la época de nuestro pariente el hombre de Neanderthal, lo que indica no sólo una dilatada conciencia de la muerte, sino también una ceremonia ritual ya configurada que tiende a procurar sustento a los muertos en la otra vida. No es que la idea de la muerte estuviera ausente antes del espectacular desarrollo del neocórtex y de la expulsión del paraíso; lo que ocurre es que hasta aquel momento nadie había reparado en que la muerte sería su destino último.

La alegoría de la expulsión del paraíso parece ser una metáfora apropiada para algunas de las efemérides biológicas más importantes acaecidas en la evolución reciente del hombre. Puede que en ello radique la amplia difusión de que goza.

. En Occidente, quede bien claro. Por supuesto que en otras culturas abundan también las leyendas clarividentes y cargadas de contenido sobre el origen de la especie humana.

Sin embargo, no es tan extraordinaria como para inducirnos a creer en una especie de memoria biológica de eventos históricos del pasado, aunque desde mi punto de vista se me antoja próxima a ello, hasta el punto de que bien merece la pena asumir el riesgo de plantear por lo menos la cuestión. El único depositario de la mentada memoria biológica es,

por supuesto, el código genético.

Hace cincuenta y cinco millones de años, durante el eoceno, se dio una gran proliferación de primates, tanto de los que habitaban en los árboles como en el suelo, y se inició un tronco que desembocaría en la aparición del hombre. Algunos primates de aquella época —tal es el caso, por ejemplo, de un prosimio llamado *Teto-nius*— presentan en los moldes endocraneales obtenidos pequeñas protuberancias en el mismo lugar en que más tarde se originarán los lóbulos frontales.

La creación de Adán. Relieve de las puertas de la iglesia de San Pedro, Bolonia, obra de Jacopo della Quercia.

La primera evidencia fósil de un cerebro con un aspecto vagamente humano se remonta al periodo miocénico, dieciocho millones de años atrás, cuando hace su aparición un antropoide al que conocemos como el *Procónsul* o *Dryopithecus*. El *Procónsul* era cuadrúpedo y arbóreo y, probablemente, antepasado de los grandes simios de hoy, así como también del *Homo sapiens*. Sus rasgos son poco más o menos los que cabía esperar de un antepasado común de los simios y de los hombres.

La tentación de Adán y Eva por una serpiente dotada de una singular cabeza humana. Relieve de las puertas de la iglesia de San Pedro, Bolonia, obra de Jacopo della Quercia.

Algunos antropólogos consideran que el *Ramapithecus*, que apareció aproximadamente por la misma época, es el antepasado del hombre.) Los moldes endocraneales del *Procónsul* muestran unos lóbulos frontales apreciables, pero unas convoluciones neocorticales mucho menos desarrolladas que las del mono y el hombre actual. Su volumen craneal era todavía muy pequeño. El hito más importante en la evolución de la capacidad craneal tuvo lugar en los últimos millones de años.

La expulsión del Paraíso terrenal. Relieve de las puertas de la iglesia de San Pedro, Bolonia, obra de Jacopo della Quercia.

Se ha dicho que los pacientes que han sufrido lobotomías pre-frontales han perdido «el sentido continuado de identidad», es decir, la sensación de ser un individuo distinto de los demás con un cierto dominio sobre sus actos y circunstancias, lo que podríamos llamar la «egocidad», el carácter de único que se posee en tanto que individuo. Es muy posible que los mamíferos inferiores y los reptiles, por carecer de extensos lóbulos frontales carezcan también de este sentimiento, real o ilusorio, de individualidad y libre albedrío que tanto caracteriza al ser humano y que tal vez el *Procónsul* experimentara levemente por vez primera. Es muy probable que los avances culturales y la evolución de aquellos rasgos fisiológicos que consideramos privativos del hombre hayan venido literalmente de la mano: cuanto mejores sean nuestras predisposiciones genéticas a la carrera, la comunicación social y la manipulación instrumental, mayores serán también las probabilidades de que desarrollemos útiles y estrategias de caza efectivas; cuanto mayor sea la adaptabilidad de dichos útiles y estrategias, mayores serán las posibilidades de supervivencia de nuestra dotación genética característica. Uno de los principales exponentes de esta teoría, el antropólogo norteamericano Sherwood Washburn, de la Universidad de California, ha dicho: «Mucho de lo que consideramos como propio del hombre se desarrolló mucho tiempo después de que empezaran a utilizarse las herramientas. Probablemente sea más exacto pensar que buena parte de nuestra estructura es el resultado de un proceso cultural que no creer en la existencia de unos seres anatómicamente semejantes a nosotros que lenta y progresivamente han ido desarrollando la cultura».

Algunos estudiosos de la evolución humana consideran que buena parte de la presión selectiva que se oculta tras ese trascendental evento en el proceso de cerebración se dio primero en la corteza motora, y no en las regiones neocorticales que regulan los procesos cognoscitivos. Subrayan así la notable aptitud del ser humano para lanzar proyectiles y dar certeramente en el blanco, andar airoso y correr desnudos —como Louis Leakey gustaba de ilustrar con su propia persona— hasta rebasar en su carrera e inmovilizar a los animales de caza. Es posible que deportes como el béisbol, el fútbol y la lucha libre, así como las pruebas atléticas y las competiciones de campo a través, el juego del ajedrez y la guerra en general deban su atractivo, así como la gran participación que en ellos tiene la población masculina, a estas condiciones para la caza «impresas» en nuestro cerebro que tanta utilidad han reportado al hombre durante millones de años, pero que hoy pierden progresivamente aplicaciones prácticas.

La invención del lenguaje humano marcó un hito fundamental en la evolución del hombre. Entre sus manifestaciones más acabadas estaba, como muestra la imagen, el relato de viva voz, forma cultural anterior a la invención de la escritura.

Tanto la defensa efectiva contra los depredadores como la caza eran necesariamente tareas de grupo. El medio físico en que apareció el hombre —en África ocurrió durante el plioceno y el pleistoceno— estaba habitado por una gran variedad de fieros mamíferos carnívoros, los más temibles de los cuales eran, quizás, las carnívoras de hienas gigantes. Era sumamente difícil repeler en solitario el ataque de una de estas carnívoras. Acechar presas de gran tamaño, bien aisladas bien en rebaño, es tarea peligrosa que requiere de los cazadores cierto grado de comunicación mediante señas o ademanes. Nos consta, por ejemplo, que poco tiempo después de que el hombre llegase a Norteamérica por el

estrecho de Bering, durante el pleistoceno, hubo grandes y espectaculares matanzas de animales de caza de gran tamaño, a menudo haciendo que los rebaños se despeñaran por los barrancos. Para poder acechar a una sola bestia salvaje o provocar una estampida que conduzca a la muerte a un rebaño de antílopes es preciso que los cazadores hagan un mínimo uso del lenguaje simbólico. El primer acto de Adán, mucho antes de la Caída e incluso antes de la creación de Eva, fue de orden lingüístico: poner nombres a los animales del paraíso.

Ni que decir tiene que algunas formas de lenguaje simbólico mediante gestos se originaron mucho antes de que aparecieran los primates. Los cánidos y muchos otros mamíferos que establecen jerarquías de dominio muestran actitud de sumisión bien apartando los ojos bien doblando la cerviz. Nos hemos referido ya a otros rituales de sumisión en primates tales como los macacos. Es posible que, en el hombre, las reverencias, breves inclinaciones de cabeza y otros actos de cortesía tengan un origen similar. Muchos animales parecen subrayar la amistad mordiendo a su compañero sin hacerle daño como diciéndole: «Podría morderte con fuerza, pero prefiero no hacerlo». El saludo con la mano derecha alzada, habitual en el ser humano, tiene exactamente el mismo significado: «Podría atacarte con un arma, pero prefiero no empuñarla».

A veces, levantar la mano con la palma abierta se interpreta como un símbolo «universal» de buena voluntad. Así parece que ha sido desde los días de la guardia pretoriana hasta la época de los exploradores sioux. Dado que, según muestra la historia humana, es el hombre quien empuña las armas arrojadizas, alzar la mano debería ser, y por lo general lo es, un saludo genuinamente masculino. Por esas y otras razones, la placa que a bordo de la nave espacial *Pioneer 10* —el primer artefacto de la historia que abandonó el sistema solar— exhibía las figuras de un hombre y una mujer desnudos; el hombre con la mano en alto, abierta, en actitud de saludo (véase la ilustración de la pág. 240). En *La conexión cósmica* aludo a los dos personajes que figuran en dicha placa como la parte más oscura del mensaje. De todos modos vacilo y me digo que tal vez otros seres de muy distinta biología sepan interpretar el significado del gesto del hombre.

Muchos pueblos cazadores han hecho un uso considerable del lenguaje por signos o gestos, como, por ejemplo, los indios americanos de las llanuras, que también realizaban señales de humo.

Según Hornero, la victoria de los helenos en Troya fue comunicada desde Ilium a Grecia, situada a una distancia de varios centenares de kilómetros, mediante una sucesión de fogatas. Eso ocurría alrededor del año 1100 a.C. Sin embargo, tanto el repertorio de ideas como la rapidez con que pueden comunicarse mediante signos o gestos son limitados. Darwin señaló la inoperancia de estos lenguajes si tenemos las manos ocupadas, cuando es de noche o si algún obstáculo nos impide ver las manos del interlocutor. No resulta difícil imaginar que el lenguaje por señas o por ademanes fuese sustituido gradualmente, y finalmente suplantado de lleno, por el lenguaje oral, que en un principio tal vez consistiera en simples sonidos onomatopéyicos, es decir, imitativos del sonido del objeto o de la acción que estamos expresando. Los niños llaman a los perros «guau-guau». En casi todos los lenguajes del hombre el término que el niño utiliza para decir «madre» parece una evocación del sonido que emitía inadvertidamente mientras era amamantado. Pero lo importante es que todos estos hechos no pueden haberse producido sin una reestructuración del cerebro.

Hoy sabemos, en base a los restos óseos del hombre primitivo, que nuestros antepasados eran cazadores. Sabemos lo suficiente acerca de la caza de animales corpulentos para comprender que se precisa una forma u otra de comunicación para acechar una presa en grupo. Con todo, las ideas sobre la antigüedad del lenguaje se han visto inesperada y considerablemente reforzadas gracias a los minuciosos estudios de fósiles endocraneales llevados a cabo por el antropólogo norteamericano Ralph L. Holloway, de la Universidad de Columbia, quien ha sacado moldes de caucho de los cráneos fosilizados y ha intentado deducir algunas conclusiones sobre la intrincada morfología del cerebro partiendo de la configuración de los mismos. Se trata de una especie de frenología, pero más interna que superficial y con una base mucho más sólida. Holloway está convencido de que en los moldes endocraneales puede detectarse la región del cerebro conocida como «área de Broca», uno de los diversos centros que regulan el habla. Asimismo, cree haber encontrado indicios de la existencia de esta región cerebral en un fósil de *H. habilis* que tiene más de dos millones de años de antigüedad. Cabe, pues, pensar que el lenguaje, las herramientas y la cultura surgieron aproximadamente en la misma época.

Señalemos de pasada que hubo criaturas antropomorfas que vivieron hace sólo unas pocas decenas de miles de años —el hombre de Neanderthal y el de Cro-Magnon— y que poseían por término medio volúmenes craneales de unos 1.500 cm³, es decir, que excedían en más de cien centímetros cúbicos el volumen de nuestros cerebros. La mayoría de los antropólogos consideran que no descendemos de la especie de Neanderthal ni quizá tampoco del llamado hombre de Cro-Magnon. Sin embargo, la existencia de uno y otro suscita la cuestión de averiguar quiénes eran estos especímenes antropomorfos y cuáles sus aportaciones. El hombre de Cro-Magnon era un ser de considerable altura; algunos individuos rebasaban con mucho el metro ochenta. Hemos visto ya que una diferencia de 100 centímetros cúbicos en cuanto al volumen cerebral no parece revestir gran importancia, y hasta es posible que no fueran más inteligentes que nosotros o nuestros inmediatos antepasados. Quizá padecieran taras físicas que hoy por hoy desconocemos. El hombre de Neanderthal tenía una frente escasa, pero su cabeza era alargada en sentido longitudinal. En cambio, nosotros poseemos una cabeza menos dilatada pero más grande en sentido vertical, lo que nos sitúa sin discusión en la categoría de los seres dotados de una gran masa cerebral. ¿Acaso el desarrollo del cerebro que se aprecia en el hombre de

Neanderthal acaeció en los lóbulos parietales y occipitales, mientras que el desarrollo principal del cerebro de nuestros antepasados tuvo por marco los lóbulos frontales y temporales? ¿Cabe en lo posible que el hombre de Neanderthal desarrollase una mente muy distinta de la nuestra y que las superiores facultades lingüísticas y anticipatorias del hombre le llevara a eliminar totalmente a nuestros fornidos e inteligentes primos?

Por lo que sabemos, el ser intelectual aparece en la Tierra hace unos cuantos millones, o quizá docenas de millones de años. Pero este lapso no supone sino un porcentaje mínimo (unas décimas solamente) de la edad del planeta o, trasladándolo al calendario cósmico, al último día del mes de diciembre. ¿Por qué una aparición tan tardía? Parece evidente que alguna determinada propiedad del cerebro de los primates y cetáceos superiores no se originó hasta fecha muy moderna. Pero ¿de qué propiedad se trata? Se me ocurren por lo menos cuatro posibilidades, todas las cuales han sido ya mencionadas, sea explícita o implícitamente.

Una «reunión en la cumbre» durante el pleistoceno. De izquierda a derecha: *Homo habilis* (un tanto deteriorado), *Homo erectus*, hombre de Neanderthal, hombre de Cro-Magnon y *Homo sapiens*.

A saber: 1) la de que nunca antes se había dado un cerebro tan voluminoso; 2) la de que nunca se había dado una proporción tan alta entre masa cerebral y corpórea; 3) la de que nunca antes existió un cerebro con determinadas unidades funcionales (por ejemplo, lóbulos frontales y temporales muy pronunciados); y 4) la de que nunca hubo un cerebro con tantas conexiones neurales o sinapsis. (Parecen existir indicios de que durante el proceso de cerebración se produjo un incremento del número de conexiones de cada neurona con su vecina, así como en el número de micro-circuitos.) Las hipótesis 1, 2 y 4 indican que un cambio cuantitativo originó otro de orden cualitativo. Creo que de momento no es posible decantarse tajantemente por una de esas cuatro alternativas, y presiento que la verdad abarcará probablemente buena parte de las respectivas opciones.

Sir Arthur Keith, investigador británico que ha estudiado el proceso evolutivo del hombre, propuso lo que él denominó un «rubicón» en el proceso de cerebración. Según su teoría, a partir del volumen cerebral del *Homo erectus* —unos 750 cm³ aproxima damente el cubicaje de una motocicleta potente— empiezan a emerger los rasgos exclusivos del ser humano. Claro que este rubicón bien pudo ser de orden cualitativo y no sólo cuantitativo. Quizá la diferencia no residiera tanto en los 200 centímetros cúbicos suplementarios como en determinado desarrollo de los lóbulos frontal, temporal y parietal que nos procuraron facultades de análisis y anticipación y sentimientos de ansiedad.

Aun cuando cabe discutir la exacta equivalencia del mentado rubicón, creemos que la noción de un límite de tal tipo no carece de valor. Pero si existe un rubicón próximo a los 750 centímetros cúbicos, al tiempo que las diferencias de 100 o de 200 centímetros cúbicos no parecen —por lo menos en el caso del hombre— factores determinantes del grado de inteligencia, ¿no será entonces posible atribuir a los monos cierta inteligencia reconocible como humana? E! volumen del cerebro de un chimpancé es por término medio de 400 centímetros cúbicos, y el de un gorila de las tierras bajas de 500 centímetros cúbicos. Pues bien, esta es la escala de variación de volúmenes cerebrales entre los australopitecos gráciles, conocedores de las herramientas de mano.

El historiador judío Josefo añade a la lista de penalidades y tribulaciones inherentes a la expulsión del paraíso la pérdida de nuestra capacidad para comunicarnos con los animales. Los chimpancés poseen un cerebro voluminoso, una neocorteza bien desarrollada y conocen también una larga infancia y dilatados periodos de adaptación. ¿Son capaces de pensar en abstracto? Y si son criaturas inteligentes, ¿por qué no conocen el uso de la palabra?

Las abstracciones de los brutos

Te pido a ti y a todos en general que me señaléis un rasgo genérico ... que permita diferenciar al hombre del simio. Ciertamente, yo no sé de ninguno y me gustaría que alguien me indicara lo contrario. Sin embargo, si hubiese llamado «mono» al hombre o a la inversa, todos los clérigos se me habrían echado encima. Tal vez, como naturalista que soy, tendría que haberlo hecho.

CARL LINNEO, fundador de la taxonomía, 1778

Las bestias no pueden formular abstracciones declaró John Locke, expresando con estas palabras el sentir generalizado del hombre en el transcurso de la historia escrita. Pero el obispo Berkeley replicó con socarronería: «Si lo que confiere a los brutos la condición de tales es el hecho de que no sean capaces de pensar en abstracto, me temo que muchos de los que pasan por hombres deberían sumarse a ellos». El pensamiento abstracto, por lo menos en sus manifestaciones más sutiles, no es un rasgo permanente del hombre medio en sus actividades cotidianas. ¿Y si el pensamiento abstracto no fuera tanto una cuestión de especie como de grado? ¿No pueden otros animales realizar abstracciones aunque no sea con la frecuencia y la agudeza del hombre?

Entre nosotros prevalece la idea de que los demás animales no son criaturas muy inteligentes. Sin embargo, cabe preguntarse si hemos analizado con rigor la posibilidad de que los animales posean un apreciable nivel intelectual. ¿No será que como en *El pequeño salvaje*, la punzante película de Francois Truffaut, tendemos a ver en la ausencia de nuestra forma de expresar la inteligencia la carencia de la misma? Refiriéndose al tema de la comunicación con otras especies animales, el filósofo francés Montaigne manifestó: «¿Por qué suponer que los impedimentos que dificultan esta comunicación son imputables sólo a ellos y no, también, a nosotros?».

Puede que las dificultades que tenemos para comprender o establecer comunicación con otros animales deriven de nuestra reticencia en asimilar otras formas menos familiares de relación con el medio. Por ejemplo, los delfines y los cetáceos, que detectan el entorno mediante un sistema muy perfeccionado de rastreo por eco semejante al sonar, también se comunican entre sí mediante una amplia y perfeccionada serie de chasquidos que hasta el momento no han podido ser interpretados. Una moderna y brillante teoría, a la sazón en fase de investigación, asegura que la comunicación entre dos delfines supone una recreación de las características de reflexión tipo sonar de los objetos descritos por el pez. Desde este ángulo, un delfín no alude al tiburón con una sola palabra, sino que transmite una serie de chasquidos que corresponden al espectro de reflexión auditivo que obtendría al proyectar en un tiburón las ondas acústicas según el modo de detección, semejante al sonar, propio del delfín. Según esta apreciación, la forma básica de comunicación entre dos delfines vendría a ser una especie de onomatopeya aural, un esbozo de imágenes en frecuencia audio, en el caso que nos ocupa esbozos o caricaturas del tiburón. No es difícil imaginar la amplitud de tal lenguaje trasladándolo de las ideas concretas a las abstractas, y mediante el uso de una especie de jeroglífico auditivo, en uno y otro caso análogos al surgimiento del lenguaje escrito en Egipto y Mesopotamia. En dicho supuesto, los delfines estarían en condiciones de crear extraordinarias imágenes audio nacidas de la imaginación más que de sus experiencias.

Existe, ciertamente, un largo anecdotario demostrativo de que los chimpancés son criaturas inteligentes. El primer estudio serio sobre el comportamiento de los simios —sin excluir el medio natural que les es propio— lo llevó a cabo en Indonesia Alfred Russel Wallace, descubridor, conjuntamente con Darwin, de la evolución a través de la selección natural. Estudiando los hábitos de conducta de una cría de orangután, Wallace llegó a la conclusión de que su comportamiento «era exactamente el mismo que el de un niño en circunstancias parecidas». En realidad, el término «orangután» corresponde en malayo a una frase que significa «hombre de la selva» y no «simio». Teuber se hace eco de numerosas anécdotas que le fueron contadas por sus padres, dos etólogos alemanes, adelantados de su especialidad, que a principios del segundo decenio del presente siglo fundaron y dirigieron en Tenerife, Islas Canarias, el primer centro experimental dedicado al estudio de la conducta de los chimpancés. Fue allí donde Wolfgang Kohler realizó sus famosas investigaciones con Sultán, un chimpancé «superdotado» capaz de unir las dos partes de un bastón o caña para poder hacerse con un plátano que de otro modo hubiera permanecido fuera de su alcance. También en el centro experimental de Tenerife se vio a dos chimpancés que se entretenían maltratando a un polluelo: uno de ellos mostraba al animalito un poco de comida y cuando se acercaba atraído por ella su compañero le sacudía con un alambre que ocultaba tras la espalda. El polluelo reculaba, pero en seguida reincidía, lo que le valía un nuevo azote. Este proceder constituye una clara combinación de un comportamiento que en ocasiones se juzga exclusivo del ser humano y que presupone cooperación, confabulación de cara a la comisión de ciertos actos, engaño y crueldad. También demuestra que los polluelos poseen escasa capacidad para aprender a prevenirse del riesgo.

Hasta hace unos pocos años, los intentos más concienzudos para establecer comunicación con los chimpancés discurrían poco más o menos del siguiente modo: al nacer la cría del chimpancé se la trasladaba a un hogar que tuviese un bebé y se los criaba juntos utilizando cunas, cochecitos, sillas altas, orinales, pañales y botes de talco iguales para uno y otro. Al término de los tres años, el joven chimpancé superaba con mucho al niño cuando se trataba de operar manualmente, trepar, dar brincos, correr y otras actividades motoras. Sin embargo, mientras que el niño se regodeaba balbuciendo una frase tras otra, el chimpancé sólo podía pronunciar, y aun con muchas dificultades, palabras como «mamá», «papá», etc. De aquí que muchos dieran por sentado que el chimpancé era un ser bastante inepto para expresarse, razonar y otras funciones mentales superiores: «La bestia es incapaz de formular abstracciones».

Sin embargo, hubo dos psicólogos de la Universidad de Nevada, Beatrice y Robert Gardner, que cavilando en torno

a los experimentos realizados observaron que la faringe y la laringe del chimpancé no están adaptados para emitir sonidos y articular palabras como en el caso del hombre. Curiosamente, éste utiliza un mismo órgano, la boca, para comer, respirar y comunicarse con otros individuos. En insectos como los grillos, que se llaman entre sí restregando una pata con otra y produciendo el clásico chirrido, estas tres funciones corresponden a tres órganos distintos. A lo que parece, el habla, en el hombre parece conformarse como un evento accidental.

Washoe (a la izquierda) expresa en lenguaje Ameslan la palabra «sombrero» al verle mostrado un gorro de lana.

Washoe (izquierda) indica por señas, en lenguaje Ameslan, la palabra «dulce» a la vista de un chupón o caramelo de palo.

Por otra parte, el hecho de que el hombre utilice para expresarse oralmente órganos que cumplen otras misiones demuestra también que nuestras facultades de expresión oral se originaron en un pasado relativamente cercano. En opinión de los Gardner, era razonable suponer que los chimpancés poseyeran facultades lingüísticas notables que no habían podido traslucir debido a las limitaciones anatómicas. Ello les llevó a preguntarse si había un tipo de lenguaje simbólico que potenciase más los rasgos positivos que los negativos de la anatomía del chimpancé.

Dieron así con una brillante idea: enseñar a este animal el lenguaje por señas utilizado en Norteamérica, conocido como el Ameslan (acrónimo de *American sign language*), o, también, «lengua norteamericana para sordomudos» (*American deaf and dumb language*). Se trata de una forma de expresión que se adapta maravillosamente bien a la soltura manual del chimpancé y que permite representar gestualmente los principales rasgos conceptuales del idioma hablado.

A la sazón disponemos de un nutrido acopio escrito y filmado de conversaciones en Ameslan y otros lenguajes por señas con Washoe, Lucy, Lana y otros chimpancés estudiados por los Gardner y diversos investigadores. Algunos chimpancés poseen un repertorio de cien a doscientos términos y, además, son capaces de distinguir entre diversos modelos de sintaxis y reglas gramaticales. Y lo que es más significativo: se han mostrado singularmente ingeniosos en la construcción de vocablos y expresiones de nuevo cuño.

Así, cuando Washoe vio por vez primera a un pato en un estanque dijo mediante señas, «pájaro de agua», que corresponde al término utilizado en inglés y en otros idiomas, pero que el chimpancé improvisó para la ocasión. La hembra Lana no había visto otros frutos de forma esférica que las manzanas, pero como sabía indicar por señas el nombre de los colores principales, un día en que vio a uno de los cuidadores comer una naranja, señaló con los correspondientes ademanes: «manzana color naranja». Después de probar una raja de sandía, Lucy la llamó «bebida con azúcar» y «fruta líquida»; pero cuando sintió el escozor del primer rábano que cató, dijo entonces que se trataba de «comida que duele y hace llorar». Cuando a Washoe le pusieron una muñequita en la taza que sostenía, dijo mediante señas: «niño en mi bebida». A este último chimpancé se le enseñó a representar la palabra «sucio» siempre que se hacía las necesidades encima o en un mueble, y el animal extrapoló el término aplicándolo de manera genérica a cualquier tipo de exceso. En presencia de un *Rhesus* (mono común) con el que no simpatizaba, repitió machaconamente: «mono asqueroso, mono asqueroso, mono asqueroso». A veces decía cosas como: «Sucio Jack, bebida con trampa». En un momento de tedio y de inspiración a la vez, Lana apostrofó a su cuidador llamándole «cagarruta verde». Los chimpancés han llegado a inventar hasta juramentos. Washoe parece tener incluso cierto sentido del humor. En una ocasión en que cabalgaba sobre las espaldas de su cuidador al tiempo que, tal vez inadvertidamente, se le orinaba encima, manifestó jubiloso: «Divertido, divertido».

En cuanto a Lucy, terminó por aprender a distinguir claramente el sentido de frases como «Roger hace cosquillas a Lucy» y «Lucy hace cosquillas a Roger», dos actividades que la deleitaban en extremo. Asimismo, Lana dedujo de la frase «Tim cuida de Lana» otra que decía «Lana cuida de Tim». Washoe fue sorprendido «leyendo» una revista: el chimpancé volvía las páginas despacio, se entretenía contemplando las ilustraciones y, en un momento dado, sin dirigirse a nadie en particular, realizaba las señas pertinentes, como la correspondiente a la palabra «gato» al toparse con la fotografía de un tigre, o «bebida» al fijar la vista en el anuncio de un vermouth. Habiendo aprendido a indicar por señas la palabra «abierto» con referencia a una puerta, Washoe extendió el concepto a una cartera de mano. También intentó conversar en Ameslan con el gato del laboratorio, que resultó ser el único analfabeto del lugar. Después de adquirir este sorprendente medio de comunicación, es posible que Washoe se sorprendiera de que el gato no fuese también experto en el empleo del Ameslan. Un día en que Jane, la madrastra de Lucy, salió del laboratorio, ésta la miró con fijeza y dijo por señas: «Llámame. Yo gritar».

Boyce Rensberger es un periodista muy dotado y sensible que trabaja en la plantilla del *New York Times*. Sus padres eran sordomudos, aunque él es perfectamente normal. Con todo, el primer idioma que conoció fue el Ameslan. Después de que el *Times* le enviara a Europa por espacio de algunos años, de vuelta a los Estados Unidos una de las primeras tareas que se le encomendaron en el plano interior fue la de investigar los experimentos de los Gardner con Washoe. Después de haber dedicado un poco de tiempo a trabar conocimiento con el chimpancé, Rensberger escribió un reportaje en el que, entre otras cosas, decía: «De repente me di cuenta de que estaba conversando con un individuo de otra especie en la lengua que había conocido cuando niño». Por supuesto, el empleo del término «lengua» es figurativo y está profundamente encastrado en la estructura del lenguaje (su otra acepción hace referencia al órgano físico propiamente dicho). Pero la verdad es que Rensberger conversaba con un miembro de otra especie en su «mano» (no lengua) nativa. Ha sido precisamente esta transición del órgano lengua al apéndice mano lo que ha permitido al hombre recobrar la facultad —que según Josefo perdió en el instante en que fue expulsado del paraíso— de comunicar con los animales.

Además del Ameslan, los chimpancés y otros primates que nada tienen que ver con el hombre, aprenden diversidad

de lenguajes gestuales. Por ejemplo, en el Centro Regional de Investigación de Primates de Yerkes, en Atlanta (Georgia), aprenden un lenguaje específico de computador llamado *Yerkish* (por los investigadores, no por los chimpancés). El computador registra todas las conversaciones de sus alumnos, incluso durante la noche, cuando no están presentes los cuidadores. Gracias a él sabemos que los chimpancés prefieren el jazz al rock y las películas de chimpancés a los filmes en que interviene el hombre. Al llegar el mes de enero de 1976, Lana había visionado una cinta titulada *The developmental anatomy of the chimpanzee* nada menos que 245 veces. No cabe duda de que vería con agrado una mayor variedad en el fondo de material fílmico en el archivo.

En la fotografía de la página siguiente vemos a Lana solicitando al computador mediante las correspondientes señas que se le suministre un plátano. También se muestra gráficamente la sintaxis necesaria para que el animal pueda obtener del computador agua, zumo de frutas, chocolate líquido, la audición de música, el visio-Hado de una película o la apertura de una ventana. (La máquina satisface muchas de las necesidades de Lana, pero no todas. De aquí que en ocasiones, en mitad de la noche, la hembra se lamenta con desconsuelo: «Máquina, por favor, hazle cosquillas a Lana».) Posteriormente se han planteado al chimpancé peticiones y comentarios más complicados, cada uno de los cuales requiere el empleo creativo de una determinada forma gramatical.

Lana en su computador. El simio debe tirar de la barra situada sobre su cabeza, adosada al mismo techo, para activar la consola. Cerca de la base del tablero de mando hay unos distribuidores automáticos de zumo de frutas, agua, plátanos y confites de chocolate.

Lana controla las frases que elabora frente al panel del computador y borra aquellas que contienen errores gramaticales. Una vez, mientras Lana se afanaba en la construcción de una frase compleja, su entrenador interpoló repetida e intencionadamente desde la consola del computador en que se hallaba, separada de la de Lana, una palabra que desposeía de todo sentido la frase del chimpancé. Lana fijó la mirada en su panel, miró de soslayo al cuidador sentado ante su consola y compuso otra frase que decía: «Tim, por favor, sal de la habitación». De la misma manera que Washoe y Lucy puede decirse que saben hablar, cabe afirmar que Lana sabe redactar.

En la etapa primeriza durante la cual Washoe aprendía a desarrollar sus facultades verbales, Jacob Bronowski y un colega suyo dieron a conocer un trabajo científico en el que se quitaba todo valor al lenguaje por señas y ademanes que utilizaba el citado chimpancé. Bronowski, que no tenía en su poder más que escasos datos, alegaba para ello que Washoe no intercalaba ni negaba las propuestas que se le hacían. Sin embargo, investigaciones posteriores demostraron que tanto Washoe como otros chimpancés eran perfectamente capaces de formular preguntas y de rebatir aseveraciones. Resulta difícil apreciar una diferencia cualitativa de consideración entre el uso del lenguaje gestual por parte de los chimpancés y el empleo del habla ordinaria por los niños de un modo que inequívocamente atribuimos a la inteligencia. Leyendo el trabajo de Bronowski tengo la ligera impresión de que hay en él un poco de chovinismo humano, una reminiscencia de la afirmación de Locke de que «las bestias no pueden formular abstracciones». En 1949, el antropólogo norteamericano Leslie White declaró categóricamente: «El comportamiento humano es un comportamiento simbólico; y el comportamiento simbólico es un comportamiento humano». ¿Qué hubiese pensado White de haber conocido los casos de Washoe, Lucy y Lana?

Estas observaciones acerca del lenguaje y el nivel de inteligencia de los chimpancés tienen una intrigante incidencia en los argumentos «rubicón» antes mencionados, a saber, la aserción de que la masa total del cerebro, o como mínimo la razón entre las masas cerebral y corporal, es un índice válido del nivel intelectual. En contra de esta tesis se había dicho que los niveles inferiores de la masa cerebral de los individuos microcefálicos concuerdan con el Umite superior de masa cerebral en los gorilas y chimpancés adultos, con la ventaja de que los primeros poseen, aunque muy mercedas, facultades de expresión oral, mientras que los simios carean de ellas. Sin embargo conviene tener presente que los individuos microcefálicos sólo pueden expresarse oralmente en contadísimos casos. Una de las mejores descripciones que se han hecho sobre este género de individuos fue la que escribió en 1893 el médico ruso S. Korsakov, que estudió el caso de una mujer llamada Masha con un cerebro de dichas características. Masha solamente podía comprender algunas preguntas y obedecer unas cuantas órdenes, y muy contadas veces era capaz de evocar episodios de su infancia. A veces hablaba por los codos, pero casi todo lo que decía eran incoherencias. Refiriéndose a su capacidad de expresión oral, Korsakov señaló que su habla se caracterizaba por «una extrema pobreza de asociaciones lógicas». Para dar una idea de la cortedad de su intelecto, mal adaptado y semejante al de un autómatas, Korsakov refirió los hábitos de Masha en relación a la ingestión de alimentos. Cuando se le ponía comida en la mesa, la mujer la tomaba, pero si le era retirada súbitamente, se comportaba como si hubiese concluido el ágape, daba las gracias a los encargados de servirla y se persignaba. Si volvían a depositar los alimentos en la mesa, comía de nuevo y, al parecer, el juego se prolongaba indefinidamente. Por mi parte estoy convencido de que Lucy o Washoe hubieran sido unos compañeros de mesa mucho más interesantes que Masha y que la comparación de un individuo microcefálico de la especie humana con un simio corriente no es incompatible con la existencia de un cierto rubicón o linde de la inteligencia. Ni que decir tiene que en cuanto a los tipos de inteligencia que podemos identificar sin dificultades, tanto la calidad como la cantidad de las conexiones neurales revisten una importancia probablemente capital.

James Dewson, de la Facultad de Medicina de la Universidad de Stanford, y sus colegas han llevado a cabo últimamente una serie de experimentos que fundamentan en el plano fisiológico la idea de que los centros del lenguaje en los simios se hallan localizados en el neocórtex, sobre todo, como sucede con el hombre, en el hemisferio izquierdo.

Los simios fueron instruidos para que pulsaran una luz verde cuando oían un zumbido y una luz roja si se trataba de una nota. A los pocos segundos de que se escuchase un sonido, la luz verde o la roja aparecían en algún punto imprevisible —distinto en cada ocasión— del panel de mando. El simio pulsaba la luz pertinente y si su respuesta era correcta se le recompensaba con una pelotilla alimenticia. Más tarde, se aumentó a veinte segundos el intervalo entre la audición del sonido y el encendido de la luz correspondiente. A la sazón, para obtener la recompensa era preciso que los monos recordasen por espacio de veinte segundos el ruido que había llegado a sus oídos. Acto seguido, el equipo del doctor Dewson extirpó quirúrgicamente parte de la llamada corteza de asociación auditiva del hemisferio izquierdo del neocórtex, en el lóbulo temporal, y sometidos de nuevo a experimentación, los simios apenas recordaban el sonido que ahora se les hacía oír. En efecto, en menos de un segundo olvidaban si se trataba de un zumbido o de una inflexión de la voz. En cambio, la extirpación de una parte equivalente del lóbulo temporal del hemisferio derecho no tenía incidencia alguna en la capacidad de rememoración a que estamos aludiendo. Al parecer, Dewson comentó: «Da la impresión de que esta porción extirpada del cerebro de los monos corresponde a los centros del habla en el hombre». Investigaciones similares llevadas a cabo con los *Rhesus*, pero utilizando estímulos visuales en vez de auditivos, parecen demostrar que no existen indicios de que haya diferencia entre los hemisferios del neocórtex. Debido a la creencia generalizada (al menos entre los guardianes de los zoológicos) de que los chimpancés adultos son demasiado peligrosos para residir en un hogar o medio similar tras alcanzar la pubertad, Washoe y otros chimpancés que habían llegado a un notable dominio del lenguaje fueron retirados de las casas en que se encontraban sin que ellos lo solicitaran. He aquí la razón de que no tengamos datos consistentes sobre las facultades de expresión de los monos y simios adultos. Una de las cuestiones más interesantes sería saber si una hembra de chimpancé dotada de aptitudes para la expresión verbal podría transmitir las a su descendencia. Parece muy probable que así sea, y que una comunidad de chimpancés inicialmente facultada en el terreno del lenguaje por señas esté en condiciones de transmitir el lenguaje gestual a otras generaciones.

En el supuesto de que esta comunicación sea esencial para la supervivencia de la especie, existen ya algunos indicios de que los simios transmiten información extragenética o cultural. Jane Goodall tuvo ocasión de comprobar que las crías de chimpancé nacidas en la selva emulan el comportamiento de sus madres y aprenden la tarea no exenta de complejidad de encontrar una ramita o brizna apropiada para hurgar en el interior de los nidos de termitas y procurarse un bocado que consideran de lo más apetitoso.

Se han observado diferencias en la conducta de grupo —que nos sentimos fuertemente tentados a llamar diferencias culturales— entre chimpancés, babuinos, macacos y muchos otros primates. Así, por ejemplo, puede ocurrir que un grupo de monos sepa cómo comer los huevos que depositan las aves, en tanto que un grupo o comunidad que habita en las proximidades desconoce la manera de hacerlo. Este género de primates tiene un repertorio de unas cuantas docenas de sonidos o gritos que facilitan la comunicación entre los miembros del grupo. Así, uno de ellos tiene a buen seguro el significado de: «Huid, que viene un depredador». Pero el timbre y tono de los sonidos puede variar de un grupo a otro; existen, por decirlo de algún modo, acentos regionales.

Pero el experimento más curioso fue el que por vía accidental llevaron a cabo un grupo de científicos japoneses especialistas en el estudio de los primates que trataban de solucionar el exceso demográfico y el problema del hambre en una comunidad de macacos de una isla situada al sur del Japón. Los antropólogos en cuestión arrojaron granos de trigo en una playa arenosa. Piense el lector en lo difícil que resulta separar uno por uno los granos de cereal de los granos de arena, hasta el punto de que la tentativa podría requerir un consumo de energía mayor de la que podría procurar comer el trigo así esparcido. Sin embargo, una talentosa macaco hembra llamada Imo, bien por casualidad bien por despecho, arrojó puñados de arena y trigo mezclados al mar. Ahora bien, la arena se hunde mientras que el cereal flota, circunstancia de la que Imo se apercibió plenamente. Con tan singular proceso de cribado logró dar satisfacción a su estómago aunque, eso sí, a base de comer trigo reblandecido por el agua. Los macacos de más edad siguieron hurgando por su cuenta, ignorando el hallazgo del macaco hembra, pero los especímenes más jóvenes parecieron comprender la gran importancia del descubrimiento y siguieron el ejemplo de Imo. A la siguiente generación, la práctica se hallaba ya más extendida, y en la actualidad, los macacos que pueblan la isla utilizan este método de cerner el cereal, constituyendo con ello un ejemplo de tradición cultural entre los monos.

Una serie de investigaciones realizadas tiempo antes en el Taka-sakiyama, una montaña del sector noreste de Kyushu habitada por macacos, arrojaron una muestra similar de progreso cultural. Los visitantes arrojaban a los monos caramelos envueltos en papel, costumbre muy extendida en los zoológicos japoneses, pero que los macacos del monte Takasakiyama desconocían. En el curso del pasatiempo, algunos monos jóvenes aprendieron a desenvolver los caramelos y a comerlos, costumbre que fue transmitida sucesivamente a sus compañeros de juego, a las madres, a los machos dominantes (que en las comunidades de macacos hacen las veces de «niñeras» de las crías) y, por último, a los monos jerárquica mente inferiores, que son los que socialmente se hallan más distantes de las crías. El proceso de culturalización requirió más de tres años, y es que en las comunidades naturales de primates, las formas de comunicación no verbal en uso son tan variadas que apenas existe incentivo para elaborar un lenguaje gestual más perfeccionado. Con todo, si el chimpancé necesitara de él para sobrevivir, no cabe duda alguna de que sería transmitido de generación en generación.

En el supuesto de que los chimpancés incapaces de comunicarse tuvieran que morir o no pudiesen reproducirse, estoy convencido de que asistiríamos a un progreso y a una elaboración notables, en lo que al lenguaje se refiere, en el lapso de sólo unas pocas generaciones. El inglés básico se compone de unos mil vocablos. Muchos chimpancés dominan un repertorio lexicográfico que pasa del 10 por 100 de esta cifra. Aun cuando hace unos cuantos años habría

parecido un tema de ciencia-ficción sin conexión alguna con sucesos reales, no considero improbable que a la vuelta de unas pocas generaciones de chimpancés en posesión de este acervo lingüístico se den a conocer las memorias de la historia natural y la vida mental de un chimpancé publicadas en inglés o en japonés, quizás con la mención «según el testimonio de» a renglón seguido del nombre del autor.

Si los chimpancés son criaturas que tienen conciencia de sus actos, capaces de realizar abstracciones, ¿por qué no poseen lo que hasta hoy se ha dado en llamar un estatuto de los «derechos humanos»? ¿Qué grado de inteligencia ha de alcanzar un chimpancé para que su muerte se catalogue jurídicamente como un asesinato? ¿Qué otros rasgos debe incorporar para que los misioneros religiosos le consideren apto para ser objeto de catequización?

No hace mucho, el director de un importante centro de investigación sobre primates me mostró las dependencias del recinto. Enfilamos un corredor larguísimo en el que, al modo de un dibujo en perspectiva, veíanse alineadas una tras otra, hasta donde alcanzaba la vista, múltiples jaulas de chimpancés. Había uno, dos, y hasta tres en cada compartimento, y no me cabe la menor duda de que las instalaciones eran modélicas atendiendo a lo que son estos centros, (o, en relación con el caso propuesto, los clásicos zoológicos). Nos acercábamos a la primera de la serie de jaulas cuando los dos simios que la ocupaban empezaron a enseñar los dientes y con una puntería increíble lanzaban grandes escupitajos que alcanzaron de lleno el liviano traje de verano que vestía el director del centro. A continuación prorrumpieron en chillidos entrecortados que resonaron hasta el otro extremo del pasillo y que fueron repetidos y amplificados por otros animales enjaulados que ni siquiera nos habían visto, hasta que el estrecho pasadizo trepidó literalmente con los gritos, golpeteo de barrotes y sacudidas de las jaulas. El director me dijo que en esas ocasiones los chimpancés suelen arrojar otras cosas además de escupitajos y a instancias suyas emprendimos inmediatamente la retirada.

El suceso me trajo en seguida a la memoria las películas norteamericanas de los años treinta y cuarenta cuya acción discurría en una vasta y deshumanizada penitenciaría estatal o federal, donde los reclusos golpeaban los barrotes de las celdas con las marmitas cuando aparecía el guardián que desempeñaba el papel de sujeto sin entrañas. Los chimpancés en cuestión gozaban de excelente salud y estaban bien alimentados. Si son «solamente» animales, bestias incapaces de razonar en abstracto, entonces puede que mi comparación no sea más que un acceso de simpleza y sentimentalismo vacío. Pero lo cierto es que los chimpancés *pueden* abstraer y, al igual que otros mamíferos, son capaces de experimentar emociones intensas. Es indiscutible que no han cometido delito alguno. No presumo de tener la respuesta, pero estimo sinceramente que vale la pena plantear la cuestión y preguntar por qué en prácticamente todas las ciudades importantes del mundo se mete a los simios entre rejas.

A la luz de nuestros actuales conocimientos, el apareamiento eventual de un hombre con un chimpancé es perfectamente plausible.

Hasta hace muy poco se consideraba que una sola célula somática ordinaria del hombre contenía cuarenta y ocho cromosomas. Ahora sabemos que el número exacto es cuarenta y seis. En cuanto a los chimpancés, parece que tienen, efectivamente, cuarenta y ocho cromosomas, en cuyo caso sería inviable o raro por todos los conceptos el cruce de un hombre con un chimpancé.

Sin duda el hecho se habrá dado poquísimas veces, por lo menos modernamente. Uno no puede por menos que preguntarse cuál sería el estatuto legal de la prole fruto de una unión de este género. En mi opinión, las facultades cognitivas de los chimpancés nos obligan a interrogarnos sobre los verdaderos límites de la comunidad de seres a quienes debemos especiales consideraciones éticas. Espero, además, que su estudio puede contribuir a ensanchar nuestras perspectivas éticas y hacernos tomar en consideración, por vía descendente, a los grupos taxonómicos que pueblan la Tierra, y en línea ascendente, a los organismos extraterrestres, en el supuesto de que existan.

Resulta difícil calibrar el impacto emocional que supone para un chimpancé el aprendizaje de una lengua. Tal vez la mejor manera de averiguarlo sea analizar la reacción de un ser humano inteligente afectado por graves carencias sensoriales que experimentó en propia carne el hallazgo del lenguaje. Aun cuando Helen Keller, invidente y sordomuda, poseía una percepción, inteligencia y sensibilidad muy superiores a los de cualquier chimpancé, su testimonio conlleva en parte el tono emocional que este notable desarrollo en los modos de expresión de los primates puede producir en el chimpancé, sobre todo en un medio en que la posibilidad de comunicarse determina o refuerza considerablemente la supervivencia.

Un día, la instructora de la señorita Keller se dispuso a salir de paseo con su pupila. He aquí el relato de la paciente:

... me trajo el sombrero, y por ello supe que iba a salir a la cálida luz del sol. Este pensamiento, si es que una sensación muda puede llamarse así, me hizo saltar de alegría.

Bajamos caminando por el sendero que conducía a la caseta del pozo de la casa, atraídas por la fragancia de la madreselva que la cubría. Alguien estaba bombeando agua, y mi instructora me colocó la mano bajo el chorro. Mientras el fresco líquido se derramaba por mi mano, ella me tomó la otra y deletreó allí la palabra *agua*, primero lentamente y después con viveza. Permanecí inmóvil, con centrando la mente en el movimiento de sus dedos. De repente me asaltó como una vaga conciencia de algo olvidado..., la excitación de un pensamiento recobrado, y sin saber muy bien cómo me fue revelado el misterio del lenguaje. Supe entonces que A-G-U-A correspondía al maravilloso frescor que yo sentía resbalar por mi mano. Aquella palabra viva despertó mi alma, le infundió esperanza, la llenó de luz y de alborozo, ¡la liberó! Ciertamente que todavía quedaban obstáculos que salvar, pero eran obstáculos que andando el tiempo podía vencer sin dificultad.

Me alejé del pozo con un deseo enorme de aprender. Ahora todo tenía un nombre, y cada nombre alumbraba

otra idea. De regreso a la casa todos los objetos que palpaba parecían estremecerse llenos de vida. La causa de ello estaba en que ahora lo veía todo con la extraña y súbita visión que me había poseído.

Tal vez el aspecto más sobresaliente de estos tres hermosísimos párrafos sea la sensación que invadió a Helen Keller de que su mente tenía una aptitud latente para asimilar el lenguaje y que lo único que necesitaba era que se le enseñase el camino para acceder a él. Esta idea esencialmente platónica es compatible, como ya hemos visto, con los conocimientos que nos han deparado las lesiones del cerebro acerca de la fisiología del neocórtex, y también con las conclusiones teóricas deducidas por Noam Chomsky, del Instituto Tecnológico de Massachusetts, de la lingüística comparada y de los experimentos de laboratorio sobre procesos de aprendizaje. En el lapso de estos últimos años, se ha puesto de relieve que también el cerebro de los primates está preparado aunque probablemente no en el mismo grado, para este acceso a la expresión de las ideas mediante el lenguaje.

Resulta muy difícil sobrestimar los efectos que puede tener a la larga la enseñanza del lenguaje a los restantes primates. En el *Origen del hombre*, de Charles Darwin, hallamos un pasaje interesantísimo que dice textualmente: «La diferencia entre el intelecto humano y el de los animales superiores, con ser grande, es básicamente de grado y no de especie ... Si pudiera demostrarse que determinadas funciones mentales de orden superior, como la formación de conceptos generales, la capacidad introspectiva, etcétera, son exclusivas del hombre, cosa que me parece muy dudosa, no es improbable que tales facultades se nos mostraran como simple resultado accesorio de otras cualidades intelectuales superiores que, a su vez, son en buena medida consecuencia del uso continuado de una lengua perfecta».

En el relato del Génesis sobre la Torre de Babel hallamos, también, un insólito reconocimiento de los extraordinarios poderes del lenguaje y de la intercomunicación entre los hombres. Recordemos que Dios, en lo que se nos antoja una extraña actitud de defensa inconcebible en un ser omnipotente, está preocupado ante la perspectiva de que los hombres erijan una torre que llegue hasta el cielo. (Desazón similar a la que expresa después de que Adán haya comido la manzana del árbol prohibido.) Para impedir —en sentido metafórico— que el hombre llegue al cielo, Dios no opta por destruir la torre, como hiciera, pongamos por caso, con la ciudad de Sodoma, sino que dice: «¡Mirad! Forman una sola comunidad puesto que usan una misma lengua; y esto es sólo el principio de lo que pretenden hacer. Nada les impedirá llevar a cabo cuanto se propongan. Venid, descendamos pues y confundamos su lengua, de modo que no se entiendan unos a otros» (Génesis: 11,6-7).

El uso continuado de una lengua «perfecta»... ¿Qué forma de cultura, qué clase de tradición oral podrían establecer los chimpancés tras centenares o millares de años de uso comuna! de un complejo lenguaje gestual? Y en el supuesto de que existiese esta comunidad aislada e ininterrumpida de chimpancés, ¿cómo interpretarían el origen del lenguaje? ¿Acaso los Gardner y los investigadores del Centro de Primates de Yerkes serían oscuramente recordados como legendarios héroes populares o dioses de otra especie? ¿Existirían mitos, como los de Prometeo, Thot u Oannes, sobre unas criaturas divinas que otorgaron a los simios el don de la lengua? A decir verdad, la instrucción de los chimpancés en el plano del lenguaje gestual posee claramente las mismas connotaciones emotivas y sentido religioso que la secuencia (totalmente ficticia) de la película y de la novela *2001, una Odisea del espacio*, en la que el representante de una avanzada civilización extraterrestre instruye en cierta manera a nuestros antecesores homínidos.

Pero quizá el aspecto más singular de la cuestión sea el hecho de que, aparte del hombre, haya primates tan próximos al entorno del lenguaje, tan afanosos por aprender, tan asombrosamente facultados en lo que toca a su empleo y tan imaginativos una vez han aprendido a expresarse. Sin embargo, esta apreciación suscita una interesante pregunta: ¿Por qué están en el entorno, en la periferia del lenguaje? ¿Por qué no encontramos primates, dejando de lado al hombre, que estén ya en posesión de un perfeccionado lenguaje gestual? En mi opinión, una posible respuesta sería la de que el hombre ha exterminado de manera sistemática a los demás primates que mostraban signos de inteligencia. (Hipótesis especialmente aplicable al caso de los primates que habitaban en el llano porque es de suponer que la selva ofrecería a gorilas y chimpancés relativa protección contra las depredaciones del hombre.) Es posible que hayamos actuado como instrumento de la selección natural suprimiendo toda competencia en el plano intelectual y que hayamos hecho retroceder los límites de la inteligencia y las facultades lingüísticas entre los primates distintos del hombre hasta el punto de que parezcan inexistentes. En consecuencia, enseñar a los chimpancés a expresarse por gestos equivale a intentar poner tardío remedio a los atropellos cometidos por nuestra especie.

Relatos del oscuro paraíso

Viejísimos somos los hombres, nuestros sueños son relatos narrados en un Edén de mortecina luz.

WALTER DE LA MARE, «All That's Past»

—¡Vaya! —exclamó, al tiempo que avanzaba buscando la sombra de los árboles—. A fin de cuentas es un gran alivio con tanto calor como hace poder refugiarse en el..., en el... ¿En *quel* —prosiguió, un tanto aturrida al no venirle a la mente la palabra justa—. Quiero decir eso de poder refugiarse bajo el... bajo el, ¡bajo *esto*, córcholis! —y puso la mano sobre el tronco de un árbol—. Me gustaría saber cómo *se llama*. Pero, vamos a ver, ¿quién soy yo? *Tengo* que acordarme, ¡pues no faltaría más! ¡Estoy resuelta a que así sea! —Pero estar decidida no le sirvió de gran cosa y después de mucho darle vueltas sólo acertó a decir: —¡Una ele, *se* que empieza por ele!

LEWIS CARROLL,
Alicia a través del espejo

No te interpongas entre el dragón y su furia.

W. SHAKESPEARE, *El rey Lear*

... Primeramente, siendo irracionales como las bestias, di a los hombres juicio, les proveí de una mente ...
En un principio, teniendo ojos, veían defectuosamente y pudiendo oír, no prestaban oído, sino que se agolpaban como fantasmas en sueños, al indeciso relato de su pasado confuso.

ESQUILO, *Prometeo encadenado*

Prometeo está poseído de justa indignación. Después de haber llevado la civilización a una humanidad confusa y llena de supersticiones, Zeus le castiga encadenándole a una roca y haciendo que un águila le coma las entrañas. En el pasaje que sigue a la cita que encabeza esta página, Prometeo menciona las principales cosas que, a parte del fuego, ha enseñado al hombre. Son, por ese orden, la astronomía; las matemáticas; la escritura; la domesticación de animales; la invención de los carros, la navegación y la medicina, así como las artes adivinatorias mediante la interpretación de los sueños y otros métodos. Esta última enseñanza suena un tanto extraña a los oídos del hombre moderno. Junto con el relato del Génesis sobre la expulsión del paraíso, *Prometeo encadenado* parece erigirse en una de las obras capitales de la literatura de Occidente que contiene una alegoría plausible acerca de la evolución del hombre, si bien en lo que a este aspecto se refiere, se concentra más en el inspirador de la evolución que en el ser evolucionado. En griego Prometeo significa «previsión», cualidad que algunos piensan se halla localizada en los lóbulos frontales del neocórtex. Tanto la presciencia como la ansiedad están presentes en el retrato del personaje de Esquilo.

¿Qué conexión existe entre los sueños y la evolución del hombre? Esquilo quizá está diciendo que nuestros antepasados prehumanos vivían durante el día en un estado similar al de nuestro sueño nocturno y que una de las ventajas principales que comporta la expansión del intelecto humano es la facultad que nos confiere de interpretar la verdadera naturaleza e importancia de los sueños.

A lo que parece el ser humano conoce tres estados mentales de importancia: el estado de vigilia, de descanso y de ensoñación.

Durante cada uno de estos tres estados, el electroencefalógrafo, aparato que detecta las ondas cerebrales, registra cuadros de actividad eléctrica muy diferentes. Las ondas cerebrales representan pequeñísimas corrientes y voltajes producidos por el sistema de circuitos eléctricos del cerebro. La potencia media de las señales que emiten las ondas cerebrales se mide en microvoltios. Las frecuencias normales oscilan entre 1 y alrededor de 20 hertzios (o ciclos por segundo), es decir, son inferiores a la frecuencia normal de 60 ciclos por segundo que poseen las corrientes alternas de las tomas de enchufe en Norteamérica.

El electroencefalógrafo se debe a la inventiva del psicólogo alemán Hans Berger, quien al parecer trabajó en ello movido por su interés hacia los fenómenos telepáticos. El cerebro del ser humano emite determinadas ondas —por ejemplo, el ritmo alfa— que genera o suprime a voluntad, aunque para ello precisa un poco de entrenamiento. Una vez adiestrado, un sujeto conectado a un electroencefalógrafo y a un transmisor de radio podría, en principio, enviar mensajes bastante complejos en una especie de código Morse de las ondas alfa. Le bastaría simplemente con evocarlos mentalmente en debida forma. Podría ser que dicho método de transmisión tuviera aplicaciones prácticas, como, por ejemplo, la de permitir comunicarse con un paciente inmovilizado por una grave apoplejía. Por razones de tipo histórico, el sueño carente de ensoñaciones se caracteriza, desde el punto de vista del electro, como «sueño de onda lenta», y el estado de ensoñación como «sueño paradjico».

Pero veamos qué beneficios se derivan del sueño. Es indudable que si permanecemos en pie, despiertos, más tiempo de la cuenta, el cuerpo genera sustancias neuroquímicas que nos fuerzan al descanso. Los animales a los que no se permite dormir generan estas moléculas en su fluido cerebroespinal, fluido que al ser inyectado en otros animales completamente despiertos provoca somnolencia de inmediato. Así pues, forzosamente tiene que haber una poderosísima razón que justifique el sueño.

La respuesta convencional tanto de la fisiología como de la curandería, es que el sueño tiene un efecto reparador y que es una oportunidad que se concede al organismo para hacer limpieza física y mental sin los agobios de la vida cotidiana. Sin embargo, aparte de la aparente credibilidad que dimana del sentido común, las pruebas a favor de esta teoría son escasas. Además, hay en este aserto algunos aspectos contradictorios. Por ejemplo, mientras duerme, un animal es excepcionalmente vulnerable. Aceptemos que son muchos los animales que descansan en nidos, cuevas, oquedades en los troncos de árboles o cualesquiera otros recónditos y encubiertos escondrijos, pero aun así siguen estando en gran medida impotentes mientras duermen. Es evidéntísimo que por la noche somos muy vulnerables. Los griegos reconocieron a Morfeo y a Tanatos, dioses del sueño y de la muerte, como hermanos.

A menos que exista una manifiesta necesidad biológica del sueño, la selección natural habría cuidado de que aparecieran especies animales no necesitadas del reposo nocturno. En tanto que algunos animales como el perezoso de dos pies, el armadillo, la zarigüeya y el murciélago duermen diecinueve y veinte horas diarias, por lo menos en los periodos estacionales de torpor e hibernación, otros, como la musaraña común y la marsopa, duermen muy poco. También hay seres humanos que necesitan no más de tres o cuatro horas diarias de sueño. Trabajan en dos y tres empleos, por la noche se pasean o entretienen en fruslerías mientras la esposa duerme rendida de cansancio, y fuera de eso llevan una vida normal, activa y constructiva. Los antecedentes familiares indican que se trata de rasgos o disposiciones hereditarios. Sé de un caso en que el padre de familia y su hijita experimentaban el beneficio o contratiempo, según se mire, de la ausencia de sueño, con gran irritación por parte de la esposa, que ha terminado por divorciarse alegando lo que sin duda constituye una original incompatibilidad. A él le fue encomendada la custodia de la niña. Los ejemplos de este género vienen a demostrar que la hipótesis de la función regeneradora del sueño no es, en el mejor de los casos, suficientemente explicativa.

Y, sin embargo, el descanso a través del sueño se remonta a un pasado lejano. Contemplándolo desde el prisma electroencefalográfico, es patrimonio de todos los primates y de casi todos los demás mamíferos y aves; hasta puede que afecte a los reptiles. En determinados individuos, la estimulación eléctrica espontánea de la amígdala con frecuencia de pocos ciclos por segundo (equivalentes a un reducido número de hertzios) puede provocar epilepsia del lóbulo temporal y un estado de comportamiento automático inconsciente. Se han divulgado casos de ataques, no muy distintos del sueño, mientras un individuo epiléptico conducía su automóvil de madrugada o a la hora crepuscular y entre el conductor y el sol se interponía una cerca o vallado de estacas puntiagudas.

Gráficas características del electroencefalograma de un individuo normal en esta do de vigilia, dormido y soñando.

En efecto, a determinada velocidad, las estacas interceptan los rayos solares justo en la proporción crítica generadora de una oscilación luminosa en frecuencia resonante que desencadena dichos accesos. Se sabe positivamente que el ritmo circadiano —modificaciones rítmicas en las funciones fisiológicas que se producen con una periodicidad de veinticuatro horas— afecta incluso a especies tan insignificantes como los moluscos. Dado que, como veremos, mediante estimulación eléctrica de otras regiones límbicas en la base del lóbulo temporal, es posible inducir un estado que en algunos aspectos se asemeja al de ensoñación, parece obligado deducir que los centros que regulan el descanso nocturno y los sueños no pueden hallarse en puntos muy distantes de los recovecos cerebrales.

Últimamente se han obtenido indicios de que las dos clases de reposo nocturno, o sea, con sueños o sin ellos, dependen de la forma de vida propia de cada especie. Truett Allison y Domenic Cicchetti, de la Universidad de Yale, han señalado que desde un punto de vista estadístico es mucho más probable que sueñen los depredadores que no sus víctimas, las cuales tienen, a la inversa, muchas más probabilidades de dormir sin experimentar sueño alguno. Estos estudios se centran exclusivamente en los mamíferos y sólo son válidos cuando se trata de poner de manifiesto las diferencias entre especies, no entre individuos de una misma especie. El animal que duerme y sueña está poderosamente inmovilizado y, detalle significativo, no responde a los estímulos externos. El reposo sin sueños es mucho menos profundo; todos hemos podido comprobar cómo los gatos y perros enderezan las orejas y aguzan el oído al captar un ruido, cuando en apariencia están profundamente dormidos. Otra convicción generalizada es la de que si un perro dormido contrae las patas como si estuviera corriendo, está soñando en una cacería. El hecho de que hoy en día

las presas no lleguen a dormir con sueño profundo parece atribuible a la selección natural. Sin embargo, nada impide que organismos hoy constreñidos en buena parte a jugar el papel de presa tuvieran antepasados depredadores, y a la inversa. Además, por regla general los depredadores presentan una mayor masa cerebral, en términos absolutos, y una mayor razón de proporcionalidad entre dicha masa y su peso corporal que la que ofrecen sus presas. Habida cuenta de las incidencias evolutivas que ha experimentado el sueño, actualmente aceptamos sin vacilaciones la idea de que los animales inferiores duermen menos profundamente y están por ello más libres de movimientos que los de orden superior. Pero ¿por qué este sueño tan profundo? ¿Qué motivó la aparición de ese estado de profunda inmovilización?

Tal vez un indicio revelador de la función que primitivamente desempeñaba el sueño radica en el hecho de que los delfines y las ballenas, así como los mamíferos acuáticos en general, parece que duermen muy poco. Generalizando, cabe decir que en el océano no hay lugar donde esconderse. En tal caso, ¿no podría ser que el sueño, en vez de aumentar la vulnerabilidad del animal, la redujese? Wilse Webb, de la Universidad de Florida, y Ray Meddis, de la Universidad de Londres, así lo han afirmado. Las pautas que exhibe cada especie animal en lo que al sueño se refiere se acoplan maravillosamente al medio ecológico en el que se desenvuelve su vida. Así pues, resulta concebible que los animales demasiado obtusos para permanecer quietos por propia iniciativa se vean inmovilizados por el sueño durante los periodos en que les acechan graves riesgos. Esta consideración nos parece especialmente aplicable a las crías de los depredadores. Así, los cachorros de tigre, además de tener una coloración que los protege con suma eficacia, duermen también muchísimo.

Un nido con huevos de *Protoceratops*, del periodo cretáceo, hallado en la República Popular de Mongolia.

La idea ofrece interés y seguramente hay en ella parte de verdad, si bien no lo explica todo. ¿Qué necesidad tienen los leones de dormir si apenas cuentan con enemigos naturales? La pregunta no encierra una objeción demoledora, pues quizá los leones evolucionaran a partir de otras especies que no tenían el mismo papel dominante que hoy les corresponde. Asimismo, los gorilas adolescentes, que tampoco tienen gran cosa que temer, se construyen todas las noches un cobijo en los árboles, tal vez porque sus antecesores eran más vulnerables. También entra en lo posible que los ascendientes de leones y gorilas temieran las acechanzas de depredadores más feroces que ellos mismos.

La hipótesis de la inmovilización parece singularmente válida cuando se toma en cuenta la evolución de los mamíferos, que aparecieron en un periodo en el que prevalecían sibilantes, descomunales y terroríficos reptiles. Sin embargo, casi todos los reptiles son animales de sangre fría y, salvo en los trópicos, al caer la noche se ven constreñidos a una absoluta inmovilidad.

Robert Bakker, paleontólogo de la Universidad de Harvard, sugiere que por lo menos algunos dinosaurios eran notoriamente animales de sangre caliente. Aun así, es muy probable que no fueran tan insensibles como los mamíferos al cambio de la temperatura diurna y que por la noche redujeran sustancialmente el ritmo de actividad.

En cambio, los mamíferos, por ser de sangre caliente, se desenvuelven bien en la oscuridad nocturna. Es muy posible que durante el periodo triásico, hará cosa de doscientos millones de años, las oscuras zonas ecológicas no tropicales estuviesen prácticamente desocupadas. Harry Jerison ha manifestado que con la aparición de los mamíferos, el oído y el olfato —sentidos que permiten adivinar distancias y objetos durante la noche— se potenciaron hasta extremos que entonces parecían inauditos y que hoy se nos antojan normales. Por otra parte, Jerison considera que el sistema límbico fue fruto de la necesidad de procesar el rico acopio de datos suministrado por estos sentidos notablemente perfeccionados. (Buena parte del tratamiento de la información visual de los reptiles opera en la retina, no en el cerebro; el mecanismo de procesamiento óptico del neocórtex fue en gran parte un fenómeno evolutivo posterior.)

Es posible que los primeros mamíferos tuvieran vital necesidad de permanecer alejados y ocultos durante el día, mientras los reptiles depredadores campaban a su antojo. Con ello trato de evocar una escena de la última etapa del mesozoico en el que los mamíferos dormían a intervalos durante el día y los reptiles hacían lo propio durante la noche, momento en que hasta los más inermes protomamíferos carnívoros podían suponer una amenaza real para los adormilados reptiles de sangre fría, y muy en especial para sus nidadas.

A juzgar por el volumen endocraneal (véase la figura de la página 44), los dinosaurios eran, comparados con los mamíferos, singularmente lerdos. Para tomar algunos ejemplos «bien conocidos» digamos que el *Tyrannosaurus rex* poseía un volumen cerebral de unos 200 cm³; el *Brachiosaurus*, 150 cm³; el *Triceratops*, 70 cm³; el *Diplodocus*, 50 cm³, y el *Stegosaurus*, 30 cm³. Ninguno de ellos se aproximaba a la masa cerebral absoluta del chimpancé. El *Stegosaurus* que pesaba dos toneladas, era probablemente mucho más obtuso que un conejo. Cuando uno piensa en el formidable peso de los dinosaurios, aún sorprende más la pequeñez de su cerebro. El *Tyrannosaurus* pesaba 8 toneladas; el *Diplodocus*, 12, y el *Brachiosaurus* 87. En este último, la proporción masa cerebral/peso del cuerpo era diez mil veces más pequeña que la del hombre. De la misma forma que los tiburones son los peces dotados de un cerebro más grande en relación con el peso del cuerpo, los dinosaurios carnívoros como el *Tyrannosaurus* tenían un cerebro proporcionalmente más grande que otros de tipo herbívoro, como el *Diplodocus* y el *Brachiosaurus*. No me cabe duda de que el *Tyrannosaurus* era una eficiente y terrorífica máquina de matar. Sin embargo, y a pesar de su pavorosa apariencia, los dinosaurios se nos antojan vulnerables ante adversarios pertinaces e inteligentes como los

primeros mamíferos.

Crías de *Protoceratops* saliendo del cascarón (reconstrucción).

La escena mesozoica que antes nos representábamos tiene curiosas resonancias de vampirismo: durante el día eran los reptiles carnívoros los que cazaban a los inteligentes y alertargados mamíferos, mientras que por la noche eran los mamíferos carnívoros los que hacían presa en los torpes y obtusos reptiles. Si bien éstos enterraban los huevos que depositaban sus hembras, no es probable que asumieran la defensa activa de las nidadas ni de las crías. Existen pocos ejemplos de este comportamiento, incluso entre los reptiles de nuestros días, por lo que resulta difícil imaginarse a un *Tyrannosaurus rex* incubando sus huevos.

Dibujo de un *Sauromithoides*, pequeño e inteligente dinosaurio, en el momento de atrapar a un mamífero. Se han encontrado vestigios de estos animales en Canadá y en la República Popular de Mongolia pertenecientes al periodo cretáceo.

Todo ello nos induce a suponer que los mamíferos ganaron la vital contienda de los vampiros; al menos algunos paleontólogos creen que la extinción de los dinosaurios se aceleró debido a las predaciones nocturnas de los primeros mamíferos en las que engullían los huevos de los reptiles. Dos huevos de gallina para desayunar puede ser todo lo que resta —al menos en apariencia— de esta remotísima cocina de los mamíferos.

De hecho, puede afirmarse casi con certeza que las aves son los principales descendientes vivos de los dinosaurios.

Atendiendo al criterio de la proporción entre masa cerebral y masa corpórea, los más inteligentes de los dinosaurios son los *Sauromithoides*, que por regla general poseen una masa cerebral de unos 50 gramos frente a los aproximadamente 50 kilogramos de peso corporal, proporción que los sitúa próximos al avestruz en el diagrama de la página 46. Ciertamente guardan un parecido con esta ave corredora. Sería muy revelador examinar los moldes endocraneales de sus fósiles. Probablemente se alimentaban de pequeños animales y utilizaban los cuatro dedos de sus apéndices, parecidos a las manos, para múltiples tareas. (Véase la ilustración de la página anterior.)

Resulta interesante especular sobre estos animales. En el supuesto de que los dinosaurios no se hubiesen extinguido misteriosamente hace alrededor de sesenta y cinco millones de años, ¿habría el *Sauromithoides* continuado su progreso hacia formas cada vez más inteligentes? ¿Habría aprendido a cazar en grupo a los grandes mamíferos impidiendo con ello la gran proliferación de esta clase animal que siguió al término de la era mesozoica? De no haber sido por la extinción de los dinosaurios, ¿serían las formas hoy dominantes en la Tierra descendientes de los *Sauromithoides*, autores y lectores de libros, entregados a reflexiones acerca del rumbo que habrían tomado las cosas si los mamíferos hubiesen ganado la batalla? ¿Pensarían las formas dominantes que la base aritmética 8 era lo normal y que la base 10 era un ringorrango exclusivo de la «nueva matemática»?

Una porción considerable de lo que consideramos sucesos importantes acaecidos durante las últimas decenas de millones de años de la historia de la Tierra parece estar supeditado a la extinción de los dinosaurios. Puede decirse que se han avanzado docenas de hipótesis científicas para explicar este hecho, que parece haberse producido con inusitada rapidez y eficacia, tanto en lo que respecta a las formas terrestres como a las acuáticas. Las explicaciones propuestas sólo parecen parcialmente satisfactorias, y van desde los cambios climáticos brutales hasta la extinción de una planta que por lo visto tenía propiedades laxantes, en cuyo caso los dinosaurios murieron víctimas de estreñimiento.

Una de las más interesantes y fundamentadas hipótesis, formulada por vez primera por I. S. Shklovskii, del Instituto de Investigación Cósmica de la Academia de Ciencias de Moscú, es la de que los dinosaurios murieron a causa de la explosión de una supernova próxima. El estallido de esta estrella moribunda, situada a unas decenas de años luz, ocasionaría un inmenso flujo de partículas cargadas con alta energía que penetró en nuestra atmósfera, alteró sus propiedades y tal vez destruyó la capa de ozono atmosférico, permitiendo la filtración de cantidades mortíferas de rayos ultravioleta. Es posible que los animales noctámbulos, como los mamíferos de aquella época, o los animales que vivían en el fondo de las aguas, como los peces, sobrevivieran a esta fantástica radiación de ultravioletas de gran potencial energético. Pero los animales que merodeaban a la luz del día y que vivían en la tierra o en la superficie de las aguas, sufrirían más que ningún otro las consecuencias de la dañina filtración. Esta catástrofe recibiría una denominación apropiada: el término en sí pasaría a significar «mala estrella».

Suponiendo que esta concatenación de hechos sea exacta, el flujo principal de la evolución biológica en el planeta Tierra durante los últimos sesenta y cinco millones de años, y, ni que decir tiene, la existencia misma del ser humano, es resultado de la extinción de un distante sol. Tal vez otros planetas giraban en su órbita y quizás uno de ellos conoció una rica eclosión de formas biológicas evolucionadas penosamente a lo largo de miles de millones de años. No cabe duda de que la explosión de la supernova hubiese extinguido todo vestigio de vida en este planeta y hasta, probablemente, diluido su atmósfera en el espacio. ¿Debemos nuestra existencia a una sobrecogedora catástrofe estelar que por otra parte, destruyó mundos y biosferas?

Reconstrucción de un paisaje del cretáceo en una región pantanosa del sector occidental de Canadá. La mayor parte de los dinosaurios representados en la ilustración son bípedos y herbívoros. Por lo que sabemos, todas estas formas se extinguieron al cabo de poco tiempo.

Después de la extinción de los dinosaurios, los mamíferos se desplazaron a zonas ecológicas con predominio de la luz diurna. Seguramente, el miedo que el primate tiene a la oscuridad es un hecho relativamente moderno. Washburn sostiene que las crías de los babuinos y otros primates jóvenes sólo albergan tres temores congénitos: el miedo a las caídas, a las serpientes y a la oscuridad, que corresponden respectivamente a los peligros, que suponían para los moradores de los árboles la gravitación newtoniana, los reptiles, adversarios perpetuos del hombre y, en fin, los mamíferos depredadores nocturnos, que debieron infundir considerable terror a los primates, guiados básicamente por el sentido de la vista. Si la hipótesis vampírica es cierta —y las probabilidades de que lo sea son muchas— la función del sueño está profundamente impresa en el cerebro de los mamíferos. Desde la época en que apareció esta clase de animales, el sueño fue un factor decisivo de cara a la supervivencia. Teniendo en cuenta que para los primeros mamíferos las noches insomnes hubieran entrañado más peligro para la supervivencia de sus grupos taxonómicos que las noches sin relación sexual, es indudable que el sueño constituyó un impulso más fuerte que el sexo, como parece ser el caso, también, en la mayoría de nosotros. Pero con el tiempo los mamíferos evolucionaron hasta el extremo de que el sueño se modificó a tenor de las nuevas circunstancias. Al extinguirse los dinosaurios, la luz diurna se convirtió súbitamente en un medio benévolo para los mamíferos. La inmovilización durante el día dejó de ser compulsiva, y lentamente fueron apareciendo diversidad de comportamientos respecto al sueño, incluida la actual correlación entre la intensa ensoñación de los mamíferos depredadores y el adormilamiento alerta y carente de sueños de las presas. Es posible, incluso, que las personas a las que bastan unas pocas horas de sueño sean los precursores de una nueva adaptación humana destinada a obtener el máximo partido de las veinticuatro horas del día. El autor, sinceramente, confiesa su envidia ante una adaptación de este género.

Estas conjeturas sobre los orígenes de los mamíferos constituyen una especie de mito científico. Quizás haya en ellas un atisbo de verdad, pero es poco probable que ofrezcan una explicación completa. La circunstancia de que los mitos científicos entronquen con mitos más antiguos puede ser o no una simple coincidencia. Es muy posible que seamos capaces de inventar mitos científicos sólo porque anteriormente hemos estado expuestos a la influencia de mitos de la otra especie. Con todo, no resisto a la tentación de relacionar esta versión del origen de los mamíferos con otro curioso aspecto del mito sobre la expulsión del Paraíso contenido en el Génesis. Porque, ni que decir tiene, es precisamente un reptil el que ofrece a Adán y Eva el fruto del conocimiento del bien y del mal, es decir, las funciones abstractas y morales localizadas en el neocórtex.

En la actualidad quedan en la Tierra poquísimas especies de reptiles de gran tamaño. Las más curiosa es el dragón de Komodo, en Indonesia, reptil de sangre fría, no muy inteligente, pero un depredador de estremecedora pertinacia en la consecución de sus objetivos. Con suma paciencia acechará a un ciervo o a un verraco dormidos para, repentinamente, cercenarles un cuarto trasero y dejar que la víctima se desangre hasta morir. Rastrean la presa por el olor. El dragón que sale a la caza de presa avanza pesadamente, con pasitos cortos, la cabeza gacha y la lengua bifida cerca del suelo para detectar la presencia de sustancias químicas.

Varanus komodoensis, el dragón de Komodo (isla de Komodo, Indonesia).

Los adultos más corpulentos pesan unos 135 kilogramos, miden tres metros de largo y posiblemente viven más de cien años. Para proteger sus nidadas el dragón excava fosos de dos a nueve metros de profundidad, lo que probablemente constituye una defensa contra los mamíferos que se nutren de huevos de reptiles y contra ellos mismos, ya que se ha podido comprobar que en ocasiones los adultos acechan una nidada en espera de que las crías salgan del cascarón y poder engullir un apetitoso bocado. Las crías de los dragones moran en los árboles, lo que debe interpretarse como otra clara adaptación defensiva contra las incursiones de los depredadores. La singular meticulosidad de estas adaptaciones demuestra claramente que los dragones pasan por un trance difícil. El habitat del dragón de Komodo se reduce a las selvas de las pequeñas islas Sonda, y no quedan más que unos dos mil especímenes.

En 1891, E. Dubois halló en las islas de la Gran Sonda, y concretamente en Java, el primer fósil de *Homo erectus*, que presentaba un volumen endocraneal de casi 1.000 cm³.

La oscura reconditez de los lugares que habitan indica sin lugar a dudas que los dragones están en vía de extinción debido a la actividad predatoria de los mamíferos, en especial del hombre, conclusión deducida de los avatares que su existencia ha conocido a lo largo de los dos últimos siglos. Todos los especímenes con formas de adaptación menos perfectas o que habitaban en lugares más accesibles se han extinguido, incluso he llegado a preguntarme si la sistemática diferenciación de mamíferos y reptiles (véase la figura de la página 44) atendiendo a la proporción entre masa cerebral y corporal no será una consecuencia de la acción exterminadora de los mamíferos depredadores, que han ido dando muerte a los especímenes de dragones más inteligentes. En todo caso, es muy probable que la nutrida población de grandes reptiles haya venido disminuyendo desde el término de la era mesozoica y que hace tan solo mil o dos mil años había muchos más reptiles de gran tamaño de los que hay en la actualidad.

Seguramente no es un hecho casual que las leyendas populares de muy diversas culturas contengan alusiones míticas a los dragones.

Curiosamente, el primer cráneo representativo del «hombre de Pekín» —el *Homo erectus*, cuyos restos guardan estrecha relación con el uso del fuego— fue descubierto por Weng Chung Pei a finales de 1929 en la provincia china de Sinkiang, en un lugar conocido como la Montaña de los Dragones.

La implacable hostilidad entre el hombre y el dragón, como demuestra la leyenda de san Jorge, es más acentuada en Occidente. (En el capítulo 3 del Génesis, Dios dispone que haya perpetua enemistad entre los reptiles y el hombre.) De todos modos, no se trata de una simple peculiaridad de nuestro hemisferio; antes bien, el fenómeno tiene carácter universal. ¿Es una mera coincidencia que los sonidos onomatopéyicos que el hombre emite para reclamar silencio o llamar la atención tengan extraño parecido con el silbido de los reptiles? ¿Puede pensarse que los dragones llegasen a constituir un gravísimo peligro para nuestros antecesores protohumanos de hace unos cuantos millones de años, y que el terror que suscitaban, junto con las muertes que causaban, impulsaran la evolución del intelecto humano? ¿O debemos considerar, quizá, que la alegoría de la serpiente constituye una referencia a la utilización del componente reptílico agresivo y ritualista de nuestro cerebro en la posterior evolución del neocórtex? Salvo una excepción, el relato del Génesis acerca de la serpiente que tienta al hombre en el jardín del Paraíso es el único caso expuesto en la Biblia en que el ser humano acierta a comprender el lenguaje de los animales. ¿No es posible que el temor a los dragones fuera en realidad temor a una parte de nosotros mismos? Sea como fuere, sin la menor duda en el Paraíso había dragones.

San Jorge dando muerte al dragón, obra de Donatello (iglesia de Or San Michele, Florencia).

El fósil de dinosaurio más moderno se remonta a unos sesenta millones de años. Los antecesores del hombre (no, sin embargo, el género *Homo*) vivieron hace unos diez millones de años. ¿Es con cebible que criaturas antropoides llegaran a coexistir con el *Tyrannosaurus rexi*? ¿Es posible que hubiera dinosaurios que lograran escapar a la muerte a fines del periodo cretáceo? ¿Cabe pensar que los sueños pertinaces y el temor generalizado que sienten los niños hacia los «monstruos» tan pronto son capaces de hablar sean vestigios evolucionistas de respuestas sumamente adaptativas — al estilo de los babuinos— a la amenaza de los dragones y las aves nocturnas?

Después de haber escrito este pasaje descubrí que Darwin había expresado una idea similar. Decía concretamente: «¿No es lícito suponer que los vagos pero no por ello menos reales temores de los niños, que nada tienen que ver con la experiencia, sean resonancias heredadas de peligros reales y toscas supersticiones de la humanidad primitiva? Es bastante congruente con lo que sabemos acerca de la transmisión de rasgos antaño perfectamente desarrollados, que aparezcan en una fase temprana de la vida para luego desaparecer» Como las hendiduras branquiales del embrión humano, añado yo.

La tentación de Adán y Eva por una serpiente antropomorfa y su expulsión del Paraíso, obra de Miguel Ángel (frescos de la Capilla Sixtina).

¿Qué cometido cumplen los sueños en la actualidad? En una reputada publicación científica se expresó el criterio de que la función de los sueños es alertarnos de vez en cuando para comprobar que nadie nos acecha para devorarnos. Pero el caso es que los sueños ocupan una parte tan reducida del sueño normal, que esta explicación no parece muy satisfactoria. Por si fuera poco, hemos visto ya que los indicios apuntan precisamente en dirección contraria, o sea que en nuestros días son los mamíferos predadores y no sus presas los que sueñan con profusión. Consideramos mucho más verosímil la explicación que, basándose en los principios que rigen el funcionamiento de los computadores, estima que los sueños constituyen una «fuga» del procesamiento inconsciente de los sucesos de la jornada, un escape de la decisión que toma el cerebro sobre el número de eventos diarios, temporalmente almacenados en una especie de «memoria intermedia», que han de incorporarse a la memoria duradera. Muchas veces soñamos en cosas acaecidas el día anterior, y con menos frecuencia en los sucesos de dos días antes. De todos modos, no parece que el símil de la «fuga» y de la memoria intermedia baste para explicar satisfactoriamente el proceso, porque no explica en absoluto los tan característicos enmascaramientos del lenguaje simbólico de los sueños, tema que Freud fue el primero en plantear. Tampoco explica la carga emotiva de los sueños. Estoy seguro de que mucha gente se ha sentido infinitamente más atemorizada en sueños que en estado de vigilia.

Las funciones de evacuación y almacenamiento de datos acumulados en la memoria efímera que cumplen los sueños tienen algunas interesantes repercusiones de orden social. El psiquiatra norteamericano Ernest Hartmann, de la Universidad de Tufts, ha proporcionado pruebas un tanto anecdóticas pero razonablemente persuasivas de que los individuos que desarrollan actividades intelectuales durante el día, sobre todo si no están familiarizados con ellas, necesitan dormir más horas por la noche, en tanto que, por regla general, aquellos que realizan actividades básicamente repetitivas y tareas monótonas desde el punto de vista intelectual necesitan menos descanso nocturno. Sin embargo, las sociedades modernas, en parte por razones de orden organizativo, están estructuradas como si todos los hombres tuvieran las mismas necesidades de descanso, y en muchos países se interpreta como prueba de rectitud moral el hecho de levantarse temprano. La cantidad de horas de descanso requeridas para llevar a cabo la evacuación de datos dependería pues de cuánto hayamos reflexionado y experimentado desde el último periodo de sueño. (No existen indicios de que la causalidad opere en orden y dirección contrarios; que sepamos, los individuos que se drogan con

fenobarbital no llevan a cabo actividades intelectuales insólitas durante los periodos de vigilia entre una y otra toma.) A este respecto sería interesante estudiar el caso de los individuos insomnes para determinar si la fracción de tiempo de sueño durante la que padecen ensoñaciones es más dilatada que la de aquellos otros que necesitan dormir un número de horas normal, así como establecer si el tiempo de sueño y de ensoñación aumenta en función de la calidad y cantidad de sus experiencias de aprendizaje en estado de vigilia.

Michel Jouvet, neurólogo francés que profesa en la Universidad de Lyon, ha descubierto que el sueño acompañado de ensoñaciones se genera en el pons, que si bien está ubicado en el cerebro posterior, constituye un aporte evolutivo característico de los mamíferos y acaecido en una fase tardía. Por otra parte, Penfield ha descubierto que la estimulación eléctrica de la parte interna y zona subyacente del lóbulo temporal comprendida en los límites del neocórtex y del complejo límbico, puede llegar a producir en los epilépticos un estado consciente muy similar al de unos sueños despojados de sus aspectos simbólicos y fantásticos. También puede inducir la experiencia *deja vu*. Muchos de los sentimientos que acompañan a los sueños, incluido el temor, pueden ser provocados mediante una estimulación eléctrica de este género.

En cierta ocasión tuve un sueño que desde entonces no ha dejado de atormentarme. Soñé que estaba hojeando distraídamente un voluminoso texto de historia. Juzgando por las ilustraciones puedo asegurar que el libro analizaba con parsimonia y método, como suele ocurrir con este tipo de obras, el decurso de los siglos: época clásica, edad media, renacimiento y demás, acercándose de manera gradual a la era moderna. Pero, casi sin darme cuenta, allí estaba la segunda guerra mundial, a la que se destinaban alrededor de doscientas páginas. Con creciente interés me sumé en el texto hasta tener la completa seguridad de que había ido más allá de la época en que vivía. Era, en fin, un libro de historia que comprendía el futuro, como si al girar la página del calendario cósmico correspondiente al 31 de diciembre me encontrara ante una crónica detallada de los sucesos acaecidos el 1 de enero. Conteniendo la respiración traté —así literalmente— de leer el futuro. Pero todo fue en vano, pues sólo conseguía descifrar términos aislados. Ciertamente es, pude discernir trozos o letras sueltas, pero sin conseguir jamás aglutinarlas en palabras ni las palabras en frases. Sufría de alexia.

Tal vez se trate de una simple metáfora sobre la imprevisibilidad del futuro, pero siempre que retorna el sueño, invariablemente, siento que soy incapaz de leer. Puedo reconocer, por ejemplo, una señal de tráfico con el stop por el color y la forma octogonal, pero no leer la palabra STOP, por más que sepa que está escrita allí. Asimismo, tengo la sensación de que comprendo el sentido de una página impresa, pero no porque haya leído palabra por palabra o frase por frase. En estado de ensoñación ni siquiera soy capaz de efectuar las más sencillas operaciones aritméticas con un mínimo de garantías. Por otra parte, cometo una buena gama de confusiones verbales sin aparente significado simbólico, como pueda ser el hecho de mezclar Schumann con Schubert. En suma, padezco un poco de afasia y estoy completamente aléxico. No toda la gente que conozco sufre este mismo deterioro cognoscitivo en estado de ensoñación, pero con frecuencia muchos individuos experimentan algún tipo de menoscabo. (Digamos de paso que los ciegos de nacimiento tienen sueños auditivos, no visuales.) Mientras uno sueña no puede decirse en modo alguno que el neocórtex permanezca inactivo, pero sí que parece sufrir importantes desajustes.

Seguramente tiene su importancia resaltar el hecho evidente de que tanto los mamíferos como las aves sueñan, pero no los reptiles, su antepasado común. Siempre que se ha producido un suceso evolutivo importante, superada la fase reptilica, se ha visto acompañado por el surgimiento de sueños, que tal vez constituyan una exigencia inherente a este cambio evolutivo. Las fluctuaciones eléctricas que se detectan en los sueños de las aves son episódicas y de corta duración. Cuando sueñan, lo hacen por espacio de un segundo, poco más o menos, en cada ocasión. Sin embargo, desde un punto de vista evolutivo, las aves guardan una más estrecha relación con los reptiles que los mamíferos. Si sólo dispusiéramos de pruebas concernientes a estos últimos, el argumento sería menos consistente, pero dado que ambos importantes grupos taxonómicos, evolucionados a partir de los reptiles, se ven competidos a soñar, debemos considerar con atención esta coincidencia. ¿Por qué un animal que ha evolucionado de un reptil se ve competido a soñar en tanto que otros animales no lo hacen? ¿Cabría explicarlo, quizás, por el hecho de que el cerebro reptiliano todavía subsiste y sigue funcionando?

En estado de ensoñación es muy raro que cortemos por lo sano y nos digamos: «Se trata sólo de un sueño». Por regla general le damos al sueño un barniz de realidad. Los sueños no se atienen a norma alguna de consistencia interna; son un mundo de magia y de ritual, de pasión y de rebeldía, pero muy raras veces de escepticismo y frío razonamiento. Acudiendo a la metáfora del cerebro trino, los sueños vendrían a ser hasta cierto punto una función del complejo R y de la corteza límbica, pero no de la parte racional del neocórtex.

Experimentos llevados a cabo demuestran que mientras transcurre la noche nuestros sueños se adentran más y más en el pasado, hasta el punto de utilizar ingredientes de nuestra infancia y niñez. Al propio tiempo, aumentan también los procesos primarios y el contenido emocional del sueño. Existe mayor probabilidad de que evoquemos sensaciones de nuestra infancia poco antes de despertarnos que no después de dormirnos. Parece realmente como si la integración de la experiencia de la jornada en nuestra memoria, la construcción de nuevas conexiones neurales, sea bien una tarea más fácil bien una labor más urgente. Conforme discurre la noche y se completa dicha función emergen los sueños con mayor carga afectiva, los recuerdos más extravagantes, el temor, la libidinosidad y otras emociones intensas que pueblan el mundo onírico. Avanzada la noche, cuando todo está en calma y han sobrevenido ya las ensoñaciones obligadas en torno al acontecer cotidiano, empiezan a revolverse las gacelas y los dragones de nuestra mente.

Uno de los medios más eficaces para el estudio de los estados de ensoñación corresponde a la iniciativa de William Dement, psiquiatra de la Universidad de Stanford, hombre mentalmente sano donde los haya, pero que ostenta un nombre chocante habida cuenta de su profesión. *Dement*, en inglés «loco», «demente». (*N. del t.*)

El estado de ensoñación va acompañado por rápidos movimientos conjugados de los ojos, los llamados REM (*rapid eye movements*), que es posible detectar mediante unos electrodos que se aplican suavemente a los párpados durante el sueño y, también, mediante una onda cerebral característica que se observa en el electroencefalograma. Dement ha descubierto que todo el mundo sueña numerosas veces al cabo de la noche. Al despertar, cuando el individuo se halla sumido en la bruma de este sueño que hemos dicho va acompañado de rápidos movimientos conjugados de los ojos, recuerda por lo general el contenido de su ensoñación. Ateniéndonos a las pautas del REM y del electroencefalograma se ha podido determinar que gran número de individuos que alegan no tener nunca ensoñaciones sueñan como el que más; la prueba está en que cuando se les despierta en el momento oportuno admiten con cierta sorpresa que han estado soñando. Durante el estado onírico el cerebro humano se halla en un estado fisiológico característico, y hay que decir que soñamos con bastante frecuencia. Aun cuando tal vez un 20 por 100 de los individuos despertados durante la fase de sueño REM no recuerdan sus fantasías nocturnas, y alrededor de un 10 por 100 despertados en otra fase distinta dicen haber estado soñando, nosotros, por razones de conveniencia, equipararemos el sueño en la fase REM y las consiguientes ondas cerebrales registradas en el electroencefalograma con el estado de ensoñación.

Existen indicios de que soñar es necesario. Cuando el hombre u otros mamíferos se ven privados del sueño REM (siendo despertados tan pronto aparecen los registros característicos del REM y del electro), aumenta el número de iniciaciones del estado de ensoñación por noche y, en los casos graves, las alucinaciones durante el día, esto es, sueños en estado de vigilia. He dicho ya que los registros de ensoñaciones por el REM y el electroencefalograma son breves en las aves y no aparecen en los reptiles. Al parecer, los sueños son básicamente una función de los mamíferos y, lo que es más, en el hombre el reposo nocturno acompañado de sueños es más intenso durante el periodo posnatal. Aristóteles afirmó con bastante contundencia que los lactantes no sueñan. Por el contrario, se ha comprobado que en muchos casos pasan soñando la mayor parte del tiempo. Los neonatos alumbrados dentro del plazo de gestación normal sueñan, por lo que toca al estado de ensoñación REM, durante más de la mitad del tiempo en que están dormidos. Los lactantes nacidos con unas pocas semanas de antelación sueñan durante las tres cuartas partes o más del tiempo total dedicado al sueño, y en la fase intrauterina, es muy probable que el feto esté soñando todo el tiempo. (Ciertamente, se ha observado que los gatitos acabados de nacer permanecen mientras duermen sumidos en la fase REM.) En tal caso, la recapitulación vendría a indicar que la ensoñación es, básicamente, una función propia de los mamíferos que se configuró en una etapa primeriza de la evolución.

Existe otra conexión entre la infancia y los sueños y es el hecho de que van seguidos de amnesia. Cuando salimos de uno u otro estado nos cuesta muchísimo recordar las escenas que hemos vivido. Yo diría que en los dos casos, el hemisferio izquierdo del neocórtex, que regula la rememoración analítica, ha funcionado falto de eficacia. Otra posible explicación sería que tanto en sueños como en los primeros meses de nuestra existencia padecemos una especie de amnesia traumática porque nos resulta demasiado doloroso recordar las experiencias. Sin embargo, olvidamos muchísimos sueños francamente agradables y, por otra parte, resulta difícil creer que la infancia sea *tan poco* placentera. Hay que decir también que algunos niños consiguen recordar hechos y sensaciones de las primeras etapas de sus vidas. No son muy raras las evocaciones de experiencias que se remontan al primer año de existencia, y seguramente incluso más tempranas. Cuando mi hijo Nicolás tenía tres años se le pidió que hablara del suceso o sensación más lejanos que pudiera recordar. Con tono sosegado y la mirada fija en un punto intermedio de la estancia respondió: «Recuerdo que era rojo y que hacía mucho frío». El chico había nacido tras serle practicada a la madre una cesárea. Aunque improbable, me pregunto si esta respuesta entraña una efectiva recordación del momento del parto. En cualquier caso, pienso que la explicación más probable a la amnesia que acompaña a los sueños, especialmente a los de infancia, deriva del hecho de que en dichos estados nuestra vida mental viene regida casi enteramente por el complejo R, el sistema límbico y el hemisferio cerebral derecho. Durante la primera infancia el neocórtex está insuficientemente desarrollado; en caso de amnesia, ha sufrido menoscabo.

Existe una sorprendente correlación entre las erecciones de pene o de clítoris y el sueño REM, incluso cuando las ensoñaciones no tengan un manifiesto contenido erótico. En los primates, como no, estas erecciones están relacionadas con el apetito sexual y también con la agresividad y el mantenimiento de las jerarquías sociales. Pienso que, cuando soñamos, una parte de nosotros participa en actividades bastante similares a las de los titís que tuve ocasión de ver en los sueños de los humanos; pueden oírse los resoplidos y sacudidas de los dragones y, también, el tonante aullido de los dinosaurios.

Una excelente demostración del crédito que puedan merecer las ideas científicas es su subsiguiente confirmación. Se postula una teoría sobre la base de ciertos indicios, y luego se lleva a cabo un experimento en relación con la misma cuyo resultado no puede conocerse con antelación por parte de quien lo ha propuesto. Si el experimento confirma la idea original, se considera que se trata de una teoría consistente y merecedora de apoyo. Freud estimó que buena parte, si no toda, la «energía psíquica» de las emociones afectas por los procesos primarios y los ingredientes que componen los sueños tienen originariamente una raíz sexual. El papel absolutamente esencial que desempeña la atracción sexual de cara a la propagación de las especies hace que esta idea no sea disparatada ni corrupta, como opinaban muchos de los bienpensantes y Victorianos contemporáneos de Freud. Por su parte, Carl Gustav Jung sostuvo que Freud había concedido desmesurada primacía al sexo en las cuestiones del inconsciente. Sin embargo, hoy, transcurridos tres cuartos de siglo, los experimentos de laboratorio efectuados por Dement y otros psicólogos han dado la razón a Freud. Creo que habría que ser un recalitrante puritano para negar la existencia de un nexo entre la erección del pene o del clítoris y el instinto sexual. De ello parece deducirse que sueños y sexualidad no están vinculados de manera fortuita o incidental, sino unidos por estrechos lazos, si bien no cabe negar que aquéllos guardan también concomitancia con los

componentes ritualistas, agresivos y jerárquicos de la conducta animal. Teniendo en cuenta la represión sexual que se daba en el siglo XIX en el seno de la sociedad vienesa, muchas de las percepciones de Freud nos parecen no sólo válidas, sino también valerosas y mantenidas a costa de mucho esfuerzo.

Se han llevado a cabo estudios estadísticos de las categorías más comunes de sueños, estudios que, por lo menos hasta cierto punto, deberían aclarar la naturaleza de los mismos. En el curso de una encuesta llevada a cabo entre estudiantes universitarios en torno al contenido de los sueños, el orden resultante, tomando como base las cinco temáticas más frecuentes, fue el siguiente: 1) caídas; 2) ataques o persecuciones; 3) repetidos y frustrados intentos de llevar a cabo una tarea o una empresa; 4) sueños relacionados de una manera u otra con los estudios; 5) experiencias sexuales diversas. El sueño reseñado con el número cuatro parece guardar relación específica, justificada por demás, con el grupo objeto del muestreo. En cuanto a los restantes, si bien forman parte de la experiencia vital de los estudiantes, por lo general se aplican también a muchas personas que no lo son.

El temor a las caídas guarda clara relación con nuestros orígenes arbóreos y sin duda es un temor que compartimos con el que sienten otros primates. En efecto, para el que vive en un árbol el modo más simple de morir es, sencillamente, olvidar el riesgo que corre de caerse. Por lo que toca a las otras tres categorías de sueños más corrientes, ofrecen especial interés, por cuanto corresponden a funciones agresivas, jerárquicas, ritualísticas y sexuales; en suma, todo lo que es dominio del complejo R. Otro dato significativo de la encuesta mencionada es que casi la mitad de los individuos interpelados dijeron haber soñado con serpientes, el único animal, aparte del hombre, que goza de categoría propia en la lista de los veinte tipos de sueños más comunes. Ciertamente, es posible que muchos sueños relacionados con ofidios puedan interpretarse sin más en función de las tesis freudianas. Sin embargo, dos tercios de los encuestados mencionaron de manera explícita que habían tenido sueños relacionados con la experiencia sexual. Habida cuenta de que, según Washburn, los primates no adultos muestran un miedo congénito a las serpientes, parece lógico preguntarse si el mundo de la ensoñación no proyecta directa e indirectamente, la antigua hostilidad entre reptiles y mamíferos.

Existe a mi modo de ver una hipótesis que casa con las verdades científicas que acabo de exponer, y es que la evolución del sistema límbico significó una manera radicalmente nueva de contemplar el mundo. La supervivencia de los primeros mamíferos dependía de su inteligencia, de peligros que sortearon durante el día y de la devoción hacia los especímenes más jóvenes. El mundo percibido a través del complejo R era un mundo muy distinto. En razón a la naturaleza acumulativa del proceso de cerebración, las funciones del complejo R podían ser utilizadas o desechadas en parte, pero no ignoradas. De esta manera, surgió un centro de inhibición localizado debajo de lo que en el hombre es el lóbulo temporal, con objeto de atenuar la acción del cerebro reptílico, al tiempo que en el pons aparecía un centro de activación cuya misión era impulsar el funcionamiento del complejo R, pero de una manera inocua, durante el sueño. Esta consideración tiene, por supuesto, notables puntos de semejanza con las tesis de Freud acerca de la represión del *ello* por parte del *superego* (o del inconsciente por parte de la conciencia moral), en las que el papel del *ello* se ponía claramente de manifiesto en fenómenos tales como los *lapses lingue* la libre asociación de ideas, ensoñaciones, etc., es decir, en los intersticios de la represión ejercida por parte del *superego*.

Al producirse el notable desarrollo del neocórtex en los mamíferos superiores y en los primates, tuvo lugar una cierta participación neocortical en el estado onírico, y es que un lenguaje simbólico es, a fin de cuentas, eso, un lenguaje. (Esta circunstancia se relaciona con las diferentes funciones de los dos hemisferios del neocórtex que mencionaremos en el siguiente capítulo.) Pero la filigrana de los sueños contenía elementos sexuales, agresivos, jerárquicos y ritualistas significativos. Los ingredientes fantásticos que pueblan el mundo de los sueños tal vez tengan que ver con la casi total ausencia de estimulación sensorial directa durante las ensoñaciones. En el estado onírico apenas si existe un análisis de la realidad. Desde este ángulo, la frecuencia de sueños en los niños se explicaría por el hecho de que durante la infancia la parte analítica del neocórtex no tiene intervención apreciable. La carencia de ensoñaciones en los reptiles se explicaría por la ausencia de represión del estado de ensoñación. Para expresarlo de la misma forma con que Esquirol describió a nuestros antecesores, diremos que los reptiles «sueñan» despiertos. Creo que esta idea sirve para explicar la peculiaridad —por contraste con la conciencia verbal que exhibimos en estado de vigilia— del estado de ensoñación; su localización en los mamíferos y, preferentemente, en el ser humano durante el periodo subsiguiente al parto; su fisiología, y su penetración en el hombre.

El hombre desciende de los reptiles y de los mamíferos. Es muy probable que al reprimir durante el día la acción del complejo R y al liberar por la noche los dragones de nuestra ensoñación estemos reviviendo los cien millones de años de lucha en que reptiles y mamíferos se enfrentaron, con la salvedad de que se ha invertido el momento del día en que tiene lugar la vampírica caza. Con todo, hay en la conducta del ser humano suficientes rasgos reptílicos. Si liberásemos por completo los aspectos reptílicos de nuestra naturaleza, disminuiría considerablemente nuestra capacidad de supervivencia. Puesto que el complejo R se halla muy profundamente engarzado en la fábrica del cerebro, no cabe soslayar por mucho tiempo y de forma absoluta sus funciones. Quizá el estado de ensoñación permite, en nuestra fantasía y en su realidad, que el complejo R funcione regularmente, como si todavía controlase la situación.

En el supuesto de que esto sea verdad, me pregunto con Esquirol si el estado de vigilia de otros mamíferos se asemeja mucho al estado de ensoñación de los humanos, donde podemos reconocer *signos*, como el contacto con el agua de un arroyuelo o el olor de la madre selva, al tiempo que un limitadísimo repertorio de *símbolos*, tales como las palabras; un estado en el que hallamos vividas imágenes sensoriales y emocionales y un conocimiento intuitivo operante, pero un mínimo de análisis racional; un estado en el que somos incapaces de llevar a cabo tareas que exijan una profunda concentración y en el que experimentamos frecuentes lapsos de atención, numerosos intervalos neutros y, por encima de todo, un endeble sentido de nuestra individualidad o de nuestro yo que da paso a un intenso fatalismo, a

una sensación de imprevisible zarandeo por parte de acontecimientos sobre los que no ejercemos control alguno. Si este es nuestro punto de origen ciertamente hemos recorrido un largo trecho.

Amantes y locos

Amantes y locos tienen la mente tan arrebatada, tan poblada de fantasías, que perciben más de lo que la pura razón es capaz de aprehender. El orate, el que pena de amor y el poeta destilan imaginación ...

W. SHAKESPEARE, *El sueño de una noche de verano*

Los *simples* poetas tienen la mente tan embotada como la de un sujeto ebrio, sumida siempre en la bruma, incapaces de ver o de juzgar las cosas con claridad. Para ser un eximio y cabal poeta todo hombre necesitaría estar versado en varias ciencias, poseer una mente lógica, analítica y, en cierta medida, matemática ...

JOHN DRYDEN, *Notas y observaciones sobre la emperatriz de Marruecos, 1674*

Los sabuesos tienen fama de ser formidables rastreadores. Se les deja olfatear una «pista» —un trozo de ropa perteneciente al sujeto buscado, sea un niño perdido o un recluso fugado de la cárcel— y luego, ladrando, toman alegre y decididamente la senda que corresponde. Los perros y muchos otros animales de caza tienen esta aptitud natural extraordinariamente desarrollada. El rastro propiamente dicho contiene una huella olfativa, un olor. Éste no es más que la percepción de una determinada molécula, en el caso que nos ocupa una molécula orgánica. Para poder seguir un rastro, el sabueso debe percibir la diferencia de olor —olor contenido, como hemos dicho, en una determinada molécula del organismo— entre el sujeto objeto de búsqueda y un vastísimo y activo tras fondo de otras moléculas, algunas pertenecientes a otros individuos que han seguido idéntica senda (a los que hay que sumar los componentes de la propia expedición de rastreo) y otras de diversos animales (entre los que debe incluirse el propio sabueso). El número de moléculas que desprende un hombre que camina es relativamente pequeño, lo que no impide que incluso cuando el rastro se ha «enfriado» —como es el caso cuando han transcurrido varias horas desde la desaparición del sujeto buscado— el sabueso pueda seguir la pista sin dificultad.

Esta formidable aptitud de ciertos canes implica una detección olfativa extremadamente sensible, función que, como vimos con anterioridad, también los insectos llevan a cabo con notable eficacia. Pero lo que más asombra en el perro sabueso, y lo que al mismo tiempo le confiere peculiaridad frente al insecto, es la amplitud de su gama olfativa, su aptitud para identificar un olor entre muchos, cada uno de ellos sumido en un mar de múltiples aromas. El sabueso lleva a efecto una compleja catalogación de la estructura molecular; selecciona la molécula de que se trata entre un riquísimo muestrario molecular previamente olfateado, y, lo que es más, apenas necesita un minuto para registrar el olor en cuestión, que luego recordará por un largo periodo de tiempo.

Al parecer, la identificación olfativa de cada molécula la llevan a cabo unos receptores nasales sensibles a determinados grupos funcionales, o partes, de moléculas orgánicas. Un receptor puede ser sensible al COOH, otro al NH₂, etcétera. (C es el símbolo del carbono, H del hidrógeno, O del oxígeno y N del nitrógeno.) Según parece, las diferentes cadenas secundarias y elementos accesorios de las moléculas compuestas se adhieren a diferentes receptores moleculares de la mucosa nasal, y los detectores correspondientes a todos los grupos funcionales se combinan para conformar una especie de imagen olfativa global de la molécula. Se trata de un mecanismo sensorial en extremo perfeccionado. A este respecto, cabe decir que el más avanzado dispositivo de esta especie concebido por el hombre, o sea el cromatógrafo de gases/espectrógrafo de masas, carece, por regla general, de la sensibilidad y la capacidad selectiva del sabueso, por más que se hayan dado notables avances en este campo tecnológico. El sistema olfativo de los animales ha llegado a su actual grado de perfeccionamiento merced a una serie de exigencias del proceso de selección. La rápida detección de un espécimen del mismo grupo, de un depredador o de una presa es cuestión de vida o muerte para la especie. El sentido del olfato emerge en una fase temprana y, ciertamente, es muy posible que buena parte de la evolución primigenia por encima del nivel del armazón neural se viera espoleada por las demandas del proceso selectivo con objeto de facilitar la detección molecular a que hemos aludido. Así, los característicos bulbos olfativos del cerebro (véase la figura de la página 56) se cuentan entre los primeros componentes del neocórtex que registra la historia de la vida del planeta. Herrick, con buen criterio, llamó al sistema límbico «rinencéfalo» o cerebro olfativo.

El sentido del olfato no está, ni con mucho, tan desarrollado en los hombres como en los sabuesos. A pesar de nuestra masa cerebral, poseemos unos bulbos olfativos más pequeños que los de muchos animales. Por otra parte, es obvio que el olfato desempeña un papel de poco relieve en nuestra vida cotidiana. Un individuo corriente sólo alcanza a distinguir una menguada gama de olores. Pese al reducido número de olores que forman el repertorio olfativo del hombre, nuestras descripciones verbales y conocimiento analítico del olfato son en extremo pobres. Nuestra respuesta ante un olor determinado poco tiene que ver, a tenor de nuestra propia percepción, con la estructura tridimensional de la molécula causante de dicho olor. La olfacción es una compleja labor cognoscitiva que nos es dado realizar, dentro de unos límites, con notable precisión, pero que en el mejor de los casos no acertamos a describir más que muy

someramente y de forma insuficiente. Y pienso que si el perro sabueso pudiera hablar, pasaría por el mismo apurado trance que nosotros para describir los detalles de una tarea que lleva a cabo con suma perfección.

De la misma manera que los perros y muchos otros animales se valen primordialmente del olfato para penetrar en su entorno físico, en el hombre es la vista el conducto básico por el que nos llega la información del exterior. La sensibilidad y capacidad diferenciadora del ojo humano son por lo menos tan asombrosas como las facultades olfativas de los lebres. Podemos, por ejemplo, distinguir una cara de otra. Las personas observadoras son capaces de diferenciar decenas, centenares y hasta miles de rostros. Por ejemplo, el *identikit*, muy utilizado por la Interpol y la policía de muchos países de Occidente, es capaz de reconstruir más de diez mil millones de rostros distintos. El valor de esta aptitud de cara a la supervivencia es evidente, en especial referida a nuestros antecesores. Pero pensemos por un instante cuan difícil nos resulta proceder a la descripción verbal de unas caras que reconoceríamos sin dificultad. Por lo común, los testigos procesales suelen ofrecer pésimas descripciones de un individuo al que vieron o conocieron fugazmente; en cambio, cuando se lo ponen delante, lo identifican con singular facilidad. El hecho es que, a pesar de los errores de identificación que sin duda se han dado, los tribunales aceptan de mil amores el testimonio de una persona adulta acerca de los rasgos físicos de un sujeto dado. Para comprobar esta facilidad innata basta pensar en la presteza con que reconocemos a una «celebridad» entre un tropel de gente, o en la manera en que salta a la vista nuestro nombre cuando aparece reseñado en una nutrida lista no ordenada por orden alfabético.

El hombre y otros animales poseen notables facultades cognitivas y un elevado índice de percepción de datos que, sencillamente, superan la conciencia verbal y analítica que tantos de nosotros consideramos como el único patrimonio digno de ser tenido en cuenta. A menudo se alude a esta clase de conocimiento integrado por nuestras percepciones y cogniciones no verbales con el término de «intuitivo», que no es lo mismo que «innato», pues nadie nace con un repertorio de rostros impreso en el cerebro. En mi opinión, dicho vocablo refleja una ambigua irritación ante la incapacidad de comprender de qué forma accedemos a este conocimiento. Pero lo cierto es que la historia del conocimiento intuitivo es sumamente dilatada, y si tomamos en cuenta la información contenida en el material genético, se remonta nada menos que al origen de la vida. El otro modo de conocimiento de que disponemos, y que con tan malos ojos contempla en Occidente la existencia del conocimiento intuitivo, es una adición evolutiva muy moderna. El discurso racional que formulamos sólo de palabra (y que entraña, por ejemplo, el uso de oraciones completas) no tiene probablemente más que unas decenas o centenares de miles de años. Muchas personas son, en su vida consciente, casi completamente racionales, y otras muchas casi del todo intuitivas. Unos y otros se denostan sin reparar apenas en el valor recíproco de ambas clases de conocimiento.

Vista esquematizada de la parte superior del cerebro humano con los dos hemisferios separados por neurocirujanos en un logrado intento de dominar los ataques epilépticos. Por lo general, la separación se lleva a efecto seccionando el cuerpo calloso. A veces también se procede al seccionamiento de las conexiones secundarias entre ambos hemisferios, es decir, de la comisura anterior y de la comisura del hipocampo.

Calificativos como «embrollado» o «amoral» constituyen, tal vez, las más ponderadas y corteses de tales recriminaciones. ¿Por qué dos modos de pensamiento precisos y complementarios tienen tan pocas concomitancias entre sí?

Los primeros indicios de que ambos se hallan localizados en la corteza cerebral nos vienen dados por el estudio de las lesiones cerebrales a consecuencia de heridas o golpes fortísimos en los lóbulos temporal y parietal del hemisferio izquierdo del neocórtex. La víctima suele tener dificultades para leer, escribir, hablar y realizar operaciones aritméticas. Las mismas o parecidas lesiones en el hemisferio derecho mermarían la visión tridimensional, el reconocimiento de formas y contornos, las facultades musicales, el razonamiento holístico.

Aquel que subraya la relación orgánica y funcional de las partes con el todo. (N. del t.)

La identificación facial reside básicamente en el hemisferio derecho, y quienes afirman «jamás olvido una cara» realizan un reconocimiento de configuración sobre el lado derecho. En la práctica, las lesiones del lóbulo parietal derecho en ciertos casos incapacitan al paciente para reconocer su propia imagen en el espejo o en una fotografía. Estas observaciones indican de forma inequívoca, o poco menos, que las funciones que llamamos «racionales» se localizan principalmente en el hemisferio izquierdo, y las que consideramos «intuitivas» en el derecho.

Los últimos y más significativos experimentos llevados a cabo en este contexto son obra de Roger Sperry y su equipo de colaboradores del Instituto Tecnológico de California. De cara al tratamiento de los casos agudos de epilepsia *gran mal*, en la que el paciente sufre ataques prácticamente ininterrumpidos (tanto como dos por hora), procedieron al seccionamiento del cuerpo calloso, el principal haz de fibras nerviosas que comunican los hemisferios derecho e izquierdo del neocórtex (véase figura en página anterior). La operación quirúrgica se llevó a cabo con la intención de evitar que lo que podríamos llamar la «tormenta neuroeléctrica» de un hemisferio se propagara, lejos del foco inicial, al otro. Los neurocirujanos confiaban en que después de la operación los ataques no afectarían más que a un hemisferio. Pero el desenlace, inesperado y positivo, fue un muy acentuado descenso tanto de la frecuencia como de la intensidad de los accesos en ambos hemisferios, como si previamente, por decirlo en términos de informática, se hubiera dado una *realimentación positiva* a tenor de la cual la actividad eléctrica de la crisis epiléptica en cada

hemisferio estimulara al otro por conducto del cuerpo calloso.

En apariencia, después de la intervención quirúrgica los pacientes con un «cerebro partido» se comportan con absoluta normalidad. Algunos aseguran que han cesado del todo las vividas ensoñaciones que experimentaban antes de la operación. El primero de este grupo de enfermos estuvo un mes sin poder hablar después de la operación; pero la afasia que padecía terminó por desaparecer. La conducta y aspecto normales de los pacientes con un «cerebro partido» constituyen en sí una demostración de que el cuerpo calloso actúa de manera imperceptible. Teniendo en cuenta que nos estamos refiriendo a un haz de doscientos millones de fibras neurales que procesan nada menos que varios miles de millones de bits por segundo entre los dos hemisferios cerebrales, y que contiene alrededor del 2 por 100 de las neuronas del neocórtex, ¿debemos creer que al seccionar el cuerpo calloso el individuo sigue tan campante? Obviamente, deberían producirse alteraciones importantes, cambios que es preciso analizar con más detenimiento de lo normal.

Cuando examinamos un objeto situado a nuestra derecha, ambos ojos miran hacia lo que se denomina el campo visual derecho, y si hacemos lo propio con los objetos a nuestra izquierda, acotamos con la vista el campo visual izquierdo. Sin embargo, y debido al tipo de conexión existente entre los nervios ópticos, el campo visual derecho es procesado en el hemisferio izquierdo, y el campo visual izquierdo en el hemisferio derecho. Asimismo, el hemisferio izquierdo procesa buena parte de los sonidos que capta el oído derecho, y a la inversa, aun cuando parte de la información auditiva es tratada en el mismo lado de recepción, o sea, sonidos que, por ejemplo, capta el oído izquierdo y que son procesados en el hemisferio izquierdo. El sentido del olfato, surgido en una fase evolutiva anterior, no presenta este entrecruzamiento funcional; así, el olor que detecta la fosa nasal izquierda es procesado en su totalidad por el hemisferio correspondiente. En cambio, la información entre el cerebro y los miembros *es* de tipo cruzado. Los objetos que palpa la mano izquierda se perciben básicamente en el hemisferio derecho, y las instrucciones a la mano derecha para que escriba determinada frase se procesan en el hemisferio izquierdo.

Sperry y su equipo de colaboradores han llevado a cabo una serie de brillantes experimentos consistentes en la estimulación por separado de los hemisferios derecho e izquierdo en pacientes que han sufrido el seccionamiento del cuerpo calloso. Uno de los experimentos tipo consiste en proyectar en una pantalla la palabra *hatband* (cinta del sombrero), de forma que *hat* se halle en el campo visual izquierdo y *band* en el derecho. El paciente manifiesta que ha visto escrita la palabra *band*, siendo evidente que, por lo menos en función de su capacidad para expresarse verbalmente, no tiene idea de que el hemisferio derecho ha recibido la impresión visual del término *hat*. Cuando se le pidió que especificase de que *band* (cinta, banda) se trataba, el paciente conjeturó que podía tratarse de una *outlaw band* (banda de forajidos), de una *rubber band* (liga elástica o cinta de goma) o de una *jazz band* (banda de jazz). Pero si en el curso de un experimento comparable se pide al enfermo que escriba con la mano izquierda oculta en el interior de una caja la palabra que ha visto en la pantalla, traza sobre el papel la palabra *hat*. Por el movimiento de la mano el paciente sabe que ha escrito algo, pero como no puede leerlo, la información no llega al hemisferio izquierdo, que es el que regula la facultad del habla. Así, curiosamente, puede escribir la respuesta, pero no darla de viva voz.

Muchos otros experimentos arrojan resultados similares. En uno de ellos el paciente puede palpar con la mano izquierda unas letras sueltas de material plástico ocultas a la vista. Dichas letras sólo permiten construir correctamente una palabra inglesa, como *love* o *cup*, que el paciente compone sin dificultad. El hemisferio derecho posee escasa capacidad verbal, más o menos la misma que en sueños. Así, el paciente, tras haber compuesto correctamente la palabra de referencia, no consigue indicar de palabra cuál es el término que ha formado. De ello parece deducirse que, en los pacientes de «cerebro partido», cada hemisferio ignora por completo la información que el otro obtiene por separado.

La inoperancia del hemisferio izquierdo en el plano de la representación geométrica es realmente asombrosa, como muestra claramente la ilustración de la página 171. Un paciente del tipo mencionado y que escribía con la derecha, sólo pudo trazar correctamente unas sencillas figuras geométricas utilizando la izquierda, o sea la mano inexperimentada. Parece que en el ámbito de la representación espacial o geométrica el hemisferio derecho solamente prevalece sobre el izquierdo en las tareas de tipo manual, dominio que desaparece cuando se trata de funciones geométricas que no requieren una coordinación entre mano, ojos y cerebro. Estas actividades manipulativas en el plano geométrico parecen localizarse en el lóbulo parietal del hemisferio derecho, en una región que, trasladada al hemisferio izquierdo, regula el uso del lenguaje. M. S. Gazzaniga, de la Universidad Estatal de Stony Brook (Nueva York) sugiere que esta especialización hemisférica acaece porque el lenguaje se desarrolla en el hemisferio izquierdo antes de que el niño adquiera suficiente pericia en las tareas manipulativas y en la visualización geométrica. Según este punto de vista, la especialización del hemisferio derecho en cuanto a competencia geométrica constituye una especialización por omisión, es decir, que la competencia del hemisferio izquierdo ha sido encauzada o desviada hacia el lenguaje.

Representación esquemática, según Sperry, de la proyección del mundo exterior en los dos hemisferios del neocórtex. Los campos visuales derecho e izquierdo se proyectan, respectivamente, en los lóbulos occipitales izquierdo y derecho. La regulación del lado derecho y del lado izquierdo del cuerpo es también de tipo cruzado, como lo es en buena parte el oído. Los olores se dirigen a los hemisferios del mismo lado, al igual que la fosa nasal que vehicula la olfacción.

El sujeto sólo lee y da cuenta verbalmente de la palabra proyectada en su campo visual derecho. No se da ningún tipo de asociación, ni siquiera inconsciente, entre las palabras de los campos visuales derecho e izquierdo. (Según Sperry.)

Un paciente al que le ha sido seccionado el cuerpo calloso escribe correctamente —mejor con trazo normal que con letra de palo—, utilizando la mano oculta, una palabra proyectada a su campo visual izquierdo. Pero al ser interpelado para que diga lo que ha escrito con la mano izquierda, da una respuesta totalmente incorrecta (*cup*). (Según Nebes y Sperry.)

Según se dice, poco después de que Sperry llevase a término uno de sus más convincentes experimentos, ofreció una fiesta en su casa a la que fue invitado un reputado físico teórico con el cuerpo calloso intacto. El científico, hombre notorio por su sentido del humor, permaneció todo el tiempo escuchando atenta y calladamente las explicaciones de Sperry sobre los hallazgos obtenidos a raíz de los experimentos con los pacientes a que nos hemos referido. Al término de la velada los invitados empezaron a desfilarse, y Sperry se situó junto a la puerta para despedir al último grupo. El físico tendió la mano derecha a Sperry y le dijo que había pasado una velada deliciosa. Luego, efectuando una especie de paso de baile, intercambió la posición de ambos pies, extendió la mano izquierda hacia el anfitrión y apostilló con voz reprimida y estridente: «Y también quiero que sepa que he estado aterrorizado por unas horas».

Cuando se dificulta la comunicación entre los dos hemisferios cerebrales, el propio paciente suele no hallar explicación a su proceder, evidenciándose aquello de que incluso si el sujeto «habla con propiedad» puede muy bien ignorar «la sustancia del tema de que trata». (Compárese esta afirmación con la cita de *Fedro* transcrita en la página 13.) La relativa independencia de actuación de los dos hemisferios se manifiesta en la vida cotidiana. Hemos hablado ya de la dificultad que entraña la descripción verbal de las complejas percepciones del hemisferio derecho. Al parecer, muchas actividades físicas complejas, como puede ser la práctica de un deporte, cuentan con una participación proporcionalmente exigua del hemisferio izquierdo. Por ejemplo, en el tenis, un buen «truco» para desbaratar el juego del contrario consiste en preguntarle en qué parte del mango de la raqueta coloca el pulgar. A menudo, la atención que el hemisferio izquierdo presta a dicha pregunta, aunque sea por un corto periodo de tiempo, consigue el objetivo buscado. Buena parte de las facultades musicales se regulan en el hemisferio derecho. Es de sobras conocido que hay individuos capaces de aprender de memoria una canción o una melodía musical sin tener idea alguna de cómo transcribirlas al papel pautado. Aplicando el caso al piano, podríamos aludir a este fenómeno diciendo que nuestros dedos (no nosotros) han «aprendido de memoria» la melodía en cuestión.

Incapacidad relativa del hemisferio izquierdo para reproducir figuras geométricas. (Según Gazzaniga.)

A veces esta memorización reviste gran complejidad. No hace mucho tuve el placer de asistir al ensayo de un concierto para piano aún no estrenado, interpretado por una importante orquesta sinfónica. En este tipo de ensayos, el director no suele tomar la partitura desde el primer compás para proceder luego hasta el final de la composición, sino que, tanto por la pérdida de tiempo de ensayo que ello supondría como por la competencia profesional de los profesores de la orquesta, se concentra en los pasajes más difíciles. Una de las cosas que más me impresionó fue no sólo que la solista se supiese de memoria toda la partitura, sino que además pudiese tocar a partir del compás que se le indicara con sólo echar un rápido vistazo a la partitura. Esta envidiable retentiva es función conjunta de los dos hemisferios cerebrales. Es sumamente difícil memorizar una pieza musical nunca escuchada hasta el punto de poder acometer su ejecución a partir de un fragmento cual quiera de la composición. Para decirlo con la jerga utilizada en informática, la pianista tenía acceso aleatorio —como contrapuesto al secuencial— a la partitura musical.

Este ejemplo es ilustrativo de la cooperación entre uno y otro hemisferio en buen número de las más complejas y trascendentes actividades humanas. Es muy importante no exagerar la separación de funciones que corresponden a cada uno de los hemisferios contiguos al cuerpo calloso en un hombre normal. Es conveniente reiterar que la existencia de un haz de conexiones o fibras nerviosas tan complejo supone que la interacción de los dos hemisferios es una función de vital importancia en el hombre.

Además del cuerpo calloso existe entre ambos hemisferios una conexión llamada comisura anterior, mucho más pequeña que aquélla (véase la figura de la página 163) y que a diferencia de este último se halla también en el cerebro de los peces. En los casos de pacientes a los que se ha seccionado el cuerpo calloso, respetando en cambio la comisura anterior, la información olfativa se transfiere siempre de un hemisferio al otro. Al parecer, ocasionalmente se produce un trasvase de cierta clase de información visual y auditiva a través de la comisura anterior, pero de forma imprevisible en cada paciente. Los hallazgos derivados de tales experimentos están en sincronía con la anatomía y la evolución; la comisura anterior (y también la comisura del hipocampo [véase la figura de la página 163]) ocupa una zona más interior que el cuerpo calloso y transfiere información a la corteza límbica y, quizá, a otros componentes más primitivos del cerebro.

En el hombre se da una interesante disociación entre las facultades musicales y las facultades de expresión oral. Los enfermos que padecen lesiones del lóbulo temporal derecho, o que han sufrido hemisferiotomías del lado derecho,

tienen muy limitadas sus facultades musicales, pero no así su capacidad verbal, sobre todo cuando se trata de identificar y recordar melodías. De todos modos, su dolencia no les impide leer una partitura, lo cual es perfectamente congruente con la separación de funciones antes señalada. La memorización y captación de la música presupone el reconocimiento de ciertas configuraciones auditivas y una disposición de tipo holístico más que analítico. Existen indicios de que la poesía es, en parte, una función del hemisferio derecho. Se han dado casos en que el paciente ha empezado a escribir poemas por vez primera a raíz de la afasia provocada por una lesión del hemisferio cerebral izquierdo. Pero, a buen seguro, ello no pasaría de ser, en palabras de Dryden, más que «mera poesía». Por otro lado, parece que el hemisferio derecho es incapaz de componer rimas.

La separación ó lateralización de la función cortical fue un hallazgo que siguió a una serie de experimentos con pacientes que padecían lesiones cerebrales. Sin embargo, es importante demostrar que las conclusiones derivadas de estos casos también son aplicables a las personas normales. Gazzaniga ha llevado a cabo experimentos con individuos que no padecen lesiones cerebrales, a los que se proyecta una palabra, la mitad en el campo visual derecho y la otra mitad en el izquierdo, como en el caso de los pacientes con el cerebro «partido», y luego se supervisa la reconstrucción de la misma. Los resultados obtenidos indican que en el cerebro normal el hemisferio derecho apenas interviene en el procesamiento del lenguaje, pero a través del cuerpo calloso transmite lo que observa al hemisferio izquierdo, donde se recompone la palabra completa. Gazzaniga halló también que un paciente con el cuerpo calloso seccionado poseía un hemisferio derecho asombrosamente dotado en materia lingüística. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que este enfermo había padecido de muy niño un trastorno cerebral orgánico en la región temporalparietal del hemisferio izquierdo, y ya hemos dicho que las lesiones cerebrales acaecidas durante los dos primeros años de vida del individuo, pero no más allá de este lapso, pueden provocar una redistribución de las funciones cerebrales.

Robert Ornstein y David Galin, del Instituto Neuropsiquiátrico Langley Porter de San Francisco, afirman que a medida que los individuos normales pasan de una actividad intelectual analítica a otra sintética, la actividad cerebral que registra el electroencefalograma de los hemisferios cerebrales correspondientes varía en concordancia con las previsiones; o sea, que cuando un sujeto realiza, por ejemplo, operaciones aritméticas de memoria, el hemisferio derecho exhibe el ritmo alfa, característico de un hemisferio cerebral «inactivo». En el caso de que este resultado se confirmase, estaríamos frente a un notable hallazgo.

Ornstein ofrece una interesante analogía para explicar por qué motivo, por lo menos en Occidente, hemos establecido tantos contactos con las funciones del hemisferio izquierdo y tan pocas con el derecho. Según indica, nuestro conocimiento de la función que corresponde al hemisferio derecho viene a ser algo así como nuestra capacidad para observar las estrellas con luz diurna. El fulgor del sol es tal que las estrellas son invisibles, pese al hecho de que permanecen día y noche en el firmamento. Sólo cuando se pone el sol podemos vislumbrarlas. Asimismo, el fulgor de nuestras adquisiciones evolutivas más recientes, es decir, de las facultades verbales reguladas por el hemisferio izquierdo, empaña el conocimiento de las funciones del hemisferio derecho, donde se localiza el pensamiento intuitivo, que a buen seguro constituyó para nuestros antepasados el principal instrumento de percepción externa.

1. Suele decirse de la marihuana que potencia nuestra apreciación y facultades en el orden musical, de la danza, el arte, el reconocimiento de configuraciones y signos y receptividad de la comunicación de carácter no verbal. Que yo sepa, nunca se ha dicho de esta droga que mejore la capacidad para leer y comprender a Ludwig Wittgenstein o Emmanuel Kant, calcular la resistencia de los puentes o computar las transformaciones de Laplace. A menudo, el sujeto incluso tiene dificultades para plasmar sus ideas por escrito de una manera coherente. Me pregunto si, más que intensificar, los cannabinoles (ingredientes activos de la marihuana) no se limitan a anular la actividad del hemisferio derecho y permitir el encendido de las luces de la imaginación. Puede que este sea, también, el objetivo de los estados de meditación que preconizan muchas religiones orientales.

El hemisferio izquierdo procesa la información de forma secuencial, mientras que el hemisferio derecho lo hace simultáneamente, conectando con diversas fuentes de información a la vez. Por decirlo en el lenguaje de los computadores, el hemisferio izquierdo funciona en un régimen de transferencia *en serie*, y el derecho lo hace *en paralelo*. El hemisferio izquierdo viene a ser un computador digital y el derecho un ordenador analógico. Sperry indicó que la separación de funciones en los dos hemisferios es consecuencia de una «incompatibilidad básica». Es posible que en la actualidad seamos capaces de percibir directamente las operaciones del hemisferio derecho, sobre todo cuando el hemisferio izquierdo ha quedado «desactivado», es decir, ha entrado en el estado de ensoñación.

En el capítulo anterior indicaba que un aspecto primordial del estado de ensoñación podía ser la liberación, durante la noche, de procesos del complejo R fuertemente reprimidos por el neocórtex durante el día. Pero dije también que el notable contenido simbólico de los sueños acreditaba una ostensible participación neocortical a pesar de las marcadas dificultades que señalaban con frecuencia los individuos investigados para leer, escribir y formular operaciones aritméticas y evocaciones verbales en sueños.

Además del contenido simbólico de los sueños, hay en la filigrana de la ensoñación otros aspectos que señalan la intervención del neocórtex. Por ejemplo, muchas veces he tenido sueños en los que el desenlace o «sorprendente final de la trama» sólo era posible gracias a cierto número de indicios en apariencia banales e insertos con mucha anterioridad en el contenido del sueño. No me cabe duda de que al iniciarse éste, la trama completa del sueño estaba ya presente en mi mente. (Digamos de pasada que, según ha demostrado Dement, el tiempo de ejecución requerido por los sucesos del sueño corresponde aproximadamente a la duración que tienen en la realidad.) En tanto que muchas ensoñaciones se desarrollan improvisadamente, otras responden a una perfecta estructura argumental, y en este sentido se asemejan en gran manera al desarrollo de una pieza escénica.

Hoy se acepta la sugestiva posibilidad de que el hemisferio izquierdo del neocórtex no actúa durante el estado de ensoñación, en tanto que el hemisferio derecho —muy familiarizado con todo lo que sean símbolos, pero carente de una fluida expresión verbal— funciona sin dificultades. Bien puede ocurrir que el hemisferio izquierdo no quede del todo desactivado por la noche y que lleve a cabo tareas que lo hacen inaccesible a nuestro conocimiento. En tales momentos trabaja laboriosamente evacuando la información acumulada en el registro de la memoria efímera y determinando qué datos deben conservarse y ser transferidos a la memoria duradera.

A veces, pocas, llegan a nuestros oídos noticias fidedignas de complejos problemas intelectuales que han sido resueltos en estado de ensoñación. Tal vez el más conocido sea el sueño del químico alemán Friedrich Kekulé von Stradonitz. En 1865 la cuestión más acuciante e impenetrable dentro de la química orgánica estructural era determinar la naturaleza de la molécula del benceno. Partiendo de sus propiedades, se había llegado a deducir la estructura de diversas moléculas orgánicas simples, que en todos los casos resultó ser lineal, es decir, formada por cadenas de átomos dispuestos en sentido rectilíneo. Según cuenta el propio Kekulé, un día en que viajaba adormilado en un tranvía tirado por caballos tuvo como un sueño en el que aparecían tiras de átomos moviéndose al ritmo de una danza. De repente, la cola de la cadena de átomos se unió por sí sola a la cabeza y dibujó un círculo que giraba lentamente. Al despertar y rememorar lo que había soñado, Kekulé se dio cuenta instantáneamente de que la solución al problema del benceno era un anillo hexagonal de átomos de carbono y no una cadena rectilínea. Obsérvese, no obstante, que nos hallamos ante un caso de identificación de formas y no de una actividad analítica, rasgo característico de casi todas las inspiraciones científicas notables surgidas en estado de ensoñación. Los actos creativos son obra del hemisferio derecho y no del izquierdo.

El psicoanalista norteamericano Erich Fromm ha escrito: «¿No es lógico suponer que al hallarnos desconectados de nuestro mundo exterior retornemos temporalmente a un estado mental primitivo, irracional como el de los animales? Mucho puede decirse en favor de esta presunción y muchos son los estudiosos de los sueños, desde Platón a Freud, que han sostenido la teoría de que esta regresión es el rasgo esencial del reposo nocturno, y, por ello mismo, de la actividad de ensoñación». Fromm prosigue diciendo que a veces, durante el estado de ensoñación, tenemos percepciones que escapan a nuestra mente estando despiertos. Por mi parte, creo que estas percepciones tienen siempre un carácter intuitivo o responden a un proceso de identificación de configuraciones. El aspecto «de similitud con los animales» del estado de ensoñación puede interpretarse como una función conjugada del complejo R y del sistema límbico, y la percepción intuitiva ocasionalmente iluminadora, como una actividad del hemisferio derecho del neocórtex. Ello es así porque en uno y otro caso se han sofocado en buena medida las funciones represivas del hemisferio izquierdo. Fromm llama a estas percepciones del hemisferio izquierdo «el lenguaje olvidado», y arguye con fundamento que constituyen el origen común de los sueños, de los relatos fantásticos y de los mitos.

A veces, mientras soñamos, tenemos la clara sensación de que una parte de nosotros permanece observando la escena plácidamente, de que con frecuencia hay en el trasfondo del sueño una especie de observador. Es esta parte de nuestra mente, que actúa de «centinela» —en ocasiones en mitad de una pesadilla—, la que nos dice: «No es más que un sueño». Es precisamente ese observador el que aprecia la unidad dramática de un sueño con una trama perfectamente estructurada. Pero la mayor parte del tiempo el «centinela» permanece mudo. Muchos de los que fuman o ingieren drogas psicodélicas —marihuana y LSD, pongamos por caso— suelen señalar la presencia de este «centinela». Las experiencias con LSD pueden ser pavorosas, y varios comunicantes me han asegurado que en el caso del LSD la diferencia entre la cordura y la insania depende por completo de la presencia continuada de este «centinela», una pequeña y silenciosa porción de la mente en estado consciente.

Uno de mis informantes me contó una vez que mientras fuma ba marihuana reparó en la presencia y, cosa rara, en la «foraneidad», de este silencioso «centinela» que responde con interés, y a veces con palabras de censura, a la caleidoscópica y rica filigrana de ensoñaciones que experimenta el fumador de marihuana, pero sin formar parte de aquéllas. «¿Quién eres?», preguntó mi informante en silencio, dirigiéndose al observador; «¿Quién pregunta?», contestó éste, como si se tratara de una enseñanza moral sufista o zen. Sin embargo, la pregunta formulada por mi informante tiene su miga. Yo me atrevería a indicar que el pretendido observador es un reflejo de las facultades críticas asentadas en el hemisferio izquierdo, y que si bien se manifiesta con mucha más intensidad en las fantasías psicodélicas que en los sueños, está presente hasta cierto punto en ambos. Sin embargo, la primitiva réplica del observador al interpelante —«¿Quién pregunta?»— sigue sin hallar respuesta. Tal vez se trate de otro componente del hemisferio cerebral izquierdo.

Los lóbulos temporales de los hemisferios izquierdo y derecho del hombre y de los chimpancés presentan una asimetría; una parte del lóbulo izquierdo está notablemente más desarrollada que el resto de la zona. Esta asimetría es congénita (apreciable ya en la vigesimonovena semana del embarazo), lo que sugiere una marca de predisposición genética al control del habla por parte del lóbulo temporal izquierdo. (Sin embargo, los niños que padecen lesiones en dicho lóbulo pueden, en el primero y segundo año de vida, transferir sin menoscabo todas las funciones del habla a la porción equivalente del hemisferio derecho. En una edad más avanzada, esta sustitución de funciones es imposible.) Por otro lado, se observa en los niños de corta edad una lateralización de la conducta. El oído derecho capta mejor la palabra viva, y el izquierdo aquello que no se expresa oralmente, constante que se da también en el adulto. Asimismo, por término medio, los niños de corta edad suelen dedicar más tiempo a contemplar los objetos situados a su derecha que los mismos objetos colocados a su izquierda. Asimismo, para obtener una respuesta precisamos elevar más la voz si le hablamos al oído izquierdo que si lo hacemos al derecho. Si bien hasta el momento no se ha detectado esta ni parecida asimetría en el cerebro o en la conducta de los simios, los resultados obtenidos por Dewson (véanse páginas

120-122) sugieren que en los primates superiores se da, probablemente, un cierto grado de lateralización, en tanto que los lóbulos del mono común (*Rhesus*) no presentan vestigio alguno de asimetría. Uno se siente inclinado a pensar que, como en el hombre, las facultades lingüísticas del chimpancé se regulan en el lóbulo temporal izquierdo.

Según parece, el reducido inventario de gritos de carácter sim bólico que utilizan los primates no humanos se gobierna desde el sistema límbico; prácticamente todo el repertorio vocal de la ardilla o del mono común puede ser evocado por estimulación eléctrica del sistema límbico. El habla humana se regula en el neocórtex. De ahí se infiere que uno de los pasos esenciales en la evolución del hombre debió ser el trasvase del control del habla desde el sistema límbico a los lóbulos temporales del neocórtex, transición de la comunicación a través del instinto a la comunicación por conducto de un proceso analítico. Con todo, la notable capacidad de los simios para acrecentar su repertorio gestual, así como los indicios de lateralización detectados en el cerebro del chimpancé, denotan que la adquisición voluntaria de un lenguaje simbólico por parte de los primates no es una innovación moderna, sino que, antes bien, se remonta a muchos millones de años atrás, en sincronía con los indicios que aporta el examen de los moldes de la cara interna de los cráneos fósiles sobre la existencia del área de Broca en los especímenes de *Homo habilis*.

Las lesiones que sufre el cerebro del mono, concretamente las partes que regulan el habla en el hombre, no menoscaban las vocalizaciones instintivas de estos animales. Por todo ello parece lógico concluir que el surgimiento del lenguaje humano presupone la formación de un conglomerado cerebral enteramente nuevo más que un mero reajuste de los dispositivos del sistema límbico que generan los gritos y llamadas. Algunos expertos en el tema de la evolución humana han manifestado que el lenguaje apareció en una fase tardía —puede que en las últimas decenas de millares de años— como respuesta a las exigencias del último periodo glacial. Sin embargo, la información de que disponemos no parece abonar esta teoría. Por otra parte, los centros del habla en el cerebro humano revisten tal complejidad que resulta difícil imaginar cuál haya sido su evolución a lo largo de los miles de generaciones que probablemente se han sucedido desde el periodo culminante de la última glaciación.

Los indicios de que disponemos parecen indicar que los antepasados del hombre en la Tierra hace varias decenas de millones de años poseían un neocórtex, con la salvedad de que los hemisferios derecho e izquierdo llevaban a cabo funciones comparables y redundantes. Desde entonces, la postura erecta, el uso de herramientas y el lenguaje han sido factores que se han dado impulso mutuo. Así, un pequeño progreso en la facultad de expresión oral se traducía en una mejora progresiva de las hachas de mano, y a la inversa. Parece que el correspondiente proceso de cerebración se ha producido previa especialización de uno de los dos hemisferios en el pensamiento analítico.

Dicho sea de paso, la primitiva redundancia o duplicación funcional ha sido aplicada con sutileza al diseño de computadores. Así, los técnicos que proyectaron la memoria electrónica a bordo del módulo de descenso (*lander*) del *Viking*, sin tener idea de la neuroanatomía de la corteza cerebral, acoplaron dos computadores iguales y programados exactamente del mismo modo. Sin embargo, en razón a su complejidad, no tardaron en emerger las diferencias entre uno y otro. Antes de que tuviera lugar la toma de contacto con la superficie de Marte, los computadores fueron sometidos desde la Tierra a un test de inteligencia (para ello se utilizó un computador mejor «dotado»). Después del mismo, se procedió a inutilizar al ordenador con un coeficiente más bajo. Pues bien, tal vez el proceso evolutivo del hombre haya discurrido por cauces similares y nuestras tan preciadas facultades analíticas se hallen localizadas en el «otro» cerebro, aquel no del todo competente en la generación de pensamiento intuitivo. La evolución se vale a menudo de esta estrategia. En todo caso, la práctica evolutiva normal de incrementar la cantidad de información genética a medida que los organismos ganan en complejidad, se manifiesta en la duplicación de parte del material genético, dejando que proceda luego la lenta especialización de funciones de los componentes redundantes.

Casi todas las lenguas muestran una polaridad, una marcada preferencia por todo lo relacionado con el costado derecho. El término «derecho» se equipara a la legalidad, conducta correcta, elevados principios morales, energía y masculinidad, mientras que la palabra «izquierda» es sinónimo de cobardía, debilidad, objetivos turbios, malevolencia y feminidad. En inglés, por ejemplo, abundan los términos relacionados con *right*, como *rectitude* (rectitud, corrección, prioridad), *rectify* (rectificar, enderezar, enmendar), *righteous* (recto, probo, virtuoso, honrado, justo), *right-hand man* (ser el brazo derecho de alguien), *dexterity* (destreza, maña, habilidad), *adroit* (diestro, hábil, listo; voz derivada del francés *à droite*), *rights* (derechos, como en «derechos del hombre») y la expresión *to be in his right mind* (estar en sus cabales o en su sano juicio). Incluso el vocablo *ambidextrous*, significa, apurando el sentido, dos manos derechas.

En el otro lado, y en sentido literal, tenemos el término *sinister* (casi la misma palabra latina que traduce «izquierda», aunque con significado primordial de siniestro, funesto, aciago), *gauche* (torpe, desmañado, que en francés significa exactamente «izquierda»), *gawky* (desgarbado, desmañado, torpe), *gawk* (palurdo, bobo) y *left-handed compliment* (falso halago). En ruso, la palabra «izquierda» se traduce por *na lev o*, que además significa «furtivo», «subrepticio» o «clan destino»; en italiano, *mañana*, uno de los vocablos que significa izquierda, significa también «engañoso», «falso», «falaz». Tampoco hablamos de una «Declaración de izquierdos» en el sentido con que aludimos a una «Declaración de derechos».

Según una versión etimológica, *left* derivaría de *lygt*, término anglosajón que significa «débil», «endeble», «enclenque», «enfermizo», y también «sin valor», «inútil», «inservible». *Right* en sentido legal, como un acto concorde con las normas sociales (legítimo, justo), y *right* en un sentido lógico, como contrapuesto a erróneo (exacto, acertado, correcto), son también dos acepciones harto comunes en muchas lenguas. El empleo que en política se hace de los términos «derechas» e «izquierdas» parece remontarse al momento histórico en que surge una fuerza política popular como contrapeso al estamento nobiliario. Los nobles se situaban a la derecha del rey y los advenedizos del otro extremo —los capitalistas— a su izquierda. Los nobles se situaban a la derecha del monarca porque éste, a su vez, era el noble más encumbrado y porque su lado derecho era la posición de privilegio. En la teología ocurre lo que en política,

como evidencia la frase: «A la derecha de Dios Padre».

Podría aducirse multitud de ejemplos que demuestran la existencia de un nexo entre *right* y *straight* (derecho, recto, seguido).

Me pregunto si tendrá algún relieve el hecho de que, por ejemplo, el latín, el alemán y las lenguas eslavas se escriban de izquierda a derecha. Los habitantes de la antigua Grecia escribían en bustrófedon («imitando los surcos del arado», es decir, de derecha a izquierda, con el siguiente renglón de izquierda a derecha).

En el español hablado en México no se dice «todo seguido» (*straight anead*) sino «todo derecho» o «siempre recto» (*right right*). Los negros norteamericanos usan del *right on* (adelante) para significar aprobación, a menudo en conexión con sentimientos de exaltación o apasionamiento por una idea. En la actualidad, dentro del inglés coloquial, el término *straight* se emplea con el significado de «con vencional», «correcto» o «apropiado». En ruso, *right* (derecho, recto, correcto, etc.) se traduce por *pravo*, palabra emparentada con *pravda* que significa «auténtico», «verdadero» (*true*). En muchos idiomas la palabra *true* tiene una segunda acepción como «certero», «preciso». Así, se dice en inglés: *his aim was true* (tenía buena puntería).

El test Stanford-Binet, que mide el coeficiente intelectual de un individuo, trata hasta cierto punto de calibrar la función tanto del hemisferio derecho como del izquierdo. Para determinar el valor de las funciones del hemisferio derecho en algunos tests, se pide al sujeto que adivine la figura que resulta de desplegar una hoja de papel que ha sido doblada varias veces y recortada con unas tijeras, o bien se le pide que calcule a ojo el número de unidades que integran un montón de piezas de madera, algunas de las cuales están ocultas a la vista. Aunque los creadores del test Stanford-Binet consideran que estas cuestiones de concepción espacial son muy útiles para determinar la «inteligencia» de los niños, parece que su valor disminuye progresivamente cuando se trata de fijar el coeficiente intelectual de adolescentes y adultos. Desde luego, en estas evaluaciones es escaso el margen que se reserva al calibrado de los elementos intuitivos. Tampoco nos sorprende que los tests de inteligencia se polaricen marcadamente hacia el hemisferio izquierdo.

La intensidad de los prejuicios en favor del hemisferio izquierdo y de la mano derecha se me antoja una especie de guerra en la que el bando que ha vencido por estrecho margen rebautiza las partes contendientes y los temas candentes de la vida nacional de forma que las generaciones futuras no vacilen un solo instante a la hora de decidir dónde radica la lealtad bien entendida. Cuando el partido de Lenin no era más que un grupúsculo en el panorama político de su país, él lo llamó «partido bolchevique», que en ruso significa «partido de la mayoría». La oposición, dócilmente y dando pruebas de soberana estupidez, aceptó para sí la denominación de mencheviques o «partido de la minoría», y en el lapso de un decenio llegó a ser, efectivamente, minoritario. Asimismo, en las asociaciones que por doquier suscitan los términos «derecha» e «izquierda» apunta un rencoroso antagonismo que tuvo su origen en los albores de la historia de la humanidad.

Otro par de vocablos antitéticos del habla humana —los términos «blanco» (*white*) y «negro» (*black*)— revelan un conjunto muy diferente de circunstancias. Pese a las expresiones del tipo «tan dispares como el blanco y el negro», ambas palabras —*black* and *white*— parecen tener un mismo origen. El término *black* proviene de la voz anglosajona *blæce*, y el vocablo *white*, del anglosajón *blac*, que todavía está en vigor en las voces emparentadas *blanch*, *blank* *bleak* y en el francés *blanc*. Uno y otro término tienen como rasgo principal la ausencia de color, y el empleo de la misma palabra para ambas voces se me antoja una muy sutil intuición por parte del lexicógrafo del rey Arturo.

En el combate con armas de filo, es decir, capaces de cercenar un miembro o de traspasar un órgano —y también en deportes tales como el boxeo, el béisbol y el tenis—, un contendiente acostumbrado al uso de la mano derecha se encontrará en desventaja si se enfrenta inopinadamente con un adversario zurdo. Asimismo, un esgrimista malintencionado que maneja el florete con la izquierda puede tocar con facilidad a su oponente porque mantiene la mano derecha levantada en un gesto en apariencia amigable y conciliador. Sin embargo, no creemos que esta serie de circunstancias justifiquen ni expliquen el profundo rechazo de que es objeto la mano izquierda, ni tampoco la amplitud del chovinismo derechista entre muchas mujeres, tradicionales enemigas de la violencia. Quizás un atisbo de explicación, aunque remoto, tenga que ver con la carencia de papel higiénico en las sociedades preindustriales. Durante buena parte de nuestra historia pasada, y también hoy, en muchas parte del mundo después de excrementar se utiliza la mano izquierda para la higiene personal, un hecho perfectamente normal y generalizado en las culturas pretecnológicas. De ello no se desprende que los que siguen esta costumbre se complazcan en ella. No sólo resulta vulgar desde un punto de vista estético, sino que se corre el riesgo de contraer graves infecciones y de contagiar también a los demás. La precaución más elemental es la de saludar y comer con la otra mano. En las sociedades pretecnológicas la mano izquierda se utilizaba casi sin excepción para los susodichos menesteres higiénicos, y la derecha para el saludo y la ingestión de alimentos. El quebrantamiento ocasional de esta convención social se miraba —cosa comprensible— con verdadero horror y, así, los niños que contravenían la norma acuñada respecto al recto uso de las manos eran severamente castigados. En los países occidentales son muchas las personas de edad que todavía recuerdan las rígidas prohibiciones que limitaban el uso de la mano izquierda, aunque sólo fuera para coger un objeto. Pienso que esta explicación puede servir para aclarar el porqué de la virulencia contra todo lo que guarde relación con la «izquierda», así como la autocomplaciente ampulosidad de que se dota, a modo de mecanismo defensivo, a todo lo vinculado con la «derecha», actitud generalizada en una sociedad donde la mayoría de sus componentes se valen de la mano diestra.

Dos australopitecos robustos. Es posible que la mayoría de estos animales fueran predominantemente diestros, así como también el *astrolopitecus* grácil.

Con todo, la explicación no aclara por qué inicialmente se prefirió la mano derecha a la izquierda para el desempeño de estas funciones concretas. Cubría argüir que, estadísticamente, hay una probabilidad sobre dos de que las funciones higiénicas sean relegadas a la mano izquierda. Pero en tal caso parece obligado inferir que una sociedad de cada dos debería mostrar una actitud ponderada hacia todo lo que guarde relación con la izquierda, y, sin embargo, este tipo de sociedades parecen ser, de hecho, inexistentes. En una sociedad donde la mayoría de la gente utiliza la mano derecha, las tareas que exigen cierta precisión, como la ingestión de alimentos o el manejo de un arma en combate, se encomendarían a la mano favorita, y, por exclusión, las funciones de tipo higiénico se abandonarían a la mano zurda. Sin embargo, ello tampoco explica por qué la sociedad se decanta por el uso de la mano derecha. En su más estricto sentido, hay que buscar la explicación en otra parte.

No existe una relación directa entre la mano que uno prefiere utilizar para la mayoría de las tareas y el hemisferio cerebral que regula el habla, lo que no impide que buen número de los que utilizan la mano izquierda puedan tener los centros de expresión oral en el hemisferio izquierdo, extremo este muy controvertido. Sin embargo, se estima que la predisposición al uso de una mano determinada tiene que ver con la lateralización cerebral. Existen indicios de que los zurdos experimentan más dificultades que los que utilizan la derecha en ciertas funciones privativas del hemisferio izquierdo, tales como la lectura, la escritura, el habla y la realización de operaciones aritméticas. Por el contrario, suelen mostrar mayor aptitud en lo que concierne a determinadas funciones del hemisferio derecho, como la imaginación, el reconocimiento de configuraciones y la creatividad en sentido genérico.

Según parece, los únicos presidentes zurdos que ha tenido Estados Unidos han sido Harry Truman y Gerald Ford. No estoy seguro de si ello se corresponde o no con la (débil) correlación que se ha querido ver entre la predisposición al uso de una determinada mano y la función hemisférica. Tal vez sea Leonardo da Vinci el ejemplo más preclaro de genio creativo entre los zurdos.

Algunos indicios sugieren que tal vez se da en el ser humano una polarización de *índole genética* que predispone al uso de la mano derecha. Así, el número de cordoncillos que se observan en las huellas digitales de los fetos durante el tercero y cuarto mes del embarazo es mayor en la mano derecha que en la izquierda, y esta preponderancia persiste a lo largo de la vida intrauterina y en la fase posnatal.

Se ha podido obtener información sobre la tendencia en el uso de las manos por parte de los australopitecos mediante el análisis de cráneos fósiles de babuinos que fueron fracturados con palos de hueso o con garrotes por estos primeros parientes del hombre. Raymond Dart, descubridor de los fósiles de australopitecos, llegó a la conclusión de que alrededor del 20 por 100 de ellos utilizaban la mano izquierda, porcentaje que se corresponde, poco más o menos, con el que se observa en el hombre actual. Por el contrario, mientras que otras especies animales suelen mostrar preferencia por una u otra pata, los australopitecos no se decantan específicamente ni por la derecha ni por la izquierda.

Por lo que atañe al hombre, la diferenciación en el uso de la mano se remonta a un pasado muy lejano. Me pregunto si esta polaridad entre palabras etimológicamente relacionadas con las voces «derecha» e «izquierda» no es reflejo de la pugna entre lo racional y lo intuitivo, entre uno y otro hemisferio. El hemisferio verbal es el que controla el lado derecho, y aunque tal vez no posea tanta sutileza como el izquierdo, sí tiene, ciertamente, mejor prensa. El hemisferio izquierdo, se muestra muy a la defensiva, por no decir extrañamente inseguro, en su relación con el hemisferio derecho, y si ello es así sospechamos que el criticismo verbal del pensamiento intuitivo se asienta en dudosas motivaciones. Por desdicha, todo induce a pensar que también el hemisferio derecho se muestra igualmente receloso hacia el izquierdo, recelos que, por supuesto, no expresa por la vía verbal.

Admitiendo la validez de ambos métodos de pensamiento, el del hemisferio izquierdo y el del hemisferio derecho, debemos preguntarnos si resultan igualmente eficaces y útiles ante un cambio de circunstancias. No cabe duda de que el pensamiento intuitivo propio del hemisferio derecho es capaz de percibir configuraciones y nexos demasiado complejos para el hemisferio izquierdo, pero también puede detectar configuraciones donde no las hay. El pensamiento crítico y escéptico no es un rasgo distintivo del hemisferio derecho, y puede resultar que las teorías elaboradas exclusivamente por él, particularmente en circunstancias nuevas y difíciles, sean erróneas o paranoides.

En una serie de experimentos llevados a cabo recientemente por Stuart Dimond, psicólogo del Colegio Universitario de Cardiff (Gales), se emplearon lentes de contacto especiales para proyectar películas a uno u otro hemisferio por separado. No hace falta decir que en un individuo normal la información recogida por un hemisferio se transmite al otro por conducto del cuerpo calloso. Los sujetos sometidos a experimentación tuvieron que clasificar diversas películas atendiendo al contenido emocional. Con ello se demostró que el hemisferio derecho tiene una tendencia manifiesta a ver el lado hostil, desagradable y hasta repelente de la vida. Los psicólogos de Cardiff descubrieron también que estando ambos hemisferios en actividad, nuestras respuestas emocionales se asemejan en gran manera a las que ofrece el hemisferio izquierdo aisladamente. Parece que en la vida cotidiana el negativismo del hemisferio derecho se ve fuertemente compensado por el hemisferio izquierdo, que tiende a ver la vida de forma más despreocupada. De todos modos, una oscura y sospechosa inflexión emotiva parece ocultarse en

el hemisferio derecho, lo que podría explicar hasta cierto punto el repudio que la parte de nuestra individualidad contenida en el hemisferio izquierdo manifiesta hacia la «sinistra» condición atribuida a la mano izquierda y al hemisferio derecho.

Un paranoico puede llegar a pensar que existe una conspiración en su contra, o sea, que vislumbra ocultas y malévolas intenciones en sus amigos, socios o en el propio gobierno, cuando en realidad dicha actitud antagónica es inexistente. Si realmente hubiera conspiración, el sujeto tal vez se mostraría angustiado en extremo, pero no por ello podría ser tachado de paranoico. A este respecto la historia nos presenta el caso de James Forrestal, primer secretario de Defensa de los Estados Unidos. Concluida la segunda guerra mundial, Forrestal tenía el convencimiento de que agentes secretos israelíes le seguían a todas partes. Los médicos, convencidos de lo absurdo de esta fijación, le declararon paranoico y le confinaron en la planta superior del hospital militar Walter Reed. Un buen día se arrojó al vacío y encontró la muerte, en parte debido a la inadecuada vigilancia del personal médico que le atendía, excesivamente respetuoso con uno de sus más prominentes conciudadanos. Más tarde se supo que, en efecto, Forrestal estaba sometido a vigilancia por agentes israelíes, a quienes preocupaba que el secretario de Estado pudiera suscribir un acuerdo secreto con los representantes de los países árabes. Aun cuando Forrestal estaba mentalmente enfermo, es indudable que la diagnosis de paranoia no contribuyó a mejorar su condición.

En épocas de rápida transformación social aumenta el número de conspiraciones, tanto por parte de los que desean impulsar el cambio como por los defensores del *statu quo* (más por parte de los últimos que de los primeros, al menos en la historia política norteamericana de los últimos años). Creer en la existencia de una conspiración cuando no la hay es un síntoma de paranoia; detectarla cuando existe realmente es prueba de salud mental. Un amigo mío suele decir: «Hoy, en Estados Unidos, si no estás un poco paranoico es que andas mal de la cabeza». Esta observación tiene valor universal.

Es imposible determinar si las configuraciones detectadas por el hemisferio derecho son reales o imaginarias sin someterlas al escrutinio del hemisferio izquierdo. De otro lado, el pensamiento meramente crítico, sin percepciones creativas e intuitivas, sin la búsqueda de nuevas pautas, es completamente estéril y está condenado al fracaso. Para poder resolver problemas complejos en circunstancias cambiantes es preciso la actividad conjunta de los dos hemisferios cerebrales. La senda hacia el futuro pasa por el cuerpo calloso.

Uno entre los muchos ejemplos de comportamiento diferenciado, producto de unas funciones cognoscitivas que también lo están, es la reacción normal ante la vista de la sangre. Muchos de nosotros nos sentimos afectados de alguna manera viendo a una persona sangrar copiosamente, e incluso los hay que pierden el conocimiento. Creo que la razón está muy clara. A lo largo del tiempo, hemos asociado nuestra propia pérdida de sangre con el dolor, el daño y la violación de nuestra integridad corporal, de aquí que nos sintamos condolidos o afectados al ver sangrar a otra persona. Nos hacemos solidarios de su dolor. Probablemente este sea el motivo de que en muchas sociedades humanas el color rojo se utilice para indicar peligro o en las señales de *stop*.

O dirección hacia abajo, como en las luces del tablero indicador de los ascensores. Nuestros antepasados arbóreos tenían que andar con sumo cuidado en eso del descenso.

(Si el pigmento portador de oxígeno que tenemos en la sangre fuera de color verde —cosa no imposible desde el punto de vista bioquímico— todos consideraríamos que el verde es un indicador natural de peligro y nos sonreiríamos ante la idea de utilizar el rojo.) Por otra parte, el médico reacciona de muy distinta manera a la vista de la sangre y se pregunta cuál es el órgano dañado, si hay hemorragia, si la sangre que fluye es venosa o arterial y si conviene o no aplicar un torniquete. Son estas funciones analíticas que competen al hemisferio izquierdo y que requieren procesos cognitivos analíticos más complejos que la mera asociación de la sangre con el dolor, y, por supuesto, de valor mucho más práctico. Si yo sufriera algún daño, preferiría tener a mi lado un médico competente al que una larga experiencia ha familiarizado con la vista de la sangre que estar en compañía de un amigo que siente en el alma lo ocurrido pero que sufre un desmayo viendo cómo me desangro. No cabe duda de que este último tendrá poderosas motivaciones para no causar daño a otra persona, pero será el médico quien preste ayuda eficaz en caso de que sobrevenga el daño. En una especie animal idealmente estructurada, estas diferentes actitudes coincidirían simultáneamente en un solo individuo, como de hecho sucede con muchos de nosotros. Por más que uno y otro modo de pensamiento posean un grado muy diverso de complejidad, tienen un valor complementario de cara a la supervivencia.

Un ejemplo característico de la resistencia que a veces opone el pensamiento intuitivo a las netas conclusiones del pensamiento analítico lo tenemos en la opinión de H. Lawrence sobre la naturaleza de la Luna: «Me da lo mismo que me digan que la Luna es una roca inerte en el firmamento. Yo sé *positivamente* que no lo es». Por supuesto, la Luna es más que una roca inerte en el firmamento. Es hermosa, tiene connotaciones románticas, es causa de mareas y hasta puede que, en última instancia, sea el factor que condiciona el ciclo menstrual de la mujer. Pero es innegable que uno de sus rasgos es, precisamente, el ser una roca inerte en el cielo. El pensamiento intuitivo se desenvuelve a sus anchas en los dominios en los que hemos tenido experiencia personal de tipo evolucionista, pero en parcelas tan nuevas como la determinación de la naturaleza de los objetos celestes más cercanos a la Tierra, el razonamiento intuitivo debe mostrarse más cauto en sus aserciones y dispuesto a acomodarse a las percepciones que el pensamiento racional arrebató a la naturaleza. Por la misma razón, los procesos del pensamiento racional no constituyen fines en sí mismos, sino que deben entenderse en el contexto más amplio del bienestar humano. La naturaleza y la orientación del empeño racional y analítico deberían estar determinados en buena parte por las implicaciones humanas fundamentales tal como nos son reveladas por el conocimiento intuitivo.

En cierto modo, la ciencia puede ser definida como el pensamiento paranoico aplicado a la naturaleza. En efecto, andamos a la búsqueda de conspiraciones naturales, de nexos entre hechos aparentemente dispares. Nuestro objetivo no

es otro que abstraer configuraciones o modelos de la naturaleza (pensamiento del hemisferio derecho), pero muchas de las pautas propuestas no se corresponden en la práctica con la realidad de estos hechos. De aquí la conveniencia de someter todos los criterios avanzados al cedazo del análisis crítico (pensamiento del hemisferio izquierdo). La búsqueda de configuraciones sin análisis crítico y la ostentación de un rígido escepticismo sin la búsqueda de configuraciones son las antípodas de una ciencia incompleta. La búsqueda efectiva del saber requiere la concurrencia de ambas funciones.

En la actualidad, el cálculo matemático, la física newtoniana y la óptica geométrica —todos ellos inferidos de argumentos esencialmente geométricos— se enseñan y demuestran en gran parte en base a razonamientos analíticos; el hemisferio derecho interviene más en el aspecto creativo de la física y de la matemática que en la enseñanza de dichas disciplinas. Lo mismo ocurre hoy en el terreno de las grandes formulaciones científicas, generalmente intuitivas y expuestas en los artículos científicos, también por norma, mediante argumentos analíticos lineales. Nada anómalo hay en ello. Por el contrario, así es como debe ser. Los actos creativos son en buena medida resultado de los componentes del hemisferio derecho, pero los razonamientos sobre la validez del resultado son, primordialmente, funciones del hemisferio izquierdo.

Una de las más formidables intuiciones de Albert Einstein, de capital importancia para la teoría de la relatividad general, fue la de que la gravitación podía ser entendida asignando el valor cero al tensor contraído de Riemann-Christoffel. Pero este argumento sólo fue aceptado porque era posible determinar con detalle las consecuencias matemáticas de la ecuación, ver si sus predicciones diferían de las de la gravitación newtoniana y recurrir luego a la experimentación para observar de qué lado se inclinaba la naturaleza. En tres notables experimentos —la desviación de la luz estelar en las proximidades del sol; el movimiento de la órbita de Mercurio, el planeta más cercano al astro; el corrimiento hacia el rojo (*red shift*) de las líneas espectrales por acción de un intenso campo gravitatorio estelar—, la naturaleza se inclinó a favor de las teorías de Einstein. Pero de no haber mediado estos ensayos experimentales muy pocos físicos hubiesen dado por buena la teoría de la relatividad general. Existen en el campo de la física numerosas hipótesis de valor y nivel intelectual comparables a las formuladas por Einstein que han sido rechazadas porque no consiguieron salir airoso de la confrontación con la vía experimental. Por mi parte, creo que la condición humana se vería muy beneficiada si esta pugna y afán de poner a prueba las hipótesis científicas y de otro género fuera una constante de nuestra vida social, política, económica, religiosa y cultural.

No sé de ningún progreso científico notable que no requiera un gran acopio de datos de ambos hemisferios cerebrales. No puede decirse otro tanto del arte, campo en el que, manifiestamente, ningún observador, por capacitado, entregado y objetivo que sea, puede llevar a cabo experimentos que determinen a satisfacción de todos qué muestras artísticas deben ser consideradas como obras maestras. Entre los centenares de ejemplos que se podrían aducir, cabe resaltar que los más destacados críticos, revistas y museos de arte de finales del siglo XIX y primeros del XX rechazaron de plano la corriente impresionista francesa. Pues bien, hoy estas mismas instituciones consideran a los artistas de esta tendencia auténticos maestros de la pintura. Tal vez dentro de un siglo el péndulo vuelva a oscilar hacia el otro lado.

Este mismo libro, del que soy autor, viene a ser un ejercicio de reconocimiento de configuraciones, de modelos, una tentativa para llegar a una mínima comprensión de la naturaleza y evolución del intelecto humano a partir de los indicios que proporcionan una amplia variedad de disciplinas científicas y mitos. En buena medida es obra del hemisferio derecho, y durante su elaboración me he despertado muchas veces en mitad de la noche, o de madrugada, desasosegado por el júbilo contenido de una intuición que me había venido a la mente. Pero la autenticidad de estas intuiciones —y confío en que muchas de ellas exijan una revisión sustancial— dependerá de la eficiencia con que haya trabajado mi hemisferio *izquierdo* (y, tam bién, de si he mantenido determinadas formulaciones, por cuanto ignoro las pruebas que las contradicen). En el curso de la redacción de este libro me he visto frecuentemente sorprendido al constatar su carácter de metaejemplo, en el sentido de que tanto su concepción como su ejecución ilustran el tema de que trata.

En el siglo xvn la relación entre cantidades matemáticas podía expresarse de dos maneras: mediante una ecuación algebraica o tra zando una curva. Rene Descartes demostró la identidad formal de estas dos estimaciones del mundo matemático al inventar la geometría analítica, que permite la representación gráfica de las ecuaciones algebraicas. (Digamos de paso que Descartes era, también, un anatomista interesado en la localización de las funciones del cerebro.) En la actualidad, la geometría analítica es una asignatura que se estudia en el bachillerato, pero en la época de referencia supuso una brillante aportación. Sin embargo, una ecuación algebraica es una construcción prototípica del hemisferio izquierdo, en tanto que una curva geométrica regular, es decir, la resultante gráfica obtenida mediante la unión de diversos puntos en el espacio, es una elaboración característica del hemisferio derecho. En cierto sentido, cabe afirmar que la geometría analítica es el cuerpo calloso de las matemáticas. En la actualidad observamos que gran número de teorizaciones, o bien se muestran antagónicas, o bien acusan una evidente falta de interacción. En algunas importantes instancias suponen un enfrentamiento entre consideraciones o perspectivas del hemisferio izquierdo y del hemisferio derecho. Una vez más se echa desesperadamente en falta un nexo que, como en el caso de Descartes, relacione teorías en apariencia inconexas o antitéticas.

Pienso que las actividades creativas más notables surgidas en nuestra cultura o en cualquier otra cultura humana anterior —códigos legales y éticos, arte y música, ciencia y técnica— fueron posibles merced a la acción conjunta de los hemisferios cerebrales derecho e izquierdo. Esos actos creativos, aun cuando se produzcan raras veces o correspondan sólo al empeño de unos pocos, han contribuido a transformar el hombre y el mundo. Bien podría decirse que la cultura humana es la función por excelencia del cuerpo calloso.

La evolución futura del cerebro

La peligrosidad es cosa del futuro ... Los más notables avances de la civilización son procesos que casi aniquilan a las sociedades en cuyo seno se producen.

ALFRED NORTH WHITEHEAD, *Adventures in ideas*

La voz del intelecto es callada, pero no cesa hasta con quistar una audiencia y, en última instancia, después de interminables repudios, consigue su objetivo. Es este uno de los pocos aspectos en los que cabe un cierto optimismo sobre el futuro de la humanidad.

SIGMUND FREUD, *El futuro de una ilusión*

La mente del hombre es capaz de todo, porque todo está contenido en ella, tanto el pasado como el futuro.

JOSEPH CONRAD, *Heart of Darkness*

El cerebro humano parece hallarse en una fase de inestable tregua, con esporádicas escaramuzas y raros combates.

La existencia de componentes cerebrales con predisposición hacia un tipo de conducta no es una invitación al fatalismo ni a la angustia, puesto que ejercemos un control sustancial sobre el grado de intervención de cada uno de estos componentes. La anatomía no es determinismo, pero tampoco un factor irrelevante. Hay por lo menos algunas enfermedades mentales que pueden interpretarse en base a la existencia de un conflicto entre las partes neurales concurrentes. La mutua represión entre los componentes cerebrales se pola riza en múltiples direcciones. Hemos mencionado ya la represión que ejercen el sistema límbico y el neocórtex sobre el complejo R, pero puede darse también a través de la propia comunidad social una represión del complejo R sobre el neocórtex y de un hemisferio cerebral sobre otro.

El hombre examinándose a sí mismo Ohra de Vesalio, madre de la anatomía moderna.

Por regla general, las sociedades humanas no son innovadoras, sino más bien jerárquicas y ritualistas. Cualquier sugerencia de cambio se acoge con recelo, ya que implica la incómoda transformación futura del ritual y la jerarquía imperantes, es decir, la sustitución de una serie de rituales por otra o, tal vez, por una sociedad menos estructurada y regida por un número inferior de rituales. Sin embargo, llega un momento en que es preciso que las sociedades cambien. «Los dogmas de un pasado tranquilo son insuficientes para un presente tumultuoso», aseveró Abraham Lincoln. Buena parte de las dificultades que surgen al intentar reestructurar las sociedades norteamericanas y de otros pueblos arrancan de la resistencia que oponen los grupos que tienen intereses creados en el *statu quo*. Es probable que una transformación profunda de la sociedad obligue a los que ocupan el pináculo de la jerarquía a descender muchos peldaños, lo cual les irrita y les mueve a ofrecer resistencia.

Sin embargo, se observa en la sociedad occidental algún cambio, incluso cambios de consideración, aunque a todas luces insuficientes. Pero en todo caso, las mutaciones son ahí más evidentes que en ninguna otra sociedad. En efecto, las culturas más arcaicas y estáticas se muestran mucho más reticentes ante cualquier transformación. En *The forest people* (Los habitantes de la selva), Colin Turnbull nos ofrece una conmovedora descripción de una muchacha pigmea tullida a la que unos antropólogos que visitaron la tribu proporcionaron lo que en aquel momento constituía una asombrosa innovación: un par de muletas. A pesar de que sirvieron para paliar en gran manera los sufrimientos de la muchachita, los adultos de la tribu, sin excluir a los padres, se mostraron indiferentes ante esta invención.

Quizá deba hacer notar, en defensa de los pigmeos, que un amigo mío que ha pasado tiempo entre ellos señala que en actividades tales como el paciente acecho y caza de mamíferos y peces el pigmeo se prepara intoxicándose con marihuana, que ayuda a soportar la larga espera, tediosa para cualquier especie más evolucionada que el dragón de Komodo. Según dice mi amigo, los nativos sólo cultivan la *cannabis sativa*. Sería irónicamente interesante que el cultivo de la marihuana a lo largo de la historia humana hubiera conducido como norma a la invención de la agricultura y, por esta vía, a la civilización. (Una parodia burlesca del pigmeo intoxicado con marihuana, apostado pacientemente en solitario durante una hora con la caña de pescar en la mano, podría ser la figura del cazador saturado de cerveza, camuflado protectoramente en un rojo tartán, que todos los años, al llegar el día de Acción de Gracias, merodea con paso tambaleante por los bosques aledaños a los barrios

Existen muchos otros ejemplos de desapego hacia todo lo nuevo en las sociedades de corte tradicional, y podrían abstraerse numerosos casos ilustrativos repasando las vidas de personajes como Leonardo, Galileo, Erasmo, Darwin o Freud.

Por regla general, el tradicionalismo que exhiben muchas sociedades estáticas tiene una misión adaptativa. Las formas culturales que rigen en ella se han desarrollado trabajosamente a lo largo de muchas generaciones, y se sabe que cumplen a satisfacción sus propósitos. Al igual que ocurre en las mutaciones, un cambio fortuito puede interferir esta dinámica. Pero también como aquéllas, los cambios son necesarios para conseguir la adaptación a nuevas circunstancias ambientales. La tensión entre estas dos tendencias puntea gran parte de las pugnas políticas de nuestra era. En las épocas caracterizadas por una rápida transformación del medio físico y social, como ocurre en nuestros días, la acomodación al cambio y la aceptación del mismo tienen un fin adaptativo, pero no así en las sociedades que habitan en un entorno estático. Las formas de vida de los pueblos cazadores-recolectores han sido de utilidad al hombre durante un largo periodo de nuestra historia, y creo que existen pruebas irrefutables de que en cierto sentido la evolución nos ha configurado para que nos desenvolvamos en una cultura de este tipo. Al abandonar la vida del cazador-recolector abandonamos la infancia de nuestra especie. Tanto la cultura primitiva como la cultura de la era tecnológica son productos del neocórtex. A la sazón, nos encaminamos irreversiblemente por esta última senda, pero necesitaremos algún tiempo para acoplarnos a sus exigencias.

Gran Bretaña ha dado al mundo una serie de eruditos y científicos muy versados en varias disciplinas, algunas veces en posesión de un conocimiento enciclopédico. Por lo que atañe a nuestra época podemos citar los nombres de Bertrand Russell, A. N. Whitehead, J. B. S. Haldane, J. D. Bernal y Jacob Bronowski. Según Russell, para que surjan individuos tan dotados es preciso que su infancia haya discurrido sin apenas presiones y lejos de todo conformismo, que el muchacho o muchacha haya podido cultivar y acrecentar sus intereses por peculiares y extravagantes que pudieran parecer. Debido a las fuertes presiones que el Estado y el propio entorno ejercen en los muchachos dotados para someterlos a las exigencias sociales, no es extraño que ni en Estados Unidos, ni menos aún en la Unión Soviética, Japón o la República Popular China, surja un número proporcional de individuos en posesión de conocimientos enciclopédicos. Creo, por lo demás, que existen indicios de que también Gran Bretaña conoce en la actualidad un manifiesto declive en este aspecto.

Hoy más que nunca, cuando tantos y tan complejos problemas asaltan a la especie humana, es necesaria la presencia de individuos con un alto coeficiente intelectual y un amplísimo campo de intereses. Habría que encontrar la fórmula, compatible con los ideales democráticos que pregonan estos países, para estimular, sin deshumanizar la tarea, el desarrollo intelectual de aquellos adolescentes especialmente dotados. Sin embargo, el panorama es desalentador, ya que tanto los sistemas docentes como los métodos de examen que rigen en la mayoría de estos países adolecen de una ritualización casi reptilica del proceso educacional. En ocasiones me pregunto si la carga agresiva y sexual de los productos televisivos y fílmicos que ofrecen las productoras norteamericanas refleja el hecho de que el complejo R se halla bien afirmado en todos nosotros, en tanto que muchas funciones neocorticales se expresan más raramente porque estamos menos familiarizados con ellas y no las apreciamos en su justo valor, debido, en parte, a la naturaleza represiva de las instituciones docentes y de la propia comunidad nacional.

Un cazador-recolector acecha a su presa y, a la vez, educa al muchacho. Esta forma de vida, que durante millones de años ha sido característica de nuestra especie, se halla a la sazón casi extinta.

Como resultado de los profundos cambios sociales y tecnológicos acaecidos en los últimos siglos, el mundo no marcha como es debido. Resulta que no vivimos en sociedades tradicionales estáticas, pero nuestros gobiernos, opuestos al cambio, actúan como si así fuera. Si antes no nos destruimos a nosotros mismos, el futuro pertenece a las comunidades sociales que, sin ignorar las partes reptílicas y los componentes propios de los mamíferos, permitan el florecimiento de los rasgos genuinamente humanos de nuestra naturaleza, a las sociedades dispuestas a invertir recursos en una multiplicidad de experimentos de orden social, político, económico y cultural, y que estén dispuestas a sacrificar ventajas inmediatas por beneficios a largo plazo. El futuro pertenece, en fin, a las sociedades que consideran las ideas innovadoras como delicadas, frágiles y preciosas vías hacia el futuro.

Un mejor conocimiento del cerebro puede influir también algún día en cuestiones sociales tan delicadas como son la definición de la muerte y la aceptabilidad del aborto. Por regla general, en los países de Occidente priva el criterio ético de que, si las circunstancias lo justifican, es permisible dar muerte a primates distintos del hombre y, con mayor motivo, a otros mamíferos. Sin embargo, un individuo no puede, en las mismas circunstancias, matar a otro ser humano. De ello se infiere que la diferencia entre una y otra actitud se explica por las cualidades específicamente humanas del cerebro. De la misma manera, cuando funcionan partes sustanciales del neocórtex, debe considerarse que el paciente en estado de coma está ciertamente vivo en un sentido humano, a pesar del grave deterioro de otras funciones físicas y neurológicas. Por el contrario, un paciente vivo pero que no presente indicios de actividad neocortical (ni siquiera la que se da durante el sueño) debe conceptuarse, en un sentido humano, como muerto. En muchos de estos casos el neocórtex ha dejado fatalmente de funcionar, mientras que el sistema límbico, el complejo R y los componentes cerebrales inferiores siguen operantes, a la par que funciones básicas como la respiración y la circulación sanguínea no se ven afectadas. En mi opinión hace falta profundizar más en el conocimiento de la fisiología del cerebro humano antes de poder dar una definición genérica y bien fundamentada de la muerte, pero lo más probable es que la senda que conduce a esta definición nos lleve a contraponer el neocórtex a los restantes componentes del cerebro.

Ideas similares podrían ayudar a resolver el apasionado debate sobre el aborto surgido en los Estados Unidos

mediado el actual decenio, una controversia en extremo vehemente caracterizada por el rechazo rotundo de los puntos de vista de la otra parte. Por un lado están los que sostienen el derecho innato de la mujer al «control de su propio cuerpo», lo cual incluye, según los que defienden esta tesis, el poder provocar la muerte del feto en base a diversos motivos, entre los que destacan la aversión psicológica a engendrar un hijo y la falta de medios para educarlo. En el otro extremo están los que defienden la idea del «derecho a la vida», la aserción de que la muerte de un simple cigoto, de un óvulo fertilizado antes de la primera etapa embrionaria, equivale a un asesinato, por cuanto el cigoto lleva en sí la capacidad de dar vida a un ser humano. Soy perfectamente consciente de que en un tema en el que concurren sentimientos tan apasionados toda solución que se proponga no satisfará a ninguna de las dos partes, y en ocasiones el corazón y la mente nos llevan a diferentes conclusiones. Sin embargo, retomando algunas ideas avanzadas en capítulos anteriores de este libro, quisiera ofrecer aunque sólo fuera una tentativa de compromiso razonable.

En indiscutible que legalizando el aborto se evita el drama y la carnicería a que conduce muchas veces el aborto clandestino realizado por manos incompetentes, y que en una civilización cuya supervivencia se ve amenazada por el espectro de un crecimiento demográfico sin control alguno, el aborto médico puede redundar en beneficio de la sociedad. Por otro lado, el infanticidio a secas resuelve de golpe ambos problemas y de hecho se ha empleado de manera generalizada en el seno de numerosas comunidades humanas, entre ellas determinados sectores sociales de la antigua Grecia, país que suele considerarse como la cuna de nuestra cultura. En la actualidad sigue practicándose en gran medida; en muchas partes del mundo uno de cada cuatro recién nacidos no vive más allá de un año. Sin embargo, y con arreglo a las leyes que rigen en la sociedad occidental, no cabe la menor duda de que el infanticidio constituye un asesinato. Teniendo en cuenta que un sietemesino, es decir, un niño nacido prematuramente en el séptimo mes del embarazo, no se diferencia en nada fundamental del feto que lleva siete meses en el útero, me parece lógico concluir que el aborto, por lo menos en los últimos tres meses, ronda el asesinato. Las objeciones de que el feto durante el tercer trimestre todavía no respira me parecen un tanto equívocas, y, así, cabría preguntarse si es permisible cometer infanticidio inmediatamente después de que la criatura haya nacido, cuando todavía no se ha cortado el cordón umbilical ni el niño ha aspirado la primera bocanada de aire. En una línea discursiva similar, si yo no estoy psicológicamente preparado para convivir con un extraño, por ejemplo, en un cuartel o en una residencia universitaria, no por ello tengo derecho a darle muerte, y, de la misma manera, la irritación que pueda producirme el destino que se da al dinero que pago en concepto de impuestos no debe llevarme al extremo de exterminar a los recipiendarios de los mismos. Con frecuencia suele entremezclarse en estos debates la cuestión de las libertades civiles. ¿Por qué se me han de imponer las convicciones de otros sobre esta cuestión?, se preguntan algunos. Con todo, aquellos que personalmente no suscriben el concepto convencional de asesinato, se ven constreñidos por la sociedad a someterse a lo dispuesto en el código penal.

En el polo opuesto de la discusión, la frase «derecho a la vida» constituye un ejemplo claro de expresión altisonante concebida para impresionar más que para aclarar las cosas. Ni hoy ni nunca ha existido en ningún país de la tierra el derecho a la vida (tal vez haya alguna excepción, como los jainís de la India). Criamos animales domésticos para luego darles muerte, destruimos los bosques, contaminamos ríos y lagos hasta causar la muerte de toda la fauna piscícola, cazamos venados por deporte, leopardos por la piel y ballenas para preparar comida para los perros, atrapamos a los delfines, boqueantes y semiasfixiados, con grandes redes del tipo utilizado para la pesca del atún, y sentenciamos a muerte a los perros cachorros para «equilibrar la población». Todos estos animales y vegetales están tan vivos como nosotros. Lo que muchas sociedades humanas protegen no es la vida, sino la vida del hombre, y aun así desencadenamos guerras con medios «modernos» que causan estragos en la población civil y que suponen un tributo tan escandaloso que muchos de nosotros ni siquiera nos atrevemos a entrar en su consideración. A menudo se intenta justificar este genocidio acudiendo a una redefinición racista o nacionalista de nuestros oponentes que no les reconoce siquiera la condición de hombres.

Debo decir, también, que el argumento acerca de la capacidad del cigoto para dar vida a un ser humano me parece sumamente endeble. En circunstancias propias cualquier óvulo o esperma tiene este mismo potencial. Con todo, ni la masturbación ni las poluciones nocturnas del varón suelen conceptuarse como actos antinaturales merecedores de una condena por asesinato. Una sola eyaculación contiene suficiente número de espermatozoos para generar centenares de millones de seres humanos. Por si esto fuera poco, es posible que en un futuro no muy lejano podamos dar vida a un ser humano a partir de una simple célula tomada prácticamente de cualquier parte del cuerpo del donante. Si ello es así, cualquier célula del organismo debidamente preservada hasta el momento en que la gestación extracorpórea se lleva a la práctica con garantías puede llegar a convertirse en un ser vivo. Por lo demás, ¿cometo un genocidio si me pincho un dedo y vierto una gota de sangre? Como puede observarse, se trata de cuestiones muy complejas. Asimismo, me parece evidente que la solución debe entrañar un compromiso entre un número de valores muy preciados pero antagonicos. La cuestión clave del dilema radica en poder determinar en qué momento el feto puede considerarse un ser humano, dilema que a su vez depende de lo que se entienda por humano. Desde luego, no el hecho de tener una configuración humana, porque una masa de material orgánico que se asemejara a un hombre pero que fuera elaborada con tal fin no podría considerarse propiamente humana. Asimismo, un hipotético ser extraterrestre dotado de inteligencia que no se asemejara a nosotros pero que poseyera unas cualidades éticas, intelectuales y artísticas superiores a las del hombre debería entrar en nuestro cuadro de prohibiciones contra el asesinato. Lo que acredita nuestra condición humana no es lo que parecemos, sino lo que somos. La razón por la que prohibimos dar muerte a otro ser humano debe sustentarse en alguna cualidad peculiar del hombre, cualidad a la que conferimos especial valor y que pocos o ningún otro organismo de la Tierra posee. Es indudable que la humanidad de un ser no viene determinada por el hecho de que sea capaz de sentir dolor o emociones intensas, ya que entonces deberíamos extender este criterio a los animales a los que damos muerte gratuitamente.

Creo que la cualidad humana básica no puede ser otra que nuestra inteligencia. Si lo consideramos así, la inapelable inviolabilidad de la vida humana puede identificarse con la evolución y la presencia del neocórtex. No podemos exigir que se trate de una evolución plena porque ésta no se produce hasta muchos años después del nacimiento, pero tal vez podríamos determinar que el tránsito a la fase humana acaece en el momento en que se inicia la actividad neocortical tal como viene registrada por la electroencefalografía del feto. La observación de algunas funciones biológicas muy simples nos ofrece indicativos del momento en que el cerebro cobra un carácter específicamente humano (véase la figura de la página siguiente). Hasta la fecha se ha investigado muy poco dicha cuestión, y estoy convencido de que los estudios en este terreno desempeñarían un papel determinante en la consecución de un compromiso aceptable que zanjara los debates sobre el aborto. Indudablemente, habría diferencias de un feto a otro en cuanto al momento de iniciación de las primeras señales electroencefalográficas del neocórtex, y todo intento de formular una definición legal del momento en que comienza la vida propiamente humana debería adoptar una pauta de prudencia, es decir, en favor del feto menos desarrollado capaz de exhibir tal actividad. Tal vez el momento de transición habría que fijarlo hacia el término del primer trimestre o próximo al inicio del segundo trimestre del embarazo. (Estamos hablando aquí de lo que, en una sociedad de seres racionales, debería estar prohibido por la ley. O sea, que todo aquel que piense que el aborto de un feto menos desarrollado que el propuesto como base constituye un asesinato, no tiene por qué verse obligado a llevar a cabo ni aceptar el aborto en cuestión.)

Pero una aplicación consecuente de las ideas expuestas ha de rehuir todo intento de chovinismo humano. Si existen otros organismos cuya inteligencia, aunque de grado inferior, corresponda a la de un ser humano completamente desarrollado, habría que ofrecerles por lo menos la misma protección contra el asesinato que deseamos hacer extensiva al ser humano ya en los comienzos de su vida uterina. Por todo ello, habida cuenta de que existen cuando menos pruebas suficientes que abonan la creencia de que los delfines, ballenas y simios de toda especie son criaturas inteligentes, estimo que toda postura moral sobre el aborto que sea un poco consistente ha de contener severas disposiciones contra, por lo menos, la matanza injustificada de estos animales. Pero creo que la clave última de la solución a la controversia sobre el aborto debe dársela la investigación de la actividad neocortical del feto.

¿Qué decir de la evolución futura del cerebro humano? Cada vez se amplía más el ya numeroso cúmulo de pruebas de que muchas enfermedades mentales son consecuencia de alteraciones químicas o de la red neural del cerebro. Dado que muchas enfermedades mentales presentan los mismos síntomas, cabe pensar que tienen un mismo origen y que, por lo tanto, deben ser tratadas con arreglo a una misma terapéutica.

Cuatro fases del proceso embrionario del cerebro humano: A) después de tres semanas de embarazo; B) transcurridas siete semanas; C) después de cuatro meses, y D) en un recién nacido. En las fases A y B el cerebro se asemeja en gran manera al de los peces y anfibios.

Hughlings Jackson, pionero de la neurología en el siglo XIX, observó: «Averigua el contenido de los sueños y conocerás la causa de la insania». Los individuos que no pueden soñar a menudo o tienen dificultades para hacerlo sufren alucinaciones durante el día. La esquizofrenia, por ejemplo, suele llevar aparejado insomnio nocturno, aunque no ha podido determinarse si se trata de una causa o de un efecto. Uno de los aspectos más conmovedores de la esquizofrenia es la infelicidad y la angustia que provoca en sus víctimas. ¿No es posible que la esquizofrenia sea la situación resultante ante la imposibilidad de mantener encadenados a nuestros dragones, cuando éstos han roto los grillos que les sujetaban al hemisferio izquierdo y salen bruscamente a la luz del día? Tal vez otras dolencias sean consecuencia de un menoscabo de la función del hemisferio derecho. Así, pocas veces se observan flujos intuitivos en los enfermos obsesivo-compulsivos.

A mediados de los sesenta, Lester Grinspoon y sus colegas de la Facultad de Medicina de Harvard llevaron a cabo una serie de experimentos controlados sobre el valor relativo de distintas técnicas terapéuticas en el tratamiento de la esquizofrenia. Por el hecho de ser psiquiatras, si alguna deformación profesional podía imputárseles era su preferencia por las técnicas de comunicación frente a los tratamientos farmacológicos. Pero con gran sorpresa por su parte descubrieron que la tioridacina (medicamento perteneciente a un grupo de drogas antipsicóticas que producen aproximadamente el mismo efecto y que se conocen como fenotiacinas), tranquilizante recién descubierto, resultaba mucho más eficaz para dominar la enfermedad que para sanarla. Lo cierto es que, al decir de los propios enfermos, psiquiatras y familiares, la tioridacina era por sí sola tan eficaz, al menos, como el medicamento más la psicoterapia. Sorprende la integridad de los investigadores ante el imprevisto resultado de sus experimentos. (Es poco probable que haya un sólo experimento capaz de convencer a los jefes de fila de muchas doctrinas políticas o religiosas de la superioridad de una doctrina antagonista.)

Una serie de investigaciones llevadas a cabo recientemente muestra que las endorfinas, moléculas proteínicas de escaso volumen que se forman por generación espontánea en el cerebro de las ratas y otros mamíferos, pueden provocar en estos animales una marcada rigidez muscular y sumirlos en un torpor que recuerda el estado catatónico del esquizofrénico. Todavía desconocemos si la esquizofrenia, antaño padecida por uno de cada diez enfermos internados en los hospitales estadounidenses, tiene un origen molecular o neurológico, pero no es improbable que algún día podamos determinar con exactitud qué componentes o qué sustancias neuroquímicas son causantes de este desarreglo mental.

Los experimentos llevados a cabo por Grinspoon y colaboradores han suscitado un singular dilema en el campo de la ética profesional. En la actualidad los sedantes que se administran a los esquizofrénicos son de tal eficacia que, por norma, se considera inmoral retirárselos al paciente. De ello se sigue que los experimentos realizados para demostrar la

eficacia de un sedante no pueden repetirse, pues se considera una crueldad innecesaria negar al paciente el tratamiento que más contribuye a mejorar su condición y, en consecuencia, es difícil poder experimentar con un grupo de esquizofrénicos privado de dichos medicamentos. Si los experimentos críticos de la quimioterapia de los desórdenes cerebrales sólo pueden realizarse una sola vez, es obvio que deberán hacerse tomando toda clase de garantías para no cometer equivocaciones.

Un ejemplo todavía más sorprendente de este tipo de quimioterapia es el uso del carbonato de litio en el tratamiento de los maníaco-depresivos. La ingestión de dosis de litio cuidadosamente controladas —el litio es el metal más simple y de menor peso específico que se conoce— alivia considerablemente los síntomas de esta terrible enfermedad, siempre según el testimonio del paciente y de los que cuidan de él. Se ignoran los motivos con los cuales una terapia tan sencilla produce efectos tan contundentes, pero lo más probable es que tenga que ver con la química enzimática del cerebro.

Una de las más raras dolencias mentales es la llamada enfermedad de Gilles de la Tourette (que toma el nombre, como es habitual, no del personaje más célebre que la padeció, sino del médico que la identificó como tal). Uno de los muchos trastornos motores y del lenguaje que componen los síntomas de esta dolencia es una manifiesta compulsión a proferir —en el idioma en que el paciente se exprese con más fluidez— una sarta ininterrumpida de imprecaciones y obscenidades. Los médicos aluden a la identificación de esta enfermedad como la «diagnos del pasillo». No sin grandes dificultades el paciente logra dominar su compulsión durante el intervalo de una corta visita médica, pero tan pronto abandona el consultorio y sale al pasillo prorrumpe en un torrente de palabrotas. Sin duda existe en el cerebro un componente que genera las palabras «feas», y es posible que también los simios lo posean.

El hemisferio derecho sólo puede despachar con éxito muy con todas palabras; expresiones de salutación como «hola», «adiós» y... unas cuantas obscenidades selectas. Tal vez la enfermedad de Tourette afecta solamente al hemisferio izquierdo. El antropólogo británico Bernard Campbell, de la Universidad de Cambridge, manifiesta que el sistema límbico está bien acoplado con el hemisferio cerebral derecho, que, como hemos visto, regula mucho mejor las emociones que el hemisferio izquierdo. Aparte de otros contenidos, las palabras soeces implican emociones intensas. Sin embargo, y a pesar de su complejidad, la enfermedad de Gilles de la Tourette parece ser una deficiencia específica de una sustancia química que actúa de transmisor de neuronas y puede aliviarse en gran manera mediante dosis cuidadosamente reguladas de haloperidol.

Según se desprende de las más recientes investigaciones, las hormonas límbicas como el ACTH y la vasopresina pueden incrementar grandemente la capacidad de retención y evocación en los animales. Estos y otros experimentos parecidos apuntan la posibilidad, ya que no del perfeccionamiento integral del cerebro, sí, por lo menos, de unas perspectivas de mejora sustanciales, tal vez modificando la abundancia o regulando la producción de pequeñas proteínas cerebrales. De los ejemplos mencionados se desprende también que los pacientes experimentan una notable disminución del sentimiento de culpa que suele acompañar a una enfermedad mental, carga que rara vez encontramos, pongamos por caso, en los enfermos de sarampión.

La notable fisuración, las circunvoluciones y pliegues corticales del cerebro, así como el hecho de que encaje tan ajustadamente en el cráneo, hacen altamente improbable un aumento suplementario de la masa cerebral. La masa cerebral y la bóveda craneal sólo sufrieron un aumento en fase evolutiva reciente dadas las limitaciones que imponía la pelvis y el canal del parto. Con todo, la práctica de la cesárea, muy rara hace dos mil años, pero muy común en nuestros días, permite que nazcan individuos con mayor volumen cerebral. Otra posibilidad radica en el perfeccionamiento de una tecnología médica que permita el desarrollo integral del feto fuera del útero materno. Sin embargo, el ritmo del cambio evolutivo es tan lento que no cabe pensar en la superación de los problemas que hoy nos asaltan mediante un incremento notable del neocórtex que, consiguientemente, se tradujera en la generación de individuos dotados de un mayor grado de inteligencia. Pero antes de que llegue este momento, aunque no en un futuro inmediato, cabe dentro de lo posible que la neurocirugía potencie aquellos componentes cerebrales que nos parezcan más idóneos e inhiba la acción de aquellos otros que tal vez son causa de algunos de los peligros y contradicciones con que se enfrenta la humanidad. De todos modos, la complejidad y la redundancia de las funciones cerebrales imposibilitan que todo ello se lleve a la práctica en un corto lapso de tiempo, aun en el supuesto de que fuera socialmente apetecible. Lo más probable es que lleguemos antes a elaborar los genes que a remodelar el cerebro.

A veces se indica que este género de experimentos ponen en manos de gobernantes poco escrupulosos, y los hay en cantidad, instrumentos que les permiten oprimir todavía más a sus subditos. No es difícil, por ejemplo, pensar en un gobierno que aplique por sistema cientos de pequeños electrodos a los centros del «placer» y del «dolor» en el cerebro de los neonatos, electrodos capaces de ser estimulados por radio y a gran distancia, quizá utilizando frecuencias de onda o códigos de acceso sólo conocidos por las autoridades del país en cuestión. Cuando el niño fuera ya un adulto el gobierno estaría en condiciones de estimular, si así lo deseara, sus centros de placer caso de haber cumplido con la porción de trabajo asignada sin desviacionismos ideológicos, en caso contrario, podría optar por estimular sus centros de dolor. Aun cuando se trata de una visión dantesca, no creo que sea un argumento contra los experimentos en torno a la estimulación eléctrica del cerebro; más bien constituye un argumento en contra de la gestión estatal de los hospitales. En el momento en que la comunidad social permitiera a sus gobernantes implantar el uso de estos electrodos puede decirse que tendría la batalla perdida y tal vez, incluso, que merece lo que le viene encima. Como siempre que entran en juego este tipo de pesadillas tecnológicas hay que intentar, ante todo, anticiparse lo más posible a los acontecimientos, educar a la ciudadanía en el buen uso de estos medios e impedir su empleo desorbitado por parte de las autoridades o el lastre de un exceso de organización y de burocracia en su utilización.

Existe ya una amplia gama de drogas psicotrópicas que inciden en el estado de ánimo del individuo y que son, en diverso grado, peligrosas o beneficiosas (el alcohol etílico es quizás una de las más usadas y una de las más peligrosas). Al parecer actúan en áreas específicas del complejo R, del sistema límbico y del neocórtex. Si continúa la actual tendencia, aunque no exista incitación gubernamental, la gente proseguirá sintetizando estas drogas en laboratorios caseros y experimentando por su cuenta con ellas, hecho que representa un pequeño paso adelante en nuestro conocimiento del cerebro, de sus disfunciones y de sus posibilidades latentes.

Existen motivos para creer que muchos alcaloides y otros medicamentos afectan a nuestros actos en razón de su semejanza química con pequeñas proteínas naturales del cerebro como las endorfinas. Muchas de estas proteínas actúan sobre el sistema límbico e interesan a nuestro estado emocional. En la actualidad es posible sintetizar pequeñas proteínas compuestas por una secuencia cualquiera de aminoácidos. Así, es probable que en breve se pueda sintetizar una gran variedad de moléculas capaces de inducir en el hombre múltiples estados emocionales, incluso aquellos que se dan raras veces. Por ejemplo, existen indicios de que la atropina —uno de los principales ingredientes activos de la cicuta, el digital, la belladona y ciertas plantas de agua dulce— produce la sensación de estar volando, y de hecho estas plantas sirvieron en su día a las brujas medievales para preparar ungüentos que luego se aplicaban a la mucosa genital y que lejos de permitirles volar en sus escobas, como decían, se limitaban a sumirlas en alucinaciones inducidas por la atropina. Sin embargo, la vívida alucinación de estar volando es una sensación muy específica causada por una molécula relativamente simple. Tal vez llegue a sintetizarse una gama de pequeñas proteínas que susciten en el individuo estados emocionales nunca experimentados con anterioridad. Es esta una de las múltiples expectativas a corto plazo en el ámbito de la química cerebral, llena de promesas tanto en lo positivo como en los aspectos negativos. Todo dependerá del buen criterio que demuestren los que dirigen, controlan y aplican esta investigación.

Cuando salgo de la oficina y me siento al volante, me doy cuenta de que a menos que realice un esfuerzo consciente lo más probable es que me encamine en derechura a casa, y a la inversa, cuando salgo de casa y me subo al coche, si no realizo un esfuerzo similar, una parte de mi cerebro ordena los acontecimientos de forma que acabe dirigiéndome a la oficina. Si cambio de residencia o de lugar de trabajo, tras un corto periodo de aprendizaje las nuevas ubicaciones sustituyen a las anteriores, y sea cual fuere el mecanismo cerebral que regula mis actos, el caso es que se ha adaptado fácilmente a las nuevas coordenadas. Estos hechos equivalen a la autoprogramación de una parte del cerebro que funciona como un computador digital. La comparación cobra aún mayor realce en el momento en que nos damos cuenta de que los epilépticos a los que sobreviene un trastorno psicomotor se comportan exactamente igual, tal vez con la única diferencia de que se saltan unos cuantos semáforos rojos más que yo, pero de modo que al remitir el ataque no conservan un recuerdo consciente de sus actos. Este género de automatismos es un síntoma típico de la epilepsia del lóbulo temporal y, también, un rasgo característico de mi primera media hora de vigilia por las mañanas. A decir verdad no todas las partes del cerebro funcionan como un simple computador digital. Por ejemplo, la parte que realiza la reprogramación es bastante diferente. Sin embargo, existen suficientes similitudes para pensar que es posible arbitrar constructivamente un arreglo eficaz y compatible entre los computadores electrónicos y, por lo menos, algunos componentes cerebrales unidos en una estrecha asociación neurofisiológica.

El neurofisiólogo español José Rodríguez Delgado ha ideado una serie de bucles de realimentación idóneos entre electrodos implantados en cerebros de chimpancé y computadores electrónicos situados a gran distancia. La comunicación entre el cerebro y el computador se logra mediante una conexión por radio. Hoy en día la miniaturización de los computadores electrónicos ha llegado a un punto en que este tipo de bucles de realimentación pueden ser *hardwired*, y no se precisa de conexión por radio con una alejada terminal de computador. Por ejemplo, es enteramente posible proyectar un bucle de realimentación autónomo que permita detectar la inminencia de un ataque epiléptico y estimular automáticamente los centros cerebrales correspondientes para prevenir o atemperar el ataque. Todavía no hemos llegado al punto de poder recurrir a este método con plenas garantías, pero todo parece indicar que estamos camino de conseguirlo.

Tal vez algún día sea posible añadir al cerebro una variedad de artilugios protéticos cognoscitivos e intelectuales, calar una especie de gafas a la mente. Ello estaría en la línea de la evolución por acrecentamiento que ha conocido el proceso de cerebración, y con toda seguridad es más factible que intentar reestructurar el cerebro tal como está conformado actualmente. Es posible que algún día puedan implantarse quirúrgicamente en el cerebro pequeños módulos intercambiables de computador o terminales de radio que nos enseñen a hablar rápida y fluidamente vasco, urdú, amárico, ainú, albano, nu, hopi, kung o el lenguaje de los delfines; que nos dé a conocer los valores numéricos de la función gamma incompleta o de los polinomios de Tchebycheff; que nos muestre la historia natural relativa a las facultades rastreadoras de los animales, que dictamine cuáles son los precedentes legales sobre la propiedad de las islas flotantes, o que facilite, aunque sea temporalmente, la telepatía por ondas radioeléctricas entre varios individuos en una forma de asociación simbiótica antes desconocida para nuestra especie.

Sin embargo, la prolongación real de las facultades de nuestro cerebro, en especial de aquellos aspectos genuinamente humanos regulados por el neocórtex, está ya a punto de consumarse. Algunos de ellos son tan antiguos que ni siquiera recordamos que se hayan configurado. La existencia de un entorno cultural estimulante y no represivo para los niños representa un instrumento educativo muy eficiente y prometedor. El lenguaje escrito es un notable invento que en esencia no es otra cosa que un simple mecanismo para la acumulación y recuperación de una muy compleja información. La cantidad de información contenida en una biblioteca de grandes proporciones supera con mucho el volumen de información que contienen el genoma o el cerebro humanos. Desde luego, los datos no están tan eficazmente almacenados como en los órganos biológicos, pero a pesar de todo su condensación se mantiene dentro de

unos márgenes útiles, y los avances en el campo del microfilm, las microfichas y otros elementos auxiliares por el estilo han ampliado en gran manera la capacidad de almacenamiento de información por parte del hombre. Si trasladamos al gráfico de la página 32 el número de bits de información contenidos en las bibliotecas, museos y otras instituciones culturales, éstos se plasmarían en un punto situado muchas potencias de 10 más allá del margen derecho del gráfico.

Con todo, la escritura es un elemento mecánico *muy* simple. El computador electrónico es mucho más perfecto y ofrece muchísimas y más prometedoras posibilidades de almacenamiento y procesamiento de información extrasomática. Para hacernos una idea del nivel de perfección alcanzado por tales computadores y los programas con que operan, baste decir que en la actualidad juegan inmejorablemente al tres en raya, emulan a los mejores jugadores de damas, son expertos ajedrecistas y conducen una sesión de psicoterapia de manera aceptable. En la actualidad existe un nuevo computador capaz de transcribir al papel pautado una partitura clásica o una melodía cualquiera interpretada en directo. Ni que decir tiene que la capacidad de almacenaje y velocidad de procesamiento de la información mediante computador es realmente portentosa.

Un buen ejemplo del servicio que hoy puede prestar un ordenador programado con fines psicoterapéuticos (téngase presente que hay todavía cantidad de programas mucho más complejos y mejor estructurados), lo constituye un programa de psicoterapia no dirigida elaborado por Joseph Weizenbaum, del Instituto Tecnológico de Massachusetts. Concluida la confección del programa psicoterapéutico el ordenador fue confrontado a un psiquiatra que se relacionaba con aquél mediante el teclado de una consola conectada al computador. Las palabras del psiquiatra aparecen transcritas en letras de caja baja y los del ordenador-terapeuta en caracteres de caja alta. Probablemente la idea era que el diálogo tuviera un carácter heurístico, pero la cosa seguramente se frustró por culpa del... psiquiatra. La conversación entre el psiquiatra-paciente y el computador-terapeuta se inicia del siguiente modo:

doctor, tengo algo terrible que contarle.

DICE USTED QUE TIENE ALGO TERRIBLE QUE CONTARME.

sí, en el M.I.T. *Massachusetts Institute of Technology* hay un computador con un programa que va a terminar con nosotros.

¿POR QUÉ DICE USTED ESO?

porque lo he visto actuar.

DICE USTED QUE LO HA VISTO ACTUAR.

es espantoso; debería verlo.

CREE USTED QUE DEBO VERLO.

tengo la sensación de que está usted deprimido.

QUIZÁS EN SU IMAGINACIÓN LE PAREZCA QUE CADA UNO DE NOSOTROS ENCUENTRA DEPRIMIDO AL OTRO.

sí; puede ser.

COMPRENDO.

también yo.

DICE USTED QUE TAMBIÉN.

a los dos nos afecta por igual lo de ese computador.

BIEN, SIGAMOS HABLANDO DE USTED, ¿LE PARECE?

me reconforta usted.

¿QUÉ LE HACE PENSAR QUE YO LE CONFORTO?

pues que en los tiempos que corren quiera usted hablar conmigo.

¿QUÉ LE HACE PENSAR QUE QUIERO HABLAR CON USTED?

pues el hecho de que comparta usted mi opinión respecto a ese maldito computador.

¿QUÉ CONCLUSIÓN SACA DE ELLO?

que, por supuesto, también usted detesta a los computadores.

PIENSA USTED QUE YO DETESTO TAMBIÉN A LOS COMPUTADORES.

y por qué no sí, a fin de cuentas, no son humanos, ¿no le parece?

QUIZÁ SEA ESTE EL MOTIVO POR EL QUE ESTAMOS AQUÍ, PARA AVERIGUARLO.

por ejemplo, ningún computador podría conversar como usted lo

hace.

¡OH!

no entiendo cómo una persona puede dejarse embaucar por una

simple máquina.

¿DE VERAS?

no, después de todo, un programa de computador no es creativo.

ADOPTA USTED UNA ACTITUD PESIMISTA.

estoy convencido de que tengo razón.

¿LE PREOCUPA A USTED HABERSE DEJADO CONVENCER DE QUE TIENE RAZÓN?

no, en absoluto, de ninguna manera, ni en lo más mínimo.

ESTÁ USTED ADOPTANDO UNA ACTITUD PESIMISTA.

dijo usted que estaba de acuerdo conmigo, ¿no es cierto?

ES REALMENTE ESO LO QUE ME OYÓ DECIR.

¿por qué no trata de disuadirme? los computadores manejan números y nada más.

QUIERE USTED QUE TRATE DE DISUADIRLE.

no puede.

CREE USTED QUE NO PUEDO.

por ejemplo, ¿cómo podría un computador en una conversación como esta plantear un nuevo tema?

AL PARECER HA OLVIDADO POR COMPLETO HABLARME DE SUS PADRES.

exactamente lo mismo que usted.

CREE USTED QUE LO MISMO QUE YO.

sí; y eso demuestra la diferencia que hay entre un hombre y un computador.
COMPRENDO.

El computador-psiquiatra carece de erudición, de una formación profesional, de sensibilidad y de la intuición propia del hombre; es un artefacto inerte (¿cómo no!), prácticamente insensible a los matices emocionales y a las formas de expresión no verbales. Pese a ello ha sido capaz de sostener una conversación más inteligente de lo que serían capaces muchos individuos. Su respuesta cuando se le habla de introducir «un nuevo tema» en la conversación es realmente asombrosa, pero muy probablemente se trate de una respuesta casual. Sin duda el programa ha sido proyectado para poner atención a palabras tales como «madre», «padre», etc. Si transcurrido un cierto intervalo en el reloj del computador estas palabras no han sido pronunciadas, el programa está concebido para iniciar la frase con el «parece que ha olvidado usted...». El hecho de que apareciera en un momento oportuno induce en cierto modo a pensar que el computador es capaz de adentrarse y de profundizar en las cuestiones.

Pero ¿qué otra cosa es el juego de la psicoterapia sino una muy compleja y estudiada serie de respuestas ante múltiples situaciones humanas? ¿Acaso el psiquiatra no está también preprogramado para emitir ciertas respuestas? Es obvio que la psicoterapia no dirigida requiere programas de computador muy sencillos y que darles una apariencia de sutileza exige tan sólo programas un poco más estudiados. Con ello no pretendo en modo alguno desacreditar a la profesión psiquiátrica, sino más bien augurar el advenimiento de la inteligencia mecánica. De todos modos, los computadores todavía no han alcanzado, ni con mucho, el nivel de desarrollo adecuado para proceder al empleo generalizado de la psicoterapia computadorizada. Por otra parte, no me parece utópico pensar que el día de mañana contaremos con terapeutas computadorizados en extremo pacientes, fácilmente asequibles y, al menos en lo que respecta a ciertas cuestiones, suficientemente preparados para resolverlas. Existen ya algunos programas que gozan de gran estima entre los pacientes porque éstos se han dado cuenta de que el psicoterapeuta mecánico es objetivo y en extremo pródigo con su tiempo.

Actualmente se están construyendo en los Estados Unidos computadores capaces de detectar y diagnosticar sus propios desajustes. Tan pronto se aprecien errores operativos con carácter sistemático, los componentes causantes de los mismos serán automáticamente sustituidos o inutilizados. La congruencia interna se verificará mediante operaciones reiteradas a través de programas normalizados cuyos resultados son previamente conocidos; las reparaciones correrán a cargo principalmente de componentes redundantes. Existen ya algunos programas —por ejemplo, en los computadores que juegan al ajedrez— capaces de aprender de la experiencia y de otros computadores. Conforme pasa el tiempo los ordenadores electrónicos ganan en inteligencia, y cuando los programas sean tan complejos que sus inventores no estén en condiciones de anticipar con rapidez toda la gama de posibles respuestas, las máquinas tendrán la apariencia, si no del discurso racional, sí por lo menos del libre albedrío. El computador del módulo de descenso del *Viking* que alcanzó la superficie de Marte, con una memoria de únicamente 18000 palabras, revestía ya este nivel de complejidad, es decir, que no siempre sabemos cuál va a ser la respuesta del computador a una instrucción concreta. Si lo supiéramos, entonces sí cabría afirmar que se trata «solamente» o «simplemente» de un computador. Pero en caso contrario, empezamos a preguntarnos si realmente se trata de un artefacto inteligente.

La situación guarda relación con la glosa de una fábula de la que se hicieron eco Plutarco y Plinio y que se ha transmitido con el correr de los siglos. En ella se habla de un perro que husmeando en busca del rastro de su amo llegó a un punto del camino que se bifurcaba en tres ramales. El can se dirigió primero a la senda de la izquierda y olfateó en vano; se detuvo y enfiló luego el camino de en medio, recorriendo un corto trecho, para regresar, siempre husmeando, al punto de partida. Finalmente, sin olfatear siquiera, emprendió veloz y jubilosa carrera por el ramal de la derecha.

Comentando esta fábula, Montaigne arguye que muestra clara mente la capacidad del perro para razonar silogísticamente: Mi amo ha tomado por una de estas sendas; no es la de la izquierda ni la del centro; luego debe ser la de la derecha. No necesito corroborar esta conclusión mediante el olfato, sino que la deduzco directamente por la vía de la lógica.

La posibilidad de que los animales pudieran ser capaces de razonar de este modo, aunque quizá de forma no tan coherente, llegó a inquietar a muchos estudiosos. Incluso mucho antes que Montaigne, santo Tomás de Aquino intentó sin éxito resolver el dilema y citó el ejemplo del perro con tono admonitorio, como demostración de que a veces no hay inteligencia pura, sino sólo la apariencia de ella. Santo Tomás de Aquino, sin embargo, no ofreció una alternativa satisfactoria que explicase la conducta del perro. Es obvio que en los pacientes con el cerebro «seccionado» puede darse un análisis lógico realmente profundo acompañado de la incapacidad de expresarse verbalmente.

Al considerar la inteligencia de la máquina nos hallamos en una situación parecida. A la sazón, las máquinas están traspasando un importante umbral, el que les permite, al menos hasta cierto punto, presentarse ante el hombre, objetivamente, como artefactos provistos de inteligencia. Bien sea por una especie de chovinismo humano, bien por un antropocentrismo mal entendido, muchos sujetos no acaban de aceptar esta posibilidad. Pero a mí me parece inevitable. Personalmente no considero en modo alguno degradante que el conocimiento y la inteligencia sean resultado de la «simple» materia suficiente y diversamente ordenada. Por el contrario, entiendo que ello es un tributo a la sutileza de la materia y a las leyes de la naturaleza.

En modo alguno se deduce de ello que en un futuro cercano los computadores vayan a exhibir las mismas dotes creativas, la misma sutileza, sensibilidad y erudición que el hombre. Un ejemplo clásico y probablemente equívoco es el de la traducción mecánica. Se introduce en la unidad de entrada un texto en una lengua determinada y el computador ofrece la transcripción en otro idioma; en chino, pongamos por caso. Se dice que al término de la elaboración de un complejo programa de traducción los responsables, orgullosos de su labor, invitaron a una delegación en la que figuraba un senador del congreso federal de los Estados Unidos para que presenciara una demostración. Se pidió al

senador que enunciase un dicho popular en inglés, y éste, sin pensarlo dos veces, largó la cita de «ojos que no ven, corazón que no siente» (*out of sight, out of mind*). Dócilmente, entre el chasquido de los discos y el parpadeo de las luces del panel de mando, la máquina liberó una hoja en la que aparecían impresos unos pocos caracteres chinos. Pero como el senador no podía leer chino, con objeto de completar la prueba se procedió a invertir el programa introduciendo primero el texto redactado en chino, que apareció tras unos instantes en la unidad de salida traducido al inglés. Los componentes de la delegación se apretujaron de nuevo en torno a la hoja de papel para leer la transcripción, que en un principio les sumió en la perplejidad. En efecto, el texto decía escuetamente: «invisible, idiota».

Traducción literal de *out of sight, out of mind*. (N. del t.)

Los programas de que disponemos en la actualidad son tan sólo relativamente competentes, incluso en cuestiones que, como el ejemplo aducido, no demandan demasiada sutileza. Sería un desatino dejar que los computadores, en su presente estadio tecnológico, tomaran las decisiones importantes, y no porque no pueda reconocérseles cierto grado de inteligencia, sino porque siendo a veces los problemas muy complejos, no se les facilita toda la información pertinente. Ejemplo ilustrativo del abuso flagrante que se ha hecho de los computadores lo tenemos en el papel que se les asignó tanto en la conducción de la política como de las operaciones militares durante la guerra de Vietnam. Pero en contextos razonablemente restringidos, el uso de la inteligencia artificial por parte del hombre parece erigirse en uno de los dos principales y viables progresos que en materia de inteligencia humana conoceremos en un futuro cercano. (El otro es un mayor enriquecimiento del medio cultural en que se mueve el niño antes y durante la etapa de formación escolar.)

Aquellos no familiarizados desde niños con los computadores suelen sentir cierto recelo hacia ellos. El archidivulgado caso del computador maniaco encargado de la facturación, que no acepta ni el «sí» ni el «no» como respuesta y que sólo se daba por satisfecho cuando recibía un cheque por valor de cero dólares y cero centavos, no puede convertirse en símbolo representativo de toda la gama de ordenadores. Para empezar se trata de un computador poco «dotado» y sus errores son, en realidad, los errores de los hombres que lo programaron. El uso creciente que se observa en Norteamérica de los circuitos integrados y de los computadores de pequeño tamaño para incrementar la seguridad de los vuelos aeronáuticos, en la enseñanza programada, en los marcapasos para enfermos cardíacos, en los juegos electrónicos, las alarmas contra incendios estimuladas por el humo y las fábricas totalmente automatizadas, para referirnos tan sólo a unas cuantas de sus aplicaciones, ha contribuido en gran manera a paliar la aprensión que hasta el momento rodeaba a tan moderna innovación. En la actualidad hay en el mundo unos doscientos mil computadores digitales, y dentro de una década habrá muy probablemente decenas de millones. Estoy convencido de que en el lapso de una generación se hablará de los computadores con absoluta naturalidad o, por lo menos, como de un aspecto común de nuestra vida cotidiana. Tómese en cuenta, por ejemplo, la aparición de los llamados computadores de bolsillo. En mi laboratorio tengo un computador del tamaño de una mesa escritorio que compré con los fondos de una beca de ayuda a la investigación concedida a finales de los sesenta y que salió por un precio de 4.900 dólares. Tengo, también, otro producto del mismo fabricante; se trata de un computador que cabe en la palma de la mano y que compré en 1975. Realiza todas las funciones del anterior; cabe destacar en él la posibilidad de programar los datos y sus diversas memorias dirigibles. La diferencia estriba en que este último sólo cuesta 145 dólares, y los precios van disminuyendo a un ritmo que le deja a uno pasmado. El hecho representa un avance espectacular en materia de miniaturización y reducción de costos, y todo ello en un periodo de seis o siete años solamente. A decir verdad, actualmente el tamaño de los computadores no conoce más límites que los derivados de tener que adaptarse a la torpe pulsación de los dedos del hombre. De no ser por esa circunstancia podrían fabricarse computadores del tamaño de la uña de un dedo. El ENIAC, el primer computador digital de gran tamaño, construido en 1946, comprendía 18.000 tubos de vacío y llenaba toda una estancia. Hoy, empero, un microcomputador constituido por una laminilla de sílice del tamaño de la falange más pequeña del dedo meñique posee la misma capacidad funcional.

Los circuitos de dichos computadores transmiten la información a la velocidad de la luz. En el hombre, la transmisión neuronal es un millón de veces más lenta. El hecho de que en las operaciones no aritméticas el cerebro humano, más pequeño y menos rápido, opere con mayor eficacia que los grandes y rapidísimos computadores electrónicos constituye un formidable tributo a la sutileza con que ha sido circuitado y programado nuestro cerebro, dos rasgos que, evidentemente, hay que atribuir al proceso de selección natural. Los especímenes que poseían cerebros deficientemente programados no vivieron lo suficiente para poder reproducirse.

Las representaciones gráficas obtenidas mediante computador han alcanzado hoy en día un grado tal de perfección que se abre ante nosotros toda una nueva e importante perspectiva de aprendizajes en el campo de las artes y de las ciencias, así como en lo tocante a los dos hemisferios cerebrales. Mucha gente, por lo demás bien dotada para realizar funciones analíticas, posee una muy pobre percepción e imaginación de las relaciones espaciales, sobre todo en el ámbito de la geometría tridimensional. Pues bien, hoy disponemos de programas para ordenador que pueden componer de forma gradual complejas formas geométricas ante nuestros ojos y hacerlas rotar sobre una pantalla de televisión conectada al computador.

En el caso concreto de la Universidad de Cornell, ha sido Donald Greenberg, de la Facultad de Arquitectura, quien ha proyectado uno de estos sistemas. El programa que ha elaborado permite trazar una serie de líneas equidistantes que el computador traduce en gradientes de nivel. Luego, pulsando una de las múltiples instrucciones posibles señalizadas en la pantalla, ordenamos la composición de complicadas figuras tridimensionales que podemos agrandar o empequeñecer, prolongar en una dirección dada, girar, aproximar a otros objetos o borrar en alguna de sus partes

(véanse las figuras de las páginas 220-221). Es este un instrumento de extrema eficacia para incrementar la visualización de las formas tridimensionales, factor de suma utilidad en las artes gráficas, la ciencia y la técnica. También constituye un excelente ejemplo de cooperación entre los dos hemisferios cerebrales. En efecto, el computador, que es una construcción suprema del hemisferio izquierdo, nos enseña cómo proceder al reconocimiento de configuraciones, función característica del hemisferio derecho.

Ejemplo de una sencilla representación gráfica computerizada. Las figuras son resultado exclusivo del trazado a pulso de curvas equidistantes sobre una pantalla de televisión. El computador convierte estos trazos en imágenes tridimensionales alzadas desde cualquier ángulo, directamente de la composición abstracta en la figura de la izquierda, formando ángulo en la imagen de la derecha. La torre ha sido «entretejida» automáticamente; en el diagrama de la derecha se desplaza hacia el lector. El observador, además de poder girar la imagen a su antojo y de acercarla o alejarla a placer, puede requerir el trazado de imágenes dinámicas ortogonales, en perspectiva o estereoscópicas. (Programa WIRE ideado por Marc Levoy, Laboratorio de Diagramación Computerizada de la Universidad de Cornell.)

Otros programas de computador presentan proyecciones bidimensionales (planas) y tridimensionales (en perspectiva) de objetos cuatridimensionales. Conforme éstos van girando o a medida que cambia la perspectiva desde la que visualizamos el objeto, no sólo lo contemplamos desde otros ángulos, sino que tenemos la sensación de estar asistiendo a la síntesis y destrucción de subunidades geométricas en su integridad. El efecto que ello produce es misterioso e instructivo a la vez, y ayuda a desentrañar algunos de los misterios de la geometría cuatridimensional. Pienso que nuestro aturdimiento es inferior al que experimentaría una supuesta criatura plana al toparse con una típica proyección (dos cuadrados uni dos por uno de sus ángulos) de un cubo tridimensional sobre una superficie plana. Las dificultades con que el artista viene tropezando desde siempre para plasmar el sentido de la perspectiva —es decir, la proyección de objetos tridimensionales sobre la superficie plana del lienzo— se clarifican enormemente con los diagramas trazados por el computador. Es obvio que constituye, también, un instrumento de la mayor importancia para resolver los problemas eminentemente prácticos que plantea la representación gráfica tridimensional de los planos de edificios —que el arquitecto proyecta en dos dimensiones— desde los ángulos y perspectivas más ventajosos.

La diagramación computerizada comienza a extenderse al terreno recreativo. Existe ya un juego muy popular que simula, en el marco de una pantalla de televisión, el bote de una pelota perfectamente elástica entre dos superficies o demarcaciones. Cada jugador dispone de un mando que le permite interceptar la pelota con una «raqueta» móvil. Si aquél no intercepta la pelota suma un cierto número de puntos negativos. Se trata de un juego muy interesante y su práctica entraña el aprendizaje de la segunda ley de Newton sobre el movimiento lineal. Jugando al «tenis», el sujeto obtiene un profundo conocimiento intuitivo de la más simple física newtoniana, un conocimiento superior incluso al que proporciona el clásico ejemplo de la carambola de billar, puesto que en ella los choques distan mucho de tener una elasticidad perfecta y el efecto que se imprime a la bola implica otras nociones físicas más complicadas.

Esta especie de acumulación de información es precisamente lo que llamamos juego, con lo que se nos revela la importante función que éste desempeña: la obtención, ajena a toda consideración de índole práctica, de una visión global del mundo que es a la vez complemento y preparación para ulteriores actividades de orden analítico. Los computadores permiten el juego y el recreo en medios que de otra manera serían completamente inaccesibles a la mayoría de estudiantes.

Un ejemplo todavía más interesante lo constituye el juego llamado «guerra en el espacio», cuyas excelencias y modalidades tan bien ha narrado Stuart Brand en los periódicos. En él, cada bando controla uno o más «vehículos espaciales» que se disparan misiles recíprocamente. Tanto los movimientos de las naves como de los proyectiles se rigen por determinadas normas, como, por ejemplo, un campo gravitatorio generado por un «planeta» cercano proporcional al inverso del cuadrado de la distancia al mismo. Para destruir el vehículo espacial del contrario es preciso demostrar un conocimiento de la gravitación newtoniana al mismo tiempo intuitivo y concreto. Aquellos de nosotros que no tenemos oportunidad de participar en vuelos interplanetarios encontramos dificultades para que el hemisferio derecho asimile la idea de gravitación newtoniana. El juego en cuestión puede suplir esta deficiencia.

Ambos pasatiempos, el «tenis» y la «guerra en el espacio», sugieren una elaboración gradual de diagramas computerizados, con lo que se obtiene un conocimiento experimental e intuitivo de las leyes de la física. Éstas se formulan casi siempre en términos analíticos y algebraicos, es decir, con intervención del hemisferio izquierdo. Por ejemplo, la segunda ley de Newton se escribiría $F = Ma$, y la ley de gravitación $F = GMm/r^2$. Estas representaciones analíticas son de extrema utilidad y es realmente notable que el universo esté concebido de tal forma que el movimiento de los objetos pueda definirse mediante leyes relativamente sencillas. Sin embargo, estas leyes no son más que abstracciones de la experiencia. En esencia, no pasan de ser simples ardidés nemotécnicos para recordar con facilidad un gran número de casos que sería muy difícil retener uno por uno, por lo menos tal como el hemisferio izquierdo concibe la memoria. Los diagramas de computador proporcionan al físico o al biólogo un amplio campo de experiencias respecto de los casos recapitulados por las leyes de la naturaleza, pero tal vez su función más importante sea la de permitir el profano captar de manera intuitiva, aunque no por ello menos profunda, el contenido de las mismas.

Existen muchos programas interactivos de computador que no tienen carácter diagramático y que constituyen un excelente instrumento de aprendizaje. Estos programas pueden ser elaborados por un profesorado competente y, cosa sorprendente, el estudiante mantiene con el «profesor» una relación mucho más individualizada, mucho más personal, que en el marco convencional de una clase. Por otra parte, puede estudiar al ritmo que le convenga sin sentirse incómodo por ello. El Dartmouth College emplea en numerosos cursos la enseñanza programada. Así, un estudiante asimila mejor las estadísticas de la genética mendeliana con una hora de computador que en todo un año de laboratorio realizando cruces con las moscas de las frutas, y una universitaria puede, por ejemplo, investigar qué probabilidades tiene de quedar preñada según los métodos de control que utilice. (El programa conlleva una posibilidad sobre diez mil

millones de que la mujer quede embarazada si permanece estrictamente célibe, con lo cual incluso toma en cuenta las contingencias que rebasan el nivel actual de los conocimientos médicos.)

En el recinto universitario de Darmouth, la terminal del computador es un instrumento didáctico más entre muchos. Un elevado porcentaje de alumnos aprenden no sólo a utilizar estos programas, sino también a elaborar los que mejor se adapten a sus conveniencias. Los estudiantes ven el trabajo con el computador como un esparcimiento y no como una obligación impuesta, y son muchos los colegios universitarios y las universidades en trance de imitar, e incluso ampliar, la práctica seguida en Darmouth. El hecho de que este colegio universitario marche en cabeza de la iniciativa se debe a la circunstancia de que su presidente, John G. Kemeny, es un destacado especialista en informática, inventor de un sencillísimo lenguaje para computadores denominado BASIC.

El Lawrence Hall of Science es una especie de museo dependiente de la Universidad de Berkeley, California. En el sótano del edificio hay una estancia bastante modesta con alrededor de una docena de terminales de computador, cada una de las cuales está acoplada a un minicomputador de uso compartido situado en otro lugar del edificio. La utilización de estas terminales se alquila por una módica cuota y pueden obtenerse con sólo una hora de anticipación. La clientela está integrada básicamente por adolescentes, algunos de los cuales tienen menos de diez años. Uno de los sencillísimos programas interactivos que el alumno puede utilizar es el juego conocido como «Hang-man» (juego del ahorcado). Para ello basta componer en un muy sencillo teclado el código «XEQ-SHANG». El computador transcribe:

(VERDUGO)

¿QUIERES SABER LAS REGLAS?

Si el jugador mecanografía «sí», la máquina prosigue:

ADIVINA UNA LETRA DE LA PALABRA QUE ESTOY PENSANDO. SI ACIERTAS
TE LO INDICARÉ, PERO SI FALLAS (JA, JA) JESTARÁS MÁS CERCA (JI, JI)
DE MORIR COLGADO!
LA PALABRA CONSTA DE OCHO LETRAS
¿YES?...

Supongamos que el jugador compone la respuesta: «E». El computador imprime:

-----E

Si el jugador falla en la respuesta, el computador imprime un llamativo grafismo (dentro de las limitaciones que impone la gama de signos disponibles) que representa una cabeza humana. En adelante el juego se convierte en una carrera entre la palabra, que se va completando progresivamente, y la figura cada vez más perfilada de un hombre en trance de ser ahorcado.

En las dos partidas de «Hangman» que recientemente tuve ocasión de presenciar las respuestas correctas eran «VARIABLE» y «THOUGHT». Si el jugador gana la partida, el programa, fiel a su papel de villano de mentirijillas, imprime en la hoja de respuesta una serie de caracteres no alfabéticos como los que suelen aparecer en las historietas cómicas para indicar una maldición o juramento y, acto seguido, teclea:

CANALLAS, ME HABÉIS VENCIDO.

¿DESEAS OTRA OPORTUNIDAD PARA MORIR?

Algunos programas están redactados en un tono menos familiar, como, por ejemplo, el «XEQ-SKING», que empieza con esta perorata:

ESTAMOS EN EL ANTIGUO REINO DE SUMERIA Y TÚ ERES SU VENERABLE GOBERNANTE. LA SUERTE DE LA ECONOMÍA DE SUMERIA Y DE SUS LEALES SUBDITOS ESTÁ ENTERAMENTE EN TUS MANOS. TODOS LOS AÑOS TU GRAN MINISTRO, HAMMURABI, TE INFORMARÁ SOBRE EL MOVIMIENTO DE POBLACIÓN Y LA ECONOMÍA. SI UTILIZAS LOS DATOS QUE TE SUMINISTRA PODRÁS DISTRIBUIR CON SABIDURÍA LOS RECURSOS QUE PRECISA TU REINO. ALGUIEN HA ENTRADO EN LA CÁMARA DEL CONSEJO...

Acto seguido, Hammurabi suministra al jugador estadísticas pertinentes sobre el número de hectáreas de terrenos comunales, fanegas por hectárea recolectadas el pasado año, número de las que se perdieron por causa de las ratas, cantidad de cereal almacenado, censo actual de la población, habitantes que murieron de inanición el último año y cifras sobre la emigración del campo a la ciudad. Muy amablemente le facilita a uno datos sobre la tasa de intercambio de tierras por alimentos y se interesa por el número de hectáreas de terreno que el jugador desea adquirir. Si la cifra resulta excesiva, el programa advierte:

HAMMURABI: TE RUEGO REFLEXIONES, SOLAMENTE TIENES ALMACENA DAS SESENTA FANEGAS.

Hammurabi se acredita como un gran visir sumamente cortés y paciente. A medida que el computador aumenta la cuenta de los años, el jugador termina por convencerse de que realmente es muy difícil, por lo menos en determinadas economías de mercado, incrementar la población y el número de propiedades agrícolas de un Estado y eliminar a la vez la pobreza y la indigencia.

Entre los muchos programas existentes hay uno, el llamado «Grand Prix Racing», que da opción al jugador a elegir entre una serie de marcas de automóviles, desde el primer modelo de la Ford hasta un Ferrari modelo 1973. Si en determinados tramos del circuito el jugador no alcanza un mínimo de velocidad o de aceleración, pierde la partida, y si peca por exceso, se estrella. Teniendo en cuenta que es preciso dar explícitamente la distancia, velocidad y aceleración, es imposible participar en el juego si no se poseen ciertas nociones de física. La elaboración de nuevas vías para el aprendizaje mediante computadores interactivos no conoce otros límites que el grado de inventiva de los programadores, y en este terreno es muy difícil avanzar conclusiones.

Estatua de Gudea, gobernador neosumerio de Lagash (alrededor del 2150 a.C). Por esta época (tercera dinastía Ur), la escritura cuneiforme, que cubre la túnica de Gudea, se hallaba muy extendida. Durante este periodo se expandió el comercio marítimo, hubo gran actividad mercantil y se redactó el primer código legal escrito del que se tiene noticia, todo ello en íntima relación con la difusión de la cultura escrita.

Habida cuenta de que la ciencia y la técnica ejercen un considerable influjo en nuestra sociedad y de que ambos campos del saber escapan, o poco menos, a la comprensión de la mayoría de los ciudadanos, el hecho de que tanto los centros de enseñanza como los hogares tengan un acceso poco costoso a los servicios de un computador desempeñará, sin duda, un importante papel de cara a la pervivencia de nuestra civilización.

La única objeción de que tengo constancia acerca del uso generalizado de calculadoras de bolsillo y computadores de pequeño tamaño es la de que, si los niños aprenden a manejarlos a una edad temprana, no asimilan como es debido la aritmética, la trigonometría y otras operaciones matemáticas que la máquina está en condiciones de realizar con mayor rapidez y exactitud que el alumno. Es esta una controversia que se ha suscitado ya en otras épocas.

En el *Fedro* de Platón —y, concretamente, en el diálogo socrático que cito en otra parte del libro relativo a la metáfora del carro, el auriga y los dos caballos— hallamos un delicioso mito sobre el dios Toth, paralelo egipcio de Prometeo. En la lengua del Antiguo Egipto, la frase que designa el lenguaje escrito significa literalmente «la lengua de los dioses».

Según el historiador romano Tácito, los egipcios se jactaban de haber enseñado el alfabeto a los fenicios, «los cuales, siendo señores del mar, lo dieron a conocer a Grecia, con lo que se les otorgó la paternidad de un invento que no era obra suya». Según la leyenda, el alfabeto fue traído a Grecia por Cadmo, príncipe de Tiro, quien andaba en pos de su hermana Europa, raptada por Zeus, padre de los dioses; éste la había raptado bajo la apariencia de un toro para luego conducirla a Creta. Para frustrar toda tentativa de rescate e impedir así que Europa fuese devuelta a Fenicia, Zeus ordenó la construcción de un autómatas de bronce que patrullaba con sigilo la isla y ahuyentaba o hundía todas las naves extranjeras que arribaban a Creta. Pero Cadmo proseguía su búsqueda lejos de allí, en tierras griegas. Un día, un dragón devoró a todos sus hombres. Cadmo dio muerte al animal, y atendiendo los consejos de Atenea, el príncipe fenicio sepultó los dientes del dragón en los surcos de un campo arado y cada uno de ellos se convirtió en guerrero. Cadmo y sus hombres fundaron Tebas (de Beocia), la primera ciudad del mundo civilizado, dándole el nombre de una de las dos capitales del antiguo Egipto. Es curioso que en la misma leyenda se recoja el invento de la escritura, la fundación de la civilización griega, la primera referencia conocida a un ser inteligente artificial y la incesante pugna entre el hombre y el dragón.

En él, Toth discute su invención de la escritura con Amón, el dios-rey, quien le refuta con estas palabras:

Tu hallazgo fomentará la desidia en el ánimo de los que estúdián, porque no usarán de su memoria, sino que se confiarán por entero a la apariencia externa de los caracteres escritos y se olvidarán de sí mismos. Lo que tú has descubierto no es una ayuda para la memoria, sino para la memorización, y lo que das a tus discípulos no es la verdad, sino un reflejo de ella. Serán oyentes de muchas cosas y no habrán aprendido nada; parecerán omniscientes, y por lo común ignorarán todo; será la suya una compañía tediosa porque revestirán la apariencia de hombres sabios sin serlo realmente.

Una muestra de los primitivos jeroglíficos egipcios. (Lápida funeraria de la tumba de Sesostris I, en Karnak.)

No me cabe duda de que hay una parte de verdad en la queja de Amón. En nuestro mundo moderno los iletrados siguen derroteros distintos, poseen otro sentido de la autoconfianza y una visión no menos dispar de la realidad. Sin embargo, antes de la invención de la escritura, el saber humano se reducía a lo que una persona o un reducido grupo de individuos acertaba a recordar. A veces se lograba preservar un sustancial acopio de información, como en los Vedas y en los dos grandes poemas épicos de Homero. Pero, por lo que sabemos, Homeros hubo muy pocos.

Unidad microprocesadora de un microcomputador cuyos lados miden alrededor de medio centímetro. Se trata de un circuito integrado impreso en una sola laminilla de cristal de silicón que contiene aproximadamente 5.400 transistores.

Después de la invención de la escritura se hizo posible reunir, integrar y utilizar la sabiduría acumulada de todas las épocas y de todos los pueblos; el hombre dejó de estar circunscrito a lo que ellos o sus compañeros más allegados eran capaces de recordar. La cultura escrita nos permite entablar contacto con los intelectos más poderosos e influyentes surgidos a lo largo de la historia. Así, Sócrates o Newton han tenido una audiencia de lectores muchísimo más vasta que el total de personas que llegaron a conocer en vida. La transmisión reiterada de la tradición oral en el

marco de múltiples generaciones acaba por engendrar fatalmente errores de transmisión y la pérdida gradual del contenido original del mensaje, degradación mucho más lenta cuando se trata de reeditar un texto escrito.

Los libros se pueden guardar fácilmente; podemos leerlos a nuestro antojo sin importunar a los que nos rodean, y releer las partes más densas o que nos procuran mayor deleite. A mayor abundamiento, el libro se produce masivamente y a precios relativamente asequibles. En cuanto a la lectura en sí, constituye una asombrosa actividad: el sujeto fija la mirada en un objeto plano, no muy grueso, hecho de pulpa de madera, como el lector en este momento, y la voz del autor empieza a resonar en su mente. (¿Qué tal, amigo?!) El incremento del saber humano, así como su capacidad de supervivencia tras la invención de la escritura, han sido inmensos. (También ha aumentado la confianza en uno mismo, pues ahora es posible aprender cuando menos los rudimentos de un arte o de una ciencia recurriendo a un libro, sin depender para ello del afortunado accidente de tener a mano un maestro artesano o un especialista que pueda iniciarnos en una actividad concreta.)

Cuando ya no queda nada por decir ni por hacer, la invención de la escritura debe conceptuarse no sólo como una brillante innovación sino como una formidable aportación en favor de la humanidad. Por otra parte, suponiendo que vivamos lo suficiente como para usar las invenciones de los hombres con sabiduría, creo que se dirá otro tanto de los modernos Toths y Prometeos que hoy proyectan computadores y elaboran programas hurgando en los límites de la inteligencia mecánica. Es probable que el próximo hito estructural del intelecto humano sea la cooperación entre el hombre, ser discursivo, y las máquinas, artefactos pensantes.

Nuestro destino es el conocimiento. Inteligencia terrestre y extraterrestre

Las horas discurren silenciosa y furtivamente...

W. SHAKESPEARE, *Ricardo III*

El dilema fundamental de la humanidad, el problema que subyace a todos los demás y que destaca por encima de ellos, es precisar qué puesto corresponde al hombre en la naturaleza y cuál es su relación con el cosmos. El origen de nuestra especie, los límites que condicionan nuestro influjo sobre la naturaleza y el de ésta sobre nosotros, el objetivo que pugnamos por alcanzar, son problemas que se presentan una y otra vez, con indeclinable vigor, a todos los seres vivos de la Tierra.

T. H. HUXLEY, 1863

He aquí que a punto de culminar esta obra volvemos a uno de los temas con que inicié mi exposición: la búsqueda en pos de seres extraterrestres dotados de inteligencia. Se afirma en ocasiones que en el futuro la comunicación interestelar será predominantemente de orden telepático, afirmación que, en el mejor de los casos, me parece una idea festiva. Por el momento no existe ni el más leve indicio que respalde este aserto y, por otra parte, todavía no sé de un solo experimento de transmisión telepática en *este* planeta que sea medianamente convincente. Por lo demás, todavía no estamos en condiciones de llevar a cabo vuelos espaciales interestelares dignos de este nombre, lo cual no excluye que otras civilizaciones más avanzadas sí sean capaces de ello. A pesar de toda la chachara sobre objetos volantes no identificados y astronautas de remotos tiempos, no existen pruebas concluyentes de que hayamos recibido, o vayamos a recibir, la visita de seres extraterrestres.

Así pues, quedan excluidos de la discusión los artefactos espaciales. La hipotética comunicación con los seres extraterrestres utilizaría, quizás, el espectro electromagnético, y, muy probablemente, la banda que corresponde a las ondas radioeléctricas; o puede que empleara las ondas gravitatorias, los neutrinos, que no son, plausiblemente, sino taquiones (en el supuesto de que existan), o algún nuevo aspecto de la física que no será descubierto hasta que hayan transcurrido otros tres siglos. Pero, sea cual fuere el conducto utilizado para esta comunicación, será preciso disponer de instrumentos y aparatos de detección adecuados, y si hemos de basarnos en la experiencia que nos proporciona la radioastronomía, podemos añadir que serán aparatos regulados por ordenador y con una capacidad analítica muy próxima a lo que llamamos inteligencia. No basta con la mera inspección ocular de los archivos para expurgar entre un montón de datos acumulados a lo largo de muchos días en 1.008 frecuencias distintas y donde la masa informativa puede variar en muy pocos segundos, e incluso fracciones de segundo, sino que se requieren técnicas de autocorrelación y computadores electrónicos de gran tamaño. Por otra parte, esta situación, que rige también para las observaciones que Frank Drake, de la Universidad de Cornell, y yo mismo hemos llevado a cabo recientemente en el observatorio de Arecibo, va a ganar en complejidad —lo que equivale a decir que dependerá en mayor medida de los computadores— cuando entren en funcionamiento los aparatos de escucha que probablemente emplearemos en un futuro próximo. Estamos en condiciones de proyectar programas receptores y transmisores de fabulosa complejidad, y con un poco de suerte emplearemos sutilísimos e ingeniosos ardides; pero ello no impedirá que tengamos que recurrir a las fabulosas dotes de la inteligencia mecánica para proseguir la búsqueda de hipotéticos seres extraterrestres.

El número de avanzadas civilizaciones que hoy puedan existir en la galaxia de la Vía Láctea dependerá de múltiples factores, que van desde el número de planetas que tenga cada estrella hasta la probabilidad de que exista vida en cada uno de ellos. Pero una vez ha surgido la vida en un medio relativamente favorable y han transcurrido miles de millones de años del proceso evolutivo, somos muchos los que creemos en la posibilidad de que en este medio hayan aparecido seres inteligentes. Sin duda, la senda evolutiva sería distinta de la que ha conocido la Tierra. Es muy probable que la secuencia de eventos acaecidos en nuestro planeta —entre ellos la extinción de los dinosaurios y la recesión forestal ocurrida durante el plioceno y el pleistoceno— difiera de la que ha presidido la evolución de la vida en las restantes regiones del universo. Creemos, sin embargo, que han de existir pautas funcionalmente equivalentes que a la postre conduzcan a un resultado parejo. Toda la crónica evolutiva de la Tierra, particularmente la plasmada en la cara interna de los cráneos fósiles, pone de manifiesto esta tendencia progresiva a la formación de organismos inteligentes. Nada misterioso hay en ello, puesto que, por regla general, los seres más inteligentes subsisten en mejores condiciones y dejan más descendencia que los organismos menos dotados. Los detalles dependerán, por supuesto, de las circunstancias, como, por ejemplo, de si el hombre ha exterminado a otros primates en posesión de un lenguaje o de si nuestros antepasados ignoraron a los simios con facultades de comunicación sólo un poco inferiores a las suyas. Pero la

tendencia general parece bastante obvia y debería regir también la evolución de la vida inteligente en otras regiones del universo. Una vez los seres inteligentes han alcanzado un determinado estadio tecnológico y la capacidad de autodestrucción de la especie, los beneficios de la inteligencia en el orden selectivo resultan ya mucho más inciertos.

¿Y qué decir en el supuesto de que recibiésemos un mensaje? ¿Existe algún motivo para pensar que los seres que lo transmiten —evolucionados a lo largo de miles y millones de años de tiempo geológico en un medio completamente distinto del nuestro— se asemejarían lo suficiente a nosotros como para que pudiésemos entenderlo? Creo que la respuesta debe ser afirmativa. Una civilización que transmite mensajes por radio debe tener forzosamente nociones sobre frecuencias, constantes de tiempo y amplitudes de banda, elementos comunes todos ellos a las civilizaciones que transmiten y reciben comunicaciones.

Estrellas, por M. C. Escher.

En cierto modo, la situación es comparable a la comunicación entre los radioaficionados, cuyas conversaciones, salvo ocasionales emergencias, se centran casi de forma exclusiva en la mecánica de sus aparatos, porque saben que es el único aspecto de sus vidas que comparten inequívocamente. Pero yo pienso que la situación da pie a mostrarse mucho más esperanzado que todo esto. Sabemos que las leyes de la naturaleza por lo menos algunas de ellas— rigen en el universo todo. La espectroscopia nos indica que en otros planetas, estrellas y galaxias existen los mismos elementos químicos, las mismas moléculas comunes; y el hecho de que los espectros sean iguales demuestra que en otras regiones del universo se dan los mismos mecanismos para inducir a átomos y moléculas a absorber y emitir radiaciones. Asimismo, podemos observar cómo distantes galaxias se desplazan lentamente en torno a otras conforme a las mismas leyes gravitatorias que rigen la órbita de un pequeño satélite artificial girando alrededor de nuestro tenuemente azulado planeta. Se ha comprobado, también, que la gravedad, la mecánica de los cuantos y el núcleo principal de la física y de la química son los mismos por doquier. Es probable que los supuestos organismos dotados de inteligencia que habitan en otros planetas no tengan la misma estructura bioquímica que nosotros. Lo más seguro es que presenten un muy diferente cuadro de adaptaciones —desde las enzimas hasta los órganos corporales— que les permita afrontar las condiciones específicas de los distintos mundos. Aun así, se ven confrontados con las mismas leyes de la naturaleza. Las leyes que rigen la caída de los cuerpos nos parecen muy sencillas. La velocidad de caída de un objeto sometido a una aceleración constante —producto de la fuerza de atracción gravitatoria— es proporcional al tiempo, y el espacio recorrido es proporcional al cuadrado del tiempo. Se trata de relaciones muy elementales que, por lo menos desde los tiempos de Galileo, vienen gozando de una aceptación general. Con todo, es concebible un universo en el que las leyes de la naturaleza revistan mucha más complejidad. El hecho es, empero, que no habitamos en un universo de este tipo. ¿Por qué no? Pues tal vez porque todos los organismos que hallaban demasiado complejo su universo han terminado por extinguirse. Aquellos de nuestros antepasados arborícolas que tenían dificultades para calcular sus trayectorias mientras avanzaban de rama en rama no dejaron numerosa descendencia. La selección natural ha operado como una especie de cedazo intelectual dando paso a cerebros y a intelectos cada vez mejor dotados para afrontar las leyes de la naturaleza. Esta resonancia entre la mente y el universo, producto de la selección natural, puede ayudarnos a resolver el abstruso dilema planteado por Einstein cuando afirmó que «la propiedad más incomprensible del universo es, precisamente, que sea tan comprensible».

Si ello es así, parece plausible que en otros mundos se haya producido la misma criba que culminó con la aparición de seres inteligentes. Quizá los organismos extraterrestres que carezcan de antepasados en el reino de las aves o de los animales arborícolas no tengan como nosotros la pasión de surcar el espacio. Sin embargo, todas las atmósferas planetarias son relativamente transparentes en las partes visibles y electromagnéticas del espectro, y ello en razón del comportamiento cuántico de los átomos y moléculas que más abundan en el cosmos. En consecuencia, los organismos que pueblan otras regiones del espacio deberían ser sensibles a la radiación óptica y/o a las ondas radioeléctricas. Por lo demás, y tras los avances de la física, la idea de la radiación electromagnética como medio de comunicación interestelar debería ser un hecho corriente a escala cósmica, una noción convergente surgida de manera independiente en incontables mundos de la galaxia después de que cada uno de ellos hubiese cimentado las bases de la astronomía, lo que podríamos llamar «las verdades de la vida». Creo que si tenemos la fortuna de entablar contacto con uno de esos otros seres podremos comprobar cómo su biología, psicología, sociología y concepción política nos resultan extravagantes y misteriosos en grado extremo. Por el contrario, tengo la impresión de que no habría dificultad para una mutua comprensión de los aspectos más simples de la astronomía, la física, la química y, quizás, de la matemática.

Ciertamente, no confío en que los cerebros de estos hipotéticos seres sean anatómica, fisiológica y ni siquiera químicamente iguales a los nuestros. Los cerebros de estos supuestos seres habrían conocido un proceso evolutivo en medios totalmente distintos. No hay más que ver las grandes diferencias orgánicas entre las distintas especies animales que pueblan la Tierra para darse cuenta de las variaciones que admite la fisiología del cerebro. Hay, por ejemplo, un pez africano de agua dulce, el mormírido, que suele vivir en cursos fluviales de aguas turbias, lo que le impide ser visto por los depredadores, por sus presas o por otros peces. El mormírido posee un órgano especial que genera un campo eléctrico y que le permite detectar el paso de cualquier criatura que lo atraviese. Pues bien, esta especie piscícola posee un cerebelo que ocupa toda la parte posterior del cerebro formando una gruesa capa que recuerda el neocórtex de los mamíferos. Pese a que los mormíridos poseen un cerebro tremendamente diferenciado de cualquier otro, desde una perspectiva esencialmente biológica se parecería mucho más al cerebro humano que al de un supuesto ser extraterrestre dotado de inteligencia.

Es probable que, como en nuestro caso, los cerebros de los organismos extraterrestres posean varios o muchos

componentes acrecentados a través de un lento proceso evolutivo. También es posible que, al igual que en el hombre, se dé una tensión entre ellos, por más que el rasgo distintivo de una civilización que ha logrado sobrevivir por largo tiempo y superar los peligros de su entorno radique en la capacidad de arbitrar una paz duradera entre los diversos componentes cerebrales. Muy probablemente, este supuesto organismo extraterrestre habría ampliado también su inteligencia por vía extrasomática, mediante el uso de máquinas capaces de razonar. De todos modos, creo que nuestros cerebros y máquinas acabarán por entenderse y compenetrarse a fondo con los suyos.

Las ventajas de orden práctico y los conocimientos filosóficos que probablemente obtendríamos en el caso de que recibiéramos un largo mensaje de una avanzada civilización, serían sin duda de valor inapreciable. Sin embargo, determinar el alcance de estos beneficios y la rapidez con que lograríamos asimilarlos depende de los detalles contenidos en dicho mensaje, aspecto sobre el que resulta aventurado efectuar predicción alguna. Una cosa, sin embargo, parece obvia, y es que la recepción de un mensaje enviado por una avanzada civilización demostraría, primero, su existencia y, en segundo lugar, que existen métodos para evitar la autodes-trucción, amenaza que tan real se dibuja en nuestra actual fase de adolescencia técnica. De lo dicho se infiere que la recepción de un mensaje interestelar procuraría una ventaja sumamente práctica, que en términos matemáticos se denomina teorema de existencia y que en el caso que nos ocupa consiste en la demostración de que una sociedad puede vivir y progresar en el marco de una avanzada tecnología. La seguridad de que existe una solución ayuda en gran manera a encontrarla. Este es uno de los múltiples y curiosos nexos entre la existencia de vida inteligente en otras regiones del cosmos y la existencia de seres inteligentes en la Tierra.

Aun cuando parece obvio que el incremento del saber y la inteligencia sean el único modo de salir de las dificultades que nos acechan y la única vía de acceso a un futuro halagüeño para la humanidad (o un futuro a secas), en la práctica no siempre se adopta esta postura. A menudo los gobernantes olvidan la diferencia entre beneficios a corto y a largo plazo. Las más trascendentes ventajas prácticas han surgido de los progresos científicos más inverosímiles y en apariencia menos prácticos. Las ondas electromagnéticas son, hoy, el principal conducto en esta búsqueda de comunicación con seres de otros planetas, el medio con que se hace frente a las emergencias, el canal por el que se transmiten las noticias y las llamadas telefónicas y se divulgan por doquier los programas recreativos y de espectáculos. Las ondas electromagnéticas fueron introducidas por el físico escocés James Clerk Maxwell como elemento corrector y complementador del sistema de ecuaciones diferenciales parciales hoy conocidas como las ecuaciones de Maxwell. El nombre que les asignó inicialmente fue el de corriente de desplazamiento, y si propuso su introducción fue, ante todo, porque suponía conferir un mayor atractivo estético a dicho sistema de ecuaciones.

El universo es intrincado y fascinante. Arrancamos secretos a la naturaleza por las sendas más insólitas. Por supuesto, las sociedades deberán adoptar toda clase de precauciones a la hora de decidir qué tecnologías —es decir, qué aplicaciones de la ciencia— deben desarrollarse y cuáles no. Pero si no consolidamos la investigación básica, si no se propicia la adquisición de conocimientos por su valor intrínseco, nuestras opciones de futuro quedarán peligrosamente limitadas. Bastaba con que un físico entre mil diera con algo como la corriente de desplazamiento para convertir el respaldo de este millar en una fabulosa inversión social. Sin una estimulación decidida, continuada y amplia de la investigación básica corremos el riesgo de comernos la simiente que utilizamos para la siembra, es decir, conseguimos atajar el hambre un invierno más, pero renunciamos a la última esperanza de supervivencia de cara al siguiente invierno.

La placa de los *Pioneer 10* y *11*, los primeros vehículos de la humanidad en aventurarse por el espacio interestelar. Las placas de oro y aluminio anodizado contienen información científica sobre los logros del ser humano en el planeta Tierra. Con todo, es indudable que podrían mejorarse estas informaciones a través de mensajes radiados interestelares.

En una época en ciertos aspectos parecida a la nuestra, san Agustín de Hipona, después de una juventud licenciosa y mentalmente expansiva decidió retraerse del mundo de las sensaciones y del intelecto y aconsejó a otros que hicieran lo propio: «Existe otra forma de tentación que entraña incluso mayor peligro. Es la enfermedad de la curiosidad... Ella nos impulsa a querer desentrañar los secretos de la naturaleza, secretos que escapan a nuestra comprensión, que nada pueden reportarnos y a los que los hombres debieran renunciar... En medio de esta inmensa jungla llena de acechanzas y de peligros, he retrocedido y me he apartado de estas espinas. Flota a mi alrededor ese sinnúmero de cosas que nos trae la vida de cada día, pero ni me sorprende ni dejo que me cautive el genuino deseo que siento de estudiarlas... He renunciado a soñar en las estrellas». La muerte de san Agustín, acaecida en el año 430 de nuestra era, marca en Europa el comienzo de la larga noche medieval o, dicho de otra manera, de la época del oscuro rantismo.

En el último capítulo de *The ascent of man*, Bronowski se confiesa entristecido «al verme súbitamente rodeado, en Occidente, por un sentimiento de pavoroso achicamiento, de retroceso ante el saber». Supongo que, en parte, Bronowski se refería a la limitada comprensión y escaso valor que se concede a la ciencia y a la técnica —que tanto han contribuido a configurar nuestra existencia y la de múltiples civilizaciones— en el ámbito de las comunidades sociales y políticas; pero también a la creciente popularidad de diversas pseudociencias, de una ciencia marginal y populachera, del misticismo y de la magia.

En la actualidad se observa en Occidente (no así en los países del Este) un renovado interés por doctrinas ambiguas, anecdóticas y a menudo manifiestamente erróneas que, si fueran ciertas, descubrirían cuando menos la

existencia de un universo más sugestivo, pero que no siéndolo, implican una desidia intelectual, una endeblez mental y una dispersión de energías muy poco prometedoras de cara a nuestra supervivencia. Entre dichas doctrinas se cuenta la astrología (según la cual, al nacer yo una serie de astros situados a cien billones de millas de distancia se conjuntan en una *casa* o *morada* que condiciona fatalmente mi destino); está, también, el «misterio» del triángulo de las Bermudas (que en sus varias versiones alude a la existencia de unos objetos volantes no identificados con base en las aguas costeras de dichas islas que engullen buques y aeronaves); los relatos sobre platillos volantes en general; la creencia en astronautas que vivieron en un pasado remoto; la fotografía de espectros; la piramidología (que, entre otras muchas cosas, sostiene la peregrina idea de que si guardo mi hoja de afeitar en el interior de una pirámide de cartón en vez de hacerlo en un estuche rectangular, conservo el filo mucho más cortante); la es-cientología; las auras y la fotografía kirliana; la vida emocional y preferencias musicales de los geranios; la cirugía psíquica; los modernos augures y profetas; el doblamiento a distancia de cuchillos y otros objetos cortantes; las proyecciones astrales; el catastrofismo velikovskiano; Atlantis y Mu; el espiritismo; y la doctrina de la creación específica del hombre, por parte de un dios o dioses, pese a la estrechísima relación que nos une con las restantes especies animales, tanto en el plano de la bioquímica como de la fisiología cerebral. Tal vez exista un atisbo de verdad en alguna de estas doctrinas, pero la amplia aceptación de que gozan trasluce una absoluta falta de rigor intelectual, una grave carencia de escepticismo y la necesidad de sustituir la experimentación por el propio deseo. Por regla general son —excúsenme la expresión— teorías generadas en el sistema límbico y en el hemisferio derecho, filigranas de la ensoñación, respuestas naturales —el término es, indudablemente, muy apropiado al caso— y humanas a la complejidad del medio que nos rodea. Pero son también doctrinas místicas y ocultas, concebidas de tal forma que eluden toda refutación y no pueden ser contrastadas con argumentos racionales. Por contra, estimo que la apertura hacia un futuro esclarecedor sólo puede venir dada a través de la plena operatividad del neocórtex. Debe llegarnos de la razón, entremezclada con la intuición y los componentes del sistema límbico y del complejo R, desde luego, pero de la razón al fin y al cabo, lo que supone una valerosa asunción del mundo tal como es en realidad.

Sólo durante el último día del calendario cósmico aparecen en la Tierra mecanismos intelectuales dignos de mención. El funcionamiento conjuntado de ambos hemisferios cerebrales es el instrumento con que la naturaleza nos ha provisto para que podamos sobrevivir, y no es probable que la especie humana consiga este objetivo sin hacer un uso cabal y creativo de nuestro entendimiento.

«Somos una civilización científica —ha dicho Jacob Bronowski—. Eso significa una civilización en la que el saber y su integridad son factores cruciales. Ciencia no es más que una palabra latina que significa conocimiento... Nuestro destino es el conocimiento.»

Bibliografía

- Allison, T., y D. V. Cicchetti, «Sleep in Mammals: Ecological and Constitutional Correlates», *Science*, vol. 149 (1976), pp. 732-734. Arehart-Treichel, Joan, «Brain Peptides and Psychopharmacology», *Science News*, vol. 110 (1976), pp. 202-206. Aronson, L. R., E. Tobach, D. S. Lehrman y J. S. Rosenblatt, eds., *Development and Evolution of Behavior: Essays in Memory of T. C. Schneirla*, W. H. Freeman, San Francisco, 1970. Bakker, Robert T., «Dinosaur Renaissance», *Scientific American*, vol. 232 (abril de 1975), pp. 58-72 ss. Bitterman, M. E., «Phyletic Differences in Learning», *American Psychologist*, vol. 20 (1965), pp. 396-410. Bloom, F., D. Segal, N. Ling y R. Guillemin, «Endorphins: Profound Behavioral Effects in Rats Suggest New Etiological Factors in Mental Illness», *Science*, vol. 194 (1976), pp. 630-632. Bogen, J. E., «The Other Side of the Brain. II. An Appositional Mind», *Bulletin Los Angeles Neurological Societies*, vol. 34 (1969), pp. 135-162. Bramlette, M. N., «Massive Extinctions in Biota at the End of Mesozoic Time», *Science*, vol. 148 (1965), pp. 1.696-1.699. Brand, Stewart, *Two Cybernetic Frontiers*, Random House, Nueva York, 1974. Brazier, M. A. B., *The Electrical Activity of the Nervous System*, Macmillan, Nueva York, 1960. Bronowski, Jacob, *The Ascent of Man*, Little, Brown, Boston, 1973. Britten, R. J., y E. H. Davidson, «Gene Regulation for Higher Cells: A Theory», *Science*, vol. 165 (1969), pp. 349-357. Clark, W. E. LeGros, *The Antecedents of Man: An Introduction to the Evolution of the Primates*, Edinburgh University Press, Edimburgo, 1959.
- 244 *Los dragones del Edén*
- Colbert, Edwin, *Dinosaurs: Their Discovery and Their World*, E. P. Dutton, Nueva York, 1961. Colé, Sonia, *Leakey's Luck: The Life of Louis S. B. Leakey*, Harcourt Brace Jovanovich, Nueva York, 1975. Coppens, Yves, «The Great East African Adventure», *CNRS Research*, vol. 3, n.º 2 (1976), pp. 2-12. Coppens, Yves, F. Clark Howell, Glynn I. Isaac y Richard E. F. Leakey, eds., *Earliest Man and Environments in the Lake Rudolf Basin: Stratigraphy, Palaeoecology and Evolution*, University of Chicago Press, Chicago, 1976. Culliton, Barbara J., «The Haemmerli Affair: Is Passive Euthanasia Murder?», *Science*, vol. 190 (1975), pp. 1.271-1.275. Cutler, Richard G., «Evolution of Human Longevity and the Genetic Complexity Governing Aging Rate», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 72 (1975), pp. 4.664-4.668. Dement, William C, *Some Must Watch While Some Must Sleep*, W. H. Freeman, San Francisco, 1974. DeRenzi, E., P. Faglioni y H. Spinnler, «The Performance of Patients with Unilateral Brain Damage on Face Recognition Tasks», *Cortex*, vol. 4 (1968), pp. 17-34. Dewson, J. H., «Preliminary Evidence of Hemispheric Asymmetry of Auditory Function in Monkeys», en *Lateralization in the Nervous System*, S. Harnad, ed., Academic Press, Nueva York, 1976. Dimond, Stuart, Linda Farrington y Peter Johnson, «Differing Emotional Responses from Right and Left Hemispheres», *Nature*, vol. 261 (1976), pp. 690-692. Dimond, S. J., y J. G. Beaumont, eds., *Hemisphere Function in the Human Brain*, Wiley, Nueva York, 1974. Dobzhansky, Theodosius, *Mankind Evolving: The Evolution of the Human Species*, Yale University Press, New Haven, Conn., 1962. Doty, Robert W., «The Brain», *Britannica Yearbook of Science and the Future*, Encyclopaedia Britannica, Chicago, 1970, pp. 34-53. Eccles, John C, *The Understanding of the Brain*, McGraw-Hill, Nueva York, 1973. —, ed., *Brain and Conscious Experience*, Springer-Verlag, Nueva York, 1966. Eimerl, Sarel, e Irven DeVore, *The Primates*, Life Nature Library, Time, Inc., Nueva York, 1965. Farb, Peter, *Man's Rise to Civilization as Shown by the Indians of North America from Primeval Times to the Coming of the Industrial State*, E. P. Dutton, Nueva York, 1968.

Bibliografía 245

- Fink, Donald G., *Computers and the Human Mind: An Introduction to Artificial Intelligence*, Doubleday Anchor Books, Nueva York, 1966. Frisen, John H., «Research on Primate Behavior in Japan», *American Anthropologist*, vol. 61 (1959), pp. 584-596. Fromm, Erich, *The Forgotten Language: An Introduction to the Understanding of Dreams, Fairy Tales and Myths*, Grove Press, Nueva York, 1951. Galin, D., y R. Ornstein, «Lateral Specialization of Cognitive Mode: An EEG Study», *Psychophysiology*, vol. 9 (1972), pp. 412-418. Gantt, Elizabeth, «Phycobilisomes: Light-Harvesting Pigment Complexes», *Bioscience*, vol. 25 (1975), pp. 781-788. Gardner, R. A., y Beatrice T. Gardner, «Teaching Sign-Language to a Chimpanzee», *Science*, vol. 165 (1969), pp. 664-

- Gazzaniga, M. S., «The Split Brain in Man», *Scientific American*, vol. 217 (1967), pp. 24-29.
- , «Consistency and Diversity in Brain Organization», *Proceedings Conference on Evolution and Lateralization of the Brain, Annals of the New York Academy of Sciences*, 1977.
- Gerard, Ralph W., «What Is Memory?», *Scientific American*, vol. 189 (septiembre de 1953), pp. 118-126.
- Goodall, Jane, «Tool-Using and Aimed Throwing in a Community of Free-Living Chimpanzees», *Nature*, vol. 201 (1964), pp. 1.264-1.266.
- Gould, Stephen Jay, «This View of Life: Darwin's Untimely Burial», *Natural History*, vol. 85 (octubre de 1976), pp. 24-30.
- Gray, George W., «The Great Ravelled Knot», *Scientific American*, vol. 179 (octubre de 1948), pp. 26-39.
- Griffith, Richard M., Otoyá Miyagi y Akira Tago, «The Universality of Typical Dreams: Japanese vs. Americans», *American Anthropologist*, vol. 60 (1958), pp. 1.173-1.179.
- Grinspoon, Lester, J. R. Ewalt, y R. I. Schader, *Schizophrenia: Pharmacotherapy and Psychotherapy*, Williams & Wilkins, Baltimore, 1972.
- Hamilton, C. R., «An Assessment of Hemispheric Specialization in Monkeys», *Proceedings Conference on Evolution and Lateralization of the Brain, Annals of the New York Academy of Sciences*, 1977.
- Hacner, M. J., ed., *Hallucinogens and Shamanism*, Oxford University Press, Londres, 1973.
- Harris, Marvin, *Cows, Pigs, Wars and Witches: The Riddles of Culture*, Random House, Nueva York, 1974.
- Hartmann, Ernest L., *The Functions of Sleep*, Yale University Press, New Haven, Conn., 1973.
- Hayes, C., *The Ape in Our House*, Harper, Nueva York, 1951.
- 246 *Los dragones del Edén*

- Herrick, C. Judson, «A Sketch of the Origin of the Cerebral hemispheres», *Journal of Comparative Neurology*, vol. 32 (1921), pp. 429-454. Hollóway, Ralph L., «Cranial Capacity and the Evolution of the Human Brain», *American Anthropologist*, vol. 68 (1966), pp. 103-121. —, «The Evolution of the Primate Brain: Some Aspects of Quantitative Relations», *Brain Research*, vol. 7 (1968), pp. 121-172. Howell, F. Clark, *Early Man*, Life Nature Library, Time, Inc., Nueva York, 1965.
- Howells, William, *Mankind in the Making: The Story of Human Evolution*, Rev. ed. Doubleday, Nueva York, 1967.
- Hubel, D. H., y T. N. Wiesel, «Receptive Fields of Single Neurons in the Cat's Striate Cortex», *Journal of Physiology*, vol. 150 (1960), pp. 91-104. Ingram, D., «Cerebral Speech Lateralization in Young Children», *Neuropsychologia*, vol. 13 (1975), pp. 103-105. Jerison, H. J., *Evolution of the Brain and Intelligence*, Academic Press, Nueva York, 1973.
- , «The Theory of Encephalization», *Proceedings Conference on Evolution and Lateralization of the Brain, Annals of the New York Academy of Sciences*, Nueva York, 1977. Keller, Helen, *The Story of My Life*, Nueva York, 1902. Korsakov, S., «On the Psychology of Microcephalies (1893)», reed. en *American Journal of Mental Deficiency Research*, vol. 4 (1957), pp. 42-47. Kroeber, T., *Ishi in Two Worlds*, University of California Press, Berkeley, 1961.
- Kurtén, Bjorn, *Not from the Apes: History of Man's Origins and Evolution*, Vintage Books, Nueva York, 1972. La Barre, Weston, *The Human Animal*, University of Chicago Press, Chicago, 1954. Langer, Susanne, *Philosophy in a New Key: A Study in the Symbolism of Reason, Rite and Art*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1942. Lashley, K. S., «Persistent Problems in the Evolution of Mind», *Quarterly Review of Biology*, vol. 24 (1949), pp. 28-42. —, «In Search of the Engram», *Symposia of the Society of Experimental Biology*, vol. 4 (Nueva York, 1950), pp. 454-482. Leakey, Richard E., «Hominids in África», *American Scientist*, vol. 64, n.º 2 (1976), p. 174. Leakey, R. E. F., y A. C. Walker, «*Australopithecus, Homo erectus* and the Single Species Hypothesis», *Nature*, vol. 261 (1976), pp. 572-574.

Bibliografía 247

- Lee, Richard, e Irven DeVore, eds., *Man, the Hunter*, Aldine, Chicago, 1968.
- Le May, M., y N. Geschwind, «Hemispheric Differences in the Brains of Great Apes», *Brain Behavior and Evolution*, vol. 11 (1975), pp. 48-52.
- Lettvin, J. Y., H. R. Maturana, W. S. McCulloch y W. J. Pitts, «What the Frog's Eye Tells the Frog's Brain», *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, vol. 47 (1959), pp. 1.940-1.951.
- Lieberman, P., D. Klatt y W. H. Wilson, «Vocal Tract Limitations on the Vowel Repertoires of Rhesus Monkeys and Other Non-Human Primates», *Science*, vol. 164 (1969), pp. 1.185-1.187.
- Linden, Eugene, *Apes, Men and Language*, E. P. Dutton, Nueva York, 1974.
- Longuet-Higgins, H. C., «Perception of Melodies», *Nature*, vol. 263 (1976), pp. 646-653.
- MacLean, Paul D., *On the Evolution of Three Mentalities* (trabajo inédito).
- , *A Triune Concept of the Brain and Behaviour*, University of Toronto Press, Toronto, 1973.
- McCulloch, W. S., y W. Pitts, «A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity», *Bulletin of Mathematical Biophysics*, vol. 5 (1943), pp. 115-133.

McHenry, Henry, «Fossils and the Mosaic Nature of Human Evolution», *Science*, vol. 190 (1975), pp. 425-431.
 Meddis, Ray, «On the Function of Sleep», *Animal Behaviour*, vol. 23 (1975), pp. 676-691.
 Mettler, F. A., *Culture and the Structural Evolution of the Neural System*, American Museum of Natural History, Nueva York, 1956.
 Milner, Brenda, Suzanne Corkin y Hans-Lukas Teuber, «Further Analysis of the Hypocampal Amnesic Syndrome: 14-Year Follow-up Study of H. M.», *Neuropsychologia*, vol. 6 (1968), pp. 215-234.
 Minsky, Marvin, «Artificial Intelligence», *Scientific American*, vol. 214 (1966), pp. 19-27.
 Mittwoch, Úrsula, «Human Anatomy», *Nature*, vol. 261 (1976), p. 364.
 Nfcbes, D., y R. W. Sperry, «Hemispheric Disconnection Syndrome with Cerebral Birth Injury in the Dominant Arm Área», *Neuropsychologia*, vol. 9 (Nueva York, 1971), pp. 247-259.
 Oxnard, C. E., «The Place of the Australopithecines in Human Evolution: Grounds for Doubt?», *Nature*, vol. 258 (1975), pp. 389-395.
 Penfield, W., y T. C. Erickson, *Epilepsy and Cerebral Localization*, Charles C. Thomas, Springfield, 111., 1941.
 248 *Los dragones del Edén*

Penfield, W., y L. Roberts, *Speech and Brain Mechanisms*, Princeton University Press, Princeton, N. J., 1959. Pilbeam, David, *The Ascent of Man: An Introduction to Human Evolution*, Macmillan, Nueva York, 1972. Pilbeam, D., y S. J. Gould, «Size and Scaling in Human Evolution», *Science*, vol. 186 (1974), pp. 892-901.
 Platt, John R., *The Step to Man*, John Wiley, Nueva York, 1966. Ploog, D. W., J. Blitz y F. Ploog, «Studies on Social and Sexual Behavior of the Squirrel Monkey (*Saimiri sciureus*)», *Folia Primatologica*, vol. 1 (1963), pp. 29-66. Poliakov, G. I., *Neuron Structures of the Brain*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1972.
 Premack, David, «Language and Intelligence in Ape and Man», *American Scientist*, vol. 64 (1976), pp. 674-683.
 Pribram, K. H., *Languages of the Brain*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1971. Radinsky, Leonard, «Oldest Horse Brains: More Advanced than Previously Realized», *Science*, vol. 194 (1976), pp. 626-627. Rail, W., «Theoretical Significance of Dendritic Trees for Neuronal Input-Output Relations», en *Neural Theory and Modeling*, R. F. Reiss, ed., Stanford University Press, Stanford, 1964.
 Rose, Steven, *The Conscious Brain*, Alfred A. Knopf, Nueva York, 1973. Rosenzweig, Mark R., Edward L. Bennett y Marian Cleeves Diamond, «Brain Changes in Response to Experience», *Scientific American*, vol. 226, n.º 2 (febrero de 1972), pp. 22-29. Rumbaugh, D. M., T. V. Gilí y E. C. von Glaserfeld, «Reading and Sentence Completion by a Chimpanzee», *Science*, vol. 182 (1973), pp. 731-735. Russell, Dale, A., «A New Specimen of *Stenonychosaurus* from the Oldman Formation (Cretaceous) of Alberta», *Canadian Journal of Earth Sciences*, vol. 6 (1969), pp. 595-612. — «Reptilian Diversity and the Cretaceous-Tertiary Transition in North America», Geological Society of Canada Special Paper, n.º 13 (1973), pp. 119-136. Sagan, Carl, *The Cosmic Connection: An Extraterrestrial Perspective*, Doubleday, Nueva York, 1973; y Dell, Nueva York, 1975 (hay trad. cast.: *La conexión cósmica*, Plaza & Janes, Barcelona, 1990³). —, ed., *Communication with Extraterrestrial Intelligence*, MIT Press, Cambridge, Mass., 1973 (hay trad. cast.: *Comunicación con inteligencias extraterrestres*, Planeta, Barcelona, 1980).
 Schmitt, Francis O., Dev Parvati y Barri H. Smith, «Electrotonic Processes

Bibliografía 249

ing of Information by Brain Cells», *Science*, vol. 193 (1976), pp. 114-120.
 Schaller, George, *The Mountain Gorilla: Ecology and Behavior*, University of Chicago Press, Chicago, 1963.
 Schank, R. C., y K. M. Colby, eds., *Computer Models of Thought and Language*, W. H. Freeman, San Francisco, 1973.
 Shklovskit, J. S., y Carl Sagan, *Intelligent Life in the Universe*, Dell, Nueva York, 1967.
 Snyder, F., «Toward an Evolutionary Theory of Dreaming», *American Journal of Psychiatry*, vol. 123 (1966), pp. 121-142.
 Sperry, R. W., «Perception in the Absence of the Neocortical Commissures», en *Perception and Its Disorders*, Research Publication of the Association for Research in Nervous and Mental Diseases, vol. 48, 1970.
 Stahl, Barbara J., «Early and Recent Primitive Brain Forms», *Proceedings of the Conference on Evolution and Lateralization of the Brain, Annals of the New York Academy of Sciences*, 1977.
 Swanson, Carl P., *The Natural History of Man*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1973.
 Teng, Evelyn Lee, P. H. Lee, K. S. Yang y P. C. Chang, «Handedness in a Chinese Population: Biological, Social and Pathological Factors», *Science*, vol. 193 (1976), pp. 1.148-1.150.
 Teuber, Hans-Lukas, «Effects of Focal Brain Injury on Human Behavior», en *The Nervous System*, Donald B. Tower, ed., vol. 2: *The Clinical Neurosciences*, Raven Press, Nueva York, 1975.
 Teuber, Hans-Lukas, Brenda Milner y H. G. Vaughan, Jr., «Persistent Anterograde Amnesia after Stab Wound of the Basal Brain», *Neuropsychologia*, vol. 6 (1968), pp. 267-282.
 Tower, D. B., «Structural and Functional Organization of Mammalian Cerebral Cortex: The Correlation of Neurone Density with Brain Size», *Journal of Comparative Neurology*, vol. 101 (1954), pp. 19-51.
 Trotter, Robert J., «Language Evolving, Part II», *Science News*, vol. 108 (1975), pp. 378-383.
 —, «Sinister Psychology», *Science News*, vol. 106 (5 de octubre de 1974), pp. 220-222.

- Turkewitz, Gerald, «The Development of Lateral Differentiation in the Human Infant», *Proceedings of the Conference on Evolution and Lateralization of the Brain, Annals of the New York Academy of Sciences*, 1977.
- Vacroux, A., «Microcomputers», *Scientific American*, vol. 232 (mayo de 1975), pp. 32-40.
- 250 *Los dragones del Edén*
- Van Lawick-Goodall, Jane, *In the Shadow of Man*, Houghton-Mifflin, Boston, 1971.
- Van Valen, Leigh, «Brain Size and Intelligence in Man», *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 40.
- Von Neumann, John, *The Computer and the Brain*, Yale University Press, New Haven, Conn., 1958.
- Wallace, Patricia, «Unravelling the Mechanism of Memory», *Science*, vol. 190 (1975), pp. 1.076-1.078.
- Warren, J. M., «Possibly Unique Characteristics of Learning by Primates», *Journal of Human Evolution*, vol. 3 (1974), pp. 445-454.
- Washburn, Sherwood L., «Tools and Human Evolution», *Scientific American*, vol. 203 (septiembre de 1960), pp. 62-75.
- Washburn, S. L., y R. Moore, *Ape Into man*, Little, Brown, Boston, 1974
- Webb, W. B., *Sleep, The Gentle Tyrant*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1975.
- Weizenbaum, Joseph, «Conversations with a Mechanical Psychiatrist», *The Harvard Review*, vol. 111, n.º 2 (1965), pp. 68-73.
- Wendt, Herbert, *In Search of Adam*, Collier Books, Nueva York, 1963
- Witelson, S. F., y W. Pallie, «Left hemisphere Specialization for Language in the Newborn: Neuroanatomical Evidence of Asymmetry», *Brain*, vol. 96 (1973), pp. 641-646.
- Yeni-Komshian, G. H., y D. A. Bensch, «Anatomical Study of Cerebral Asymmetry in the Temporal lobe of Humans, Chimpanzees, and Rhesus Monkeys», *Science*, vol. 192 (1976), pp. 387-389.
- Young, J. Z., *A Model of the Brain*, Clarendon Press, Oxford, 1964,

acceso. En la jerga de los computadores, se denomina así al proceso destinado a obtener o recuperar datos de una unidad periférica.

ácido nucleico. Material genético de todos los seres vivos de la Tierra. Es una molécula compuesta de largas cadenas de unidades llamadas nucleótidos, por lo común enrolladas en doble hélice. Existen dos clases principales de ácidos nucleicos, el ADN y el ARN.

ADN. Ácido desoxirribonucleico. Véase *ácido nucleico*.

afasia. En sentido general, merma o pérdida de la capacidad de articular ideas mediante todo tipo de lenguaje. En sentido más estricto alude a la incapacidad de discernir el significado de las palabras pronunciadas de viva voz. Compárese con *alexia*.

alexia. Merma o pérdida de la capacidad de comprender el lenguaje escrito o impreso, tanto si se trata de palabras sueltas como de oraciones. Compárese con *afasia*.

Ameslan (ameslano). Nombre que se aplica en Norteamérica al lenguaje gestual o alfabeto para sordomudos.

amígdala. Componente del sistema límbico, en forma de almendra, contiguo al lóbulo temporal del neocórtex.

anáglifo. Representación estereoscópica plana de una imagen tridimensional. Casi siempre está compuesta por puntitos rojos y verdes y se contempla con gafas de uno y otro color.

área de Broca. Porción del neocórtex que guarda estrecha relación con el habla.

armazón neural. Conjunto integrado por la médula espinal, el cerebro posterior y el cerebro medio.

ARN. Ácido ribonucleico. Véase *ácido nucleico*.

bilateral. Por ambas partes.

bit. Unidad binaria de información. Un bit es la respuesta a una cuestión que sólo admite un «sí» o un «no» como respuesta.

bulbos olfatorios. Componentes del cerebro unidos a la parte delantera del cerebro anterior y que desempeñan un importante papel en la percepción de olores.

cerebelo. Masa cerebral alojada en la parte de la cabeza correspondiente a la nuca, debajo de la corteza cerebral posterior y encima del puente y la médula oblongada del rombencéfalo. Al igual que el neocórtex, se compone de dos hemisferios.

cerebro anterior. También llamado prosencéfalo. La parte evolutivamente más moderna de las tres principales divisiones del cerebro de los vertebrados. A su vez se divide en complejo R, sistema límbico y neocórtex.

cerebro medio. También llamado mesencéfalo. Región intermedia del cerebro de los vertebrados, entre el cerebro anterior y el posterior.

cerebro posterior. También llamado rombencéfalo. La parte más primitiva del cerebro, que incluye el puente de Varolio, el cerebelo, la médula oblongada y la parte superior de la médula espinal.

cerebro trino. Idea avanzada muy recientemente por Paul MacLean según la cual el cerebro anterior está formado por tres sistemas cognoscitivos que han evolucionado por separado y que, hasta cierto punto, funcionan de manera independiente.

cetáceos. Orden de mamíferos acuáticos que comprende a las ballenas y delfines.

cigoto. Huevo u óvulo fecundado.

circunvolución. Véase *giro*.

comisura anterior. Haz relativamente pequeño de fibras nerviosas que une los hemisferios cerebrales derecho e izquierdo del neocórtex. Compárese con *cuero calloso*.

comisura del hipocampo. Haz relativamente pequeño de fibras nerviosas que une los hemisferios derecho e izquierdo de la corteza cerebral cerca del hipocampo. Compárese con *cuero calloso*.

complejo R o complejo reptílico. La parte evolutivamente más primitiva del cerebro anterior.

corteza cerebral (córtex). En el hombre y en los mamíferos superiores designa la capa superficial más extensa de los hemisferios cerebrales, determinante en buena parte de los actos prototípicos del hombre. A veces se usa con el mismo significado que neopallio o neocórtex.

corteza motora. Porción del neocórtex que regula el movimiento y la función de los miembros.

craneotomía. Seccionamiento o extirpación de una parte del cráneo, en general como paso previo a la intervención quirúrgica del cerebro.

cromosomas. Cuerpos filamentosos que contienen el material hereditario (genes). Están integrados únicamente por ácidos nucleicos.

cuero calloso. La gran comisura o haz de fibras nerviosas que forman la principal conexión entre los hemisferios izquierdo y derecho de la corteza cerebral.

electrodo. Conductor eléctrico sólido por el que fluye una corriente eléctrica. El electroencefalógrafo registra a través de los electrodos las corrientes eléctricas que genera el cerebro.

electroencefalógrafo (EEG). Aparato consistente en una serie de amplificadores y en una pluma-registro que transcribe de forma automática sobre un cilindro giratorio. Se usa para registrar las corrientes eléctricas cerebrales transmitidas mediante electrodos aplicados a la cabeza del paciente. Se utiliza como fórmula de diagnóstico médico y en los estudios sobre la función del cerebro.

endocraneal. Relativo a la cara interna del cráneo.

endorfinas. Pequeñas proteínas cerebrales producidas en el interior del organismo susceptibles de originar diversidad de estados emocionales, o de otro signo, en los animales.

equipotente. Que posee idéntica capacidad. De manera específica, la teoría de que para determinadas funciones cognoscitivas y de otro tipo cualquier parte del cerebro puede reemplazar a otra en la realización de las mismas.

extirpación. Suprimir por entero una unidad del cerebro, normalmente mediante una intervención quirúrgica.

función ecológica. Papel que corresponde al organismo en la naturaleza.

gameto. Esperma o célula reproductora capaz de participar en la fecundación. Contienen un número haploide de cromosomas.

giro. También llamada circunvolución. Una de las prominentes elevaciones tubulares que asoman en la superficie del neocórtex.

haploide. Que posee un número de cromosomas igual a la mitad de los contenidos en un cuerpo ordinario o célula somática. Por ejemplo, en el hombre cada célula somática tiene 46 cromosomas, pero un gameto posee sólo 23.

hipocampo. Formación del sistema límbico relacionada con la memoria.

hiotálamo. Porción del sistema límbico situada en la base del tálamo y que, entre otras funciones, ayuda a regular la temperatura del cuerpo y los procesos metabólicos.

información extragenética. Información acumulada con independencia de los genes, normalmente por vía discursiva o como legado cultural.

información extrasomática. Información no contenida en el organismo (por ejemplo, un libro).

lateralización. Separación de funciones entre dos lados, en especial los hemisferios derecho e izquierdo del neocórtex. **lesión.** Corte, herida o daño en general. Algunas lesiones cerebrales son resultado de un accidente y otras consecuencia de una intervención quirúrgica. **lobotomía.** Incisión quirúrgica o lesión de uno de los lóbulos neocorticales. **lóbulos del neocórtex.** Véase *lóbulos frontal, lóbulo occipital, lóbulo parietal y lóbulo temporal*. **lóbulos frontal.** Porción del neocórtex situada aproximadamente debajo de la frente.

lóbulos occipital. Porción del neocórtex situada aproximadamente debajo de la base posterior del cráneo. **lóbulos parietal.** Aproximadamente, la porción media de cada hemisferio cerebral del neocórtex.

lóbulos temporal. Porción del neocórtex situada aproximadamente debajo de las sienes. **localización de la función cerebral.** El hallazgo de que ciertas partes del cerebro llevan a cabo determinadas funciones que les son propias.

Hipótesis opuesta a la del cerebro *equipo ten te*. **médula oblongada.** Porción del cerebro que se continúa con la médula espinal. Forma parte del cerebro posterior. **memoria duradera.** Aquella que se conserva durante un lapso de tiempo sustancial, por lo general más de un día.

memoria efímera. Aquella que se conserva por breves periodos de tiempo, normalmente menos de un día.

microcefálico. Dícese del sujeto que posee una cabeza más pequeña de lo corriente. Esta condición suele ir acompañada de una considerable merma de las facultades mentales. **mutación.** Cambio hereditario que se produce en los ácidos nucleicos de los cromosomas. **neocórtex.** La capa más externa y evolutivamente más moderna de la corteza cerebral. A veces se le otorga el mismo significado que a este último término. **neurona.** Célula nerviosa; unidad fundamental del sistema nervioso y del cerebro.

nucleótido. Elemento fundamental de los ácidos nucleicos. **pituitaria.** Glándula endocrina «rectora» situada en el sistema límbico, aunque cerca del cerebro medio. Influye en el crecimiento e interviene en la actividad de otras glándulas endocrinas. **plasticidad.** Ductilidad, adaptabilidad, capacidad para ser formado o moldeado y, de manera específica, la facultad de asimilar las enseñanzas del medio exterior.

presión selectiva. En el cuadro de la teoría evolucionista, la influencia del medio en la selección de una serie de rasgos genéticos con fines de supervivencia y de reproducción.

prewired. En la jerga de los computadores, información asentada en el lugar que le corresponde. También se le llama *hard-mred*. Cuanta más *prevüring*, menos plasticidad.

primates. Orden (una de las clasificaciones taxonómicas) de mamíferos que comprende al hombre y a los lémures, los monos y los grandes simios.

procesos primarios. Término psicoanalítico que designa a las funciones inconscientes básicas del cerebro.

proteínas. Junto con los ácidos nucleicos, principal base molecular de la vida en la Tierra. Las proteínas están compuestas de unidades constitutivas llamadas aminoácidos y, por lo común, presentan repliegues y curvaturas notables. Algunas proteínas tienen forma esférica y otras semejan esculturas abstractas autoestables. Todas las enzimas, sustancias que controlan el ritmo de las reacciones químicas en la célula, son proteínas. Los ácidos nucleicos regulan la síntesis y la activación de las enzimas.

psicomotor. Que está relacionado con la regulación mental de los procesos musculares.

puente (*pons*). También llamado *puente de Varolio*. Arco neural que une la médula oblongada con el cerebro medio. Forma parte del cerebro posterior.

recapitulación (o recapitulación de la filogenia por la ontogenia). La repetición manifiesta, durante el desarrollo embrionario de un organismo, de un estado embrionario propio de los antecesores de la especie.

REM (*rapid eye movements*). Movimiento rápido conjugado de los ojos, en especial el que se produce en los párpados durante los periodos de ensoñación a lo largo del sueño. En consecuencia, caracterización de χ las ensoñaciones.

selección **natural.** Mecanismo principal de la evolución biológica, descrito en un principio por Darwin y Wallace. Sostiene que los organismos accidentalmente más adaptados al medio sobreviven mejor y dejan más descendientes en la generación siguiente que los menos dotados.

sinapsis. Conjunción de dos neuronas; punto desde el cual se transmite el impulso eléctrico de una neurona a otra.

sistema límbico. Parte del cerebro anterior que ocupa una posición intermedia, tanto por su situación como por su antigüedad, entre el complejo R y el neocórtex.

tálamo. Porción del sistema límbico próxima al centro del cerebro. En tre otras funciones, proyecta estímulos sensoriales al neocórtex.

taxón. Grupo de organismos clasificados conforme a sus rasgos comunes, desde los que presentan diferencias de poca monta, como la raza y la subespecie, hasta los muy diferenciados, como los reinos animal y vegetal.

tomía (sufijo). Seccionamiento del órgano antepuesto a dicho sufijo, como, por ejemplo, *craneotomía*, *lobotomía*, etc.

vuelco de memoria intermedia (*buffer dumping*). La obtención o evacuación de información almacenada provisionalmente en la *memoria efímera* (o de corta duración).

Indice

Introducción

1. El calendario cósmico
2. Genes y cerebros
3. El cerebro y el carro
4. El Edén como metáfora. La evolución del hombre
5. Las abstracciones de los brutos
6. Relatos del oscuro paraíso
7. Amantes y locos
8. La evolución futura del cerebro
9. Nuestro destino es el conocimiento. Inteligencia terrestre y extraterrestre

Bibliografía

Glosario de voces técnicas

B.P.DLC.B

F.P.