

novedades biológicas menores como las orejas puntiagudas de Mr. Spock y sus cejas indisciplinadas eran consideradas excesivamente atrevidas por los promotores de la película; estas enormes diferencias entre Vulcaños y humanos sólo iban a confundir al público, pensaban, y se intentó eliminar todas las características que supusiesen singularidades fisiológicas de los Vulcaños. Se me plantean problemas parecidos en aquellas películas en las que animales conocidos, aunque ligeramente modificados —arañas de diez metros de altura— amenazan ciudades terrestres: dado que los insectos y los arácnidos respiran por difusión, esos merodeadores morirían por asfixia antes de poder destrozarse una ciudad.

Creo que dispongo de las mismas ansias de lo maravilloso que cuando tenía diez años. Pero desde entonces he aprendido algo acerca de cómo está organizado el mundo. La ciencia ficción me ha llevado a la ciencia. Encuentro la ciencia más sutil, más complicada y más aterradora que gran parte de la ciencia ficción. Basta con tener presentes algunos de los descubrimientos científicos de las últimas décadas: que Marte está cubierto por antiguos ríos secos; que los monos pueden aprender lenguajes de centenares de palabras, comprender conceptos abstractos y construir nuevos usos gramaticales; que existen partículas que atraviesan sin esfuerzo toda la Tierra de forma que hay tantas que emergen por debajo de nuestros pies como las que caen desde el cielo; que en la constelación del Cisne hay una estrella doble, uno de cuyos componentes posee una aceleración gravitacional tan elevada que la luz es incapaz de escaparse de él: puede resplandecer por dentro a causa de la radiación, pero resulta invisible desde el exterior. Frente a todo esto, muchas de las ideas corrientes de la ciencia ficción palidecen, en mi opinión, al intentar compararlas. Considero que la relativa ausencia de estos hechos en los relatos y las distorsiones del pensamiento científico que se dan a veces en la ciencia ficción son oportunidades perdidas. La ciencia real puede ser un punto de partida hacia la ficción excitante y estimulante tan bueno como la ciencia falsa, y considero de gran importancia aprovechar todas las oportunidades que permitan inculcar las ideas científicas en una civilización que se basa en la ciencia pero que no hace prácticamente nada para que ésta sea entendida.

Pero lo mejor de la ciencia ficción sigue siendo muy bueno. Hay historias tan sabiamente construidas, tan ricas al ajustar detalles de una sociedad desconocida, que me superan antes de tener ocasión de ser crítico. Entre esas historias hay que citar *The Door into Summer* de Robert Heinlein, *The Stars My Destination* y *The Demolished Man* de Alfred Bester, *Time and Again* de Jack Finney, *Dune* de Frank Herbert y *A Canticle for Leibowitz* de Walter M. Miller. Las ideas contenidas en esos libros hacen pensar. Los aportes de Heinlein sobre la posibilidad y la utilidad social de los robots domésticos soportan perfectamente el paso de los años. Las aportaciones a la ecología terrestre proporcionadas por hipotéticas ecologías extraterrestres, como ocurre en *Dune*, constituyen, en mi opinión, un importante servicio social. En *He Who Shrank*, Harry Hasse presenta una fascinante especulación cosmológica que ha sido reconsiderada seriamente en la actualidad, la idea de un regreso infinito de los universos, en el cual cada una de nuestras partículas elementales es un universo de nivel inferior y nosotros somos una partícula elemental del siguiente universo superior.

Pocas novelas de ciencia ficción combinan extraordinariamente bien una profunda sensibilidad humana con un tema habitual de esta especialidad. Pienso en *Rogue Moon* de Algis Budrys y en muchas de las obras de Ray Bradbury y Theodore Sturgeon, por ejemplo. Como *To Here and the Easel*, de éste último, novela en la cual se describe la esquizofrenia vista desde dentro y constituye una sugerente introducción al *Orlando Furioso* de Ariosto.

El astrónomo Robert S. Richardson escribió una sutil historia de ciencia ficción sobre el origen de la creación continua de los rayos cósmicos. La historia *Breathes There a Man* de Isaac Asimov proporciona una serie de penetrantes observaciones sobre la tensión emocional y el sentido de aislamiento de algunos de los más importantes científicos teóricos. La obra de Arthur C. Clarke *The Nine Billion Names of God* incitó a muchos lectores occidentales a una intrigante especulación sobre las religiones orientales.

Una de las cualidades de la ciencia ficción es la de poder transmitir fragmentos, sugerencias y frases de conocimientos normalmente desconocidos o inaccesibles al lector común. *And He Built a Crooked House* de Heinlein posiblemente fue para muchos lectores la primera introducción a la geometría tetradimensional con alguna posibilidad de ser entendida. En un trabajo de ciencia ficción reciente se presentan las matemáticas del último intento de Einstein en tomo a la teoría del campo unificado; en otro se expone una importante ecuación relativa a la genética de poblaciones. Los robots de Asimov eran «positrónicos», porque se acababa de descubrir el positrón. Asimov nunca explicó cómo los positrones hacían funcionar los robots, pero al menos sus lectores oyeron hablar de positrones. Los robots rodomagnéticos de Jack Williamson funcionaban con rutenio, rodio y paladio, constituyentes del Grupo VII de los metales en la tabla periódica tras el hierro, el níquel y el cobalto. Se sugirió una analogía con el ferromagnetismo. Supongo que en la actualidad hay robots de ciencia ficción en los que intervienen los *quarks* o el *encanto* y que proporcionan una breve puerta de entrada al excitante mundo de la física contemporánea de las partículas elementales. *Last Darkness Fall*, de Sprague de Camp, es una excelente introducción a Roma en la época de la invasión gótica y la serie de *Foundation*, de Asimov, aunque no se explique en los libros, constituye un resumen muy útil de una parte de la dinámica del ya lejano Imperio Romano. Las historias de viajes a través del tiempo —por ejemplo, en los notables ensayos de Heinlein, *All You Zombies*, *By His Kootstraps* y *The Door into Summer*— fuerzan al lector a contemplar la naturaleza de la causalidad y el devenir del tiempo. Son libros sobre los que se reflexiona mientras el agua va llenando la bañera o mientras se pasea por los bosques tras una primera nevada de invierno.

Otra de las grandes cualidades de la moderna ciencia ficción reside en algunas de las formas artísticas que pone de manifiesto. Llegar a tener una imagen mental de cómo debe ser la superficie de otro planeta ya es algo, pero examinar cualquiera de las pinturas meticulosas de la misma escena debidas a Chesley Bonestell en su primera época es algo muy distinto. El sentido del maravilloso mundo astronómico es espléndidamente plasmado por algunos de los mejores artistas contemporáneos: Don Davis, Jon Lomberg, Rick Sternbach, Robert McCall. Y en los versos de Diane Ackerman puede entreverse el anuncio de una poesía astronómica madura, plenamente en sintonía con los temas habituales de la ciencia ficción.

Las ideas de la ciencia ficción se presentan en la actualidad de muy diversas maneras. Tenemos los escritores de ciencia ficción como Isaac Asimov y Arthur C. Clarke, capaces de proporcionar resúmenes convincentes y brillantes en forma no ficticia de muchos aspectos de la ciencia y la sociedad. Algunos científicos contemporáneos han llegado a un público más amplio a través de la ciencia ficción que a través de sus propias disciplinas. Por ejemplo, en la interesante novela *The Listeners*, de James Gunn, se encuentra el siguiente comentario enunciado hace cincuenta años sobre mi colega, el astrónomo Frank Drake: «¡Drake! ¿Qué es lo que sabía?». Pues resultó que mucho. También encontramos verdadera ciencia ficción disfrazada de hechos en una vasta proliferación de escritos y organizaciones de creyentes pseudocientíficos.

Un escritor de ciencia ficción, L. Ron Hubbard, ha fundado un culto con no poca aceptación llamado Cientología, inventado, según me han referido, en una sola noche tras una apuesta, según la cual tenía que hacer lo mismo que Freud, inventar una religión y ganarse la vida con ella. Las ideas clásicas de la ciencia ficción han quedado institucionalizadas en los objetos voladores no identificados y en los sistemas que creen en astronautas de la antigüedad —aunque tengo reparos de no asegurar que Stanley Weinbaum (en *The Valley of Dreams*) lo hizo mejor, y antes, que Erich von Daniken y R. De Witt en *Within the Pyramid* consiguen anticiparse tanto a von Daniken como a Velikovsky y ofrecer una hipótesis del supuesto origen extraterrestre de las pirámides más coherente que la que puede encontrarse en cualquier escrito sobre antiguos astronautas y piramidología—. En *Wine of the Dreamers*, John D. MacDonald (un autor de ciencia ficción actualmente convertido en uno de los escritores contemporáneos de policial negro más interesantes) escribía: «Y existen indicios, en la mitología terrestre..., de grandes naves y carros que cruzaban el cielo». La historia *Farewell to the Master*, escrita por Harry Bates, se convirtió en una película titulada *The Day the Earth Stood Still* (que dejó de lado el elemento esencial

del argumento, que quien tripulaba el vehículo extraterrestre era el robot y no el ser humano). La película, con sus imágenes de un platillo volante sobre el cielo de Washington, jugó un papel importante, en opinión de ciertos investigadores conocidos, en la «oleada» de OVNI sobre Washington D.C. en 1952, apenas posterior al estreno de la película. Muchas novelas populares actuales del género de espionaje, por la frivolidad de sus descripciones y la poca consistencia de sus argumentos, resultan calcadas de aquella ciencia ficción superficial de los años 30 y 40.

La interrelación entre ciencia y ciencia ficción produce resultados curiosos algunas veces. No siempre queda claro si la vida imita al arte o si ocurre al revés. Por ejemplo, Kurt Vonnegut Jr. ha escrito una soberbia novela epistemológica, *The Sirens of Titan*, en la que se postula un medio ambiente no totalmente adverso en la luna mayor de Satumo. Desde que en los últimos años diversos científicos, entre los que me incluyo, hemos presentado indicios de que Titán posee una atmósfera densa y posiblemente temperaturas superiores a las esperadas, muchas personas me han hecho comentarios sobre la predicción de Kurt Vonnegut. Pero Vonnegut era graduado en física por la Universidad de Cornell, y por tanto podía conocer los últimos descubrimientos astronómicos (muchos de los mejores escritores de ciencia ficción tienen una base de ingeniería o de ciencias, como por ejemplo Paul Anderson, Isaac Asimov, Arthur C. Clarke, Hal Clement y Robert Heinlein). En 1944 se descubrió una atmósfera de metano en Titán, el primer satélite del sistema solar del cual se supo que tenía atmósfera. Tanto en éste como en muchos otros casos, el arte imita a la vida.

El problema ha sido que nuestra comprensión de los demás planetas ha crecido más rápidamente que las representaciones que de ellos hace la ciencia ficción. La reconfortante zona de penumbra en un Mercurio en rotación síncrona, un Venus de pantanos y selvas y un Marte infestado de canales son tópicos clásicos de la ciencia ficción, pero todos ellos se basan en anteriores equivocaciones de los astrónomos planetarios. Las ideas erróneas se transcribían fielmente en los relatos de ciencia ficción, leídos por muchos de los jóvenes que irían a convertirse en la siguiente generación de astrónomos planetarios —por tanto, estimulando el interés de los jóvenes, pero simultáneamente dificultando aún más la corrección de las equivocaciones de los mayores—. Pero al ir variando nuestro conocimiento de los planetas, también ha variado el contexto de los correspondientes relatos de ciencia ficción. Ya resulta poco frecuente encontrar relatos escritos en la actualidad en los que aparezcan campos de algas sobre la superficie de Venus (incidentalmente, cabe decir que los propagandistas del mito acerca de los contactos con OVNI se adaptan más lentamente y todavía podemos encontrar historias de platillos volantes procedentes de un Venus habitado por hermosos seres con túnicas blancas, de una especie de cierto Jardín del Edén. Las temperaturas de 480° C existentes en Venus proporcionan una forma de verificar la veracidad de tales relatos). Asimismo, la idea de una “curvatura del espacio” es un viejo recurso de la ciencia ficción, pero que no nació de ella. Surgió de la Teoría General de la Relatividad de Einstein.

La relación entre las descripciones que de Marte hace la ciencia ficción y la exploración actual del planeta es tan estrecha, que después de la misión del *Mariner 9* a Marte somos capaces de atribuir a algunos cráteres marcianos nombres de personalidades fallecidas del mundo de la ciencia ficción (véase el capítulo 11). Así, en Marte hay cráteres llamados H. G. Wells, Edgar Rice Burroughs, Stanley Weinbaum y John W. Campbell, Jr. Estos nombres han sido aprobados oficialmente por la *International Astronomical Union*. Sin duda alguna, a esos nombres se agregarán los de otras personalidades de la ciencia ficción tan pronto como fallezcan.

El enorme interés que despierta en los jóvenes la ciencia ficción se refleja en las películas, los programas de televisión, los comics y en la demanda de relatos ciencia ficción en la enseñanza secundaria y superior. Mi experiencia personal es la de que tales cursos pueden convertirse en interesantes experiencias educativas o en desastres, en función de cómo se programen. Los cursos en los que las lecturas son seleccionadas por los propios estudiantes no les proporcionarán la oportunidad de leer lo que no han leído. Los cursos en los que no se intenta extender la línea argumental de la ciencia ficción para situar los elementos

científicos adecuados dejarán de aprovechar una gran oportunidad educativa. Pero los cursos de ciencia ficción programados adecuadamente, en los que la ciencia o la política constituyen un componente integral, tienen en mi opinión una larga y provechosa vida en los planes de estudio.

La mayor significación de la ciencia ficción para el hombre puede darse en tanto que experimento sobre el devenir, como exploración de destinos alternativos, como intento de minimizar el choque del futuro. Esta es parte de la razón por la cual la ciencia ficción presenta interés para los jóvenes: son *ellos* quienes vivirán el futuro. Creo firmemente que ninguna sociedad actual se encuentra bien adaptada para la Tierra de dentro de uno o dos siglos (si somos lo suficientemente prudentes o afortunados para sobrevivir hasta entonces). Necesitamos desesperadamente una exploración de futuros alternativos, tanto experimentales como conceptuales. Las novelas y los relatos de Eric Frank Russell apuntan mucho en este sentido. En ellos podemos encontrar sistemas económicos alternativos imaginables, o la gran eficacia de una resistencia pasiva unificada ante un poder invasor. En la ciencia ficción moderna también se pueden encontrar sugerencias útiles para llevar a cabo una revolución en una sociedad tecnológica muy mecanizada, como en *The Moon Is a Harsh Mistress*, de Heinlein.

Cuando estas ideas se asimilan en la juventud, pueden influir en el comportamiento adulto. Muchos científicos que dedican sus esfuerzos a la exploración del sistema solar (entre los que me incluyo) se orientaron por primera vez hacia ese campo gracias a la ciencia ficción. Y el hecho de que parte de la ciencia ficción no fuese de gran calidad no tiene mayor importancia. Los jóvenes de diez años no leen literatura científica.

No sé si es factible viajar a través del tiempo hacia el pasado. Los problemas de causalidad que eso supondría me hacen ser muy escéptico. Pero hay gente que piensa en ello. Las que han dado en llamarse *líneas temporales cerradas* —trayectorias en el espacio-tiempo que permiten viajar a través del tiempo sin restricciones— aparecen en algunas soluciones de las ecuaciones de campo en la relatividad general. Una pretensión reciente, tal vez errónea, es la de que las líneas temporales aparecen en las proximidades de los grandes cilindros en rotación rápida. Me pregunto hasta qué punto ha influido la ciencia ficción en los problemas de la relatividad general. De la misma manera, los encuentros de la ciencia ficción con características culturales alternativas pueden desempeñar un papel importante en la actualización del cambio social fundamental.

En toda la historia del mundo no ha habido ninguna época en la que se hayan producido tantos cambios significativos como en ésta. La predisposición al cambio, la búsqueda reflexiva de futuros alternativos es la clave para la supervivencia de la civilización y tal vez de la especie humana. La nuestra es la primera generación que se ha desarrollado con las ideas de la ciencia ficción. Conozco muchos jóvenes que evidentemente se interesarían, pero que no quedarían pasmados, si recibiésemos un mensaje procedente de una civilización extraterrestre. Ellos ya se han acomodado al futuro. Creo que no es ninguna exageración decir que, si sobrevivimos, la ciencia ficción habrá hecho una contribución vital a la continuación y evolución de nuestra civilización.

## Tercera Parte: NUESTRO ESPACIO PRÓXIMO

### 10. LA FAMILIA DEL SOL

*Como una lluvia de estrellas, los mundos giran, arrastrados por los vientos de los cielos, y son transportados a través de la inmensidad; soles, tierras, satélites, cometas, estrellas fugaces, humanidades, cunas, sepulturas, átomos del infinito, segundos de eternidad, transforman continuamente los seres y las cosas.*

CAMILLE FLAMMARION, *Astronomic Populaire*

Imaginemos que la Tierra hubiese sido escrutada por algún cuidadoso y extremadamente paciente observador extraterrestre: hace 4.600 millones de años el planeta completaba su condensación a partir de gas y polvo interestelar y los últimos y diminutos planetas se precipitaban sobre la Tierra produciendo enormes cráteres de impacto; el interior del planeta va elevando su temperatura gracias a la energía potencial gravitatoria de acreción y a la desintegración radiactiva, diferenciando el núcleo de hierro líquido del manto y la corteza silíceos; gases ricos en hidrógeno y en agua susceptible de condensarse fluyen desde el interior del planeta hacia la superficie; una química orgánica cósmica bastante monótona fabrica moléculas complejas que apuntan hacia sistemas moleculares de autoduplicación extraordinariamente sencillos: los primeros organismos terrestres; a medida que va disminuyendo el suministro de rocas interplanetarias que caen sobre la Tierra, las aguas corrientes, la formación de montañas y otros procesos geológicos destruyen las cicatrices existentes desde el origen de la Tierra; se establece un amplio mecanismo planetario de convección que transporta material del manto hasta los fondos oceánicos y de ahí a los márgenes continentales, mientras el roce de las placas en movimiento crea las grandes cadenas de plegamientos montañosos y la configuración general de las tierras y los océanos, modificando continuamente el terreno tropical y glacial. Al mismo tiempo, la selección natural escoge, de entre una amplia variedad de alternativas, aquellas variedades de sistemas moleculares de autoduplicación mejor adaptadas a los cambios ambientales; las plantas van utilizando luz visible para descomponer el agua en hidrógeno y oxígeno y el hidrógeno escapa al espacio, modificando la composición química de la atmósfera de reductora a oxidante; eventualmente, surgen organismos de cierta complejidad y de inteligencia media.

Y en esos 4.600 millones de años, nuestro hipotético observador queda sorprendido por el aislamiento de la Tierra. Recibe luz solar y rayos cósmicos —de gran importancia para la biología— e impactos ocasionales de restos interplanetarios. Pero ninguno, en todos esos eones de tiempo, abandona el planeta. Entonces el planeta empieza súbitamente a expulsar pequeños agregados de materia hacia el sistema solar interno, colocándolos primero en órbita alrededor de la Tierra y posteriormente en el satélite natural yermo y sin vida, la Luna. Seis cápsulas —pequeñas, aunque mayores que las demás— alcanzan la Luna, cada una de ellas con dos pequeños bípedos que exploran brevemente su entorno y regresan apresuradamente a la Tierra, habiendo dado de esta forma un primer paso en el océano cósmico. Once pequeños vehículos espaciales penetran en la atmósfera de Venus, un mundo realmente duro, y seis de ellos consiguen sobrevivir unas decenas de minutos antes de derretirse. Se lanzan ocho vehículos espaciales con destino a Marte. Tres consiguen ponerse en órbita alrededor del planeta; otro pasa cerca de Venus, en dirección hacia Mercurio, según una trayectoria escogida a propósito para hacerlo pasar varias veces cerca del planeta más interior. Otros cuatro logran atravesar con éxito el anillo de asteroides, se

acercan a Júpiter y de ahí son proyectados hacia el espacio interestelar por la gravedad del planeta mayor. Resulta evidente que algo interesante está sucediendo últimamente en el planeta Tierra.

Si los 4.600 millones de años de la historia de la Tierra pudiesen comprimirse en un solo año, este frenesí de exploración espacial hubiese ocupado la última décima de segundo, y los cambios fundamentales en la actitud y en el conocimiento que explican esa importante transformación ocupaba tan sólo los últimos segundos. En el siglo xvii se produjo la primera utilización generalizada de lentes y espejos con fines astronómicos. Con el primer telescopio astronómico, Galileo quedó sorprendido y maravillado al ver a Venus como una lúnula, y también las montañas y los cráteres de la Luna. Johannes Kepler pensaba que los cráteres los habían construido seres inteligentes, habitantes de ese mundo. Pero el físico holandés del siglo xvii Christian Huygens no se mostraba de acuerdo; sugirió que el esfuerzo que debía realizarse para construir esos cráteres lunares era desproporcionadamente grande y que debía haber explicaciones alternativas para esas depresiones circulares.

Huygens constituía un ejemplo de la síntesis entre una tecnología avanzada, una gran destreza práctica, una mente razonable, aguda y escéptica y una buena predisposición ante las nuevas ideas. Fue el primero en sugerir que lo que vemos es la atmósfera y las nubes sobre Venus; el primero en comprender algo de la verdadera naturaleza de los anillos de Saturno (que Galileo había considerado como dos *masas* circundando el planeta); el primero en dibujar una zona notable de la superficie marciana (*Syrtis Major*); y el segundo, tras Robert Hooke, en dibujar la Gran Mancha Roja de Júpiter. Estas dos últimas observaciones siguen teniendo importancia científica, puesto que significan la permanencia de esas características por lo menos durante tres siglos.

Evidentemente, Huygens no era un astrónomo moderno tal como lo entendemos hoy. No pudo sustraerse totalmente a la forma de pensar de su tiempo. Por ejemplo, sostenía un curioso argumento del que podía deducir la presencia de cañamo en Júpiter: Galileo había observado que Júpiter tenía cuatro lunas. Huygens formuló una pregunta que muy pocos astrónomos planetarios modernos se harían: ¿Por *qué* Júpiter tiene cuatro lunas? Para poder responder a esa pregunta, pensaba, habría que plantearse la misma cuestión a propósito de la única luna de la Tierra, cuya función, además de proporcionar algo de luz por la noche y de provocar las mareas, consistía en ofrecer una ayuda a la navegación de los marinos. Si Júpiter dispone de cuatro lunas, tiene que haber muchos marinos en aquel planeta. Pero al haber marinos, hay barcos y, por tanto, velas; al haber velas, hay cuerdas y, por tanto, cañamo. Me pregunto cuantos sólidos argumentos científicos actuales resultarían igualmente sospechosos con la perspectiva de tres siglos.

Un índice útil de nuestro conocimiento sobre un planeta es el número de bits de información necesarios para caracterizar nuestra comprensión de su superficie. Podemos considerarlo como el número de puntos blancos y negros en el equivalente de una foto de periódico que, cubriendo toda la extensión con los brazos abiertos, resumiese todo el conjunto de imágenes existentes. En el tiempo de Huygens, unos diez bits de información, obtenidos mediante breves observaciones con telescopios, cubrían todo nuestro conocimiento de la superficie de Marte. En la época de máxima proximidad entre Marte y la Tierra, en el año 1877, ese número posiblemente ascendiese a unos miles, excluyendo una gran cantidad de información errónea —por ejemplo, dibujos de los *canales* de los que, en la actualidad, se sabe que son totalmente ilusorios. Gracias a la observación visual posterior y al desarrollo de la fotografía astronómica desde la Tierra, la cantidad de información fue creciendo lentamente hasta que se produjo un punto singular en la curva, que corresponde al acontecimiento de la exploración del planeta mediante un vehículo.

Las veinte fotografías obtenidas en 1965 por el vuelo de aproximación del Mariner 4 supusieron cinco millones de bits de información, cantidad que equivale a todo el conocimiento fotográfico previo sobre el planeta. Sin embargo, sólo llegó a cubrirse una pequeña fracción. La misión de aproximación compuesta por los Mariner 6 y 7, en 1969, hizo aumentar ese número en un factor 100 y el vehículo orbital Mariner 9, en 1971 y 1972, volvió a aumentarlo en otro factor 100. Los resultados fotográficos del Mariner 9 sobre

Marte corresponden aproximadamente a unas 10.000 veces el total del conocimiento fotográfico previo de Marte obtenido a lo largo de la historia de la humanidad. Podría hablarse de avances parecidos en cuanto a los datos espectroscópicos en infrarrojo y ultravioleta obtenidos por el Mariner 9 si se comparan con los mejores datos previos obtenidos desde la Tierra.

Paralelamente a los progresos en la cantidad de nuestra información, se da también un avance espectacular de su calidad. Antes del Mariner 4, el elemento más pequeño de la superficie de Marte que podía detectarse con ciertas garantías media varios centenares de kilómetros. Después del Mariner 9, un pequeño porcentaje del planeta ha podido observarse con una resolución efectiva de 100 metros, una mejora de la resolución en un factor 1.000 en los diez últimos años y en un factor 10.000 desde el tiempo de Huygens. El proyecto Viking ha de proporcionar todavía más mejoras. Y sólo gracias a esas mejoras conocemos hoy los grandes volcanes, los casquetes polares, los sinuosos canales tributarios, las grandes depresiones, los campos de dunas, las franjas de polvo asociadas a los cráteres y muchas otras características, misteriosas e instructivas, del medio ambiente marciano.

Para comprender un planeta recién explorado se requiere tanto resolución como recubrimiento. Por ejemplo, aún con una resolución excelente, los Mariner 4, 6 y 7 observaron, por una desgraciada coincidencia, la parte vieja de Marte repleta de cráteres y de relativamente poco interés y no dieron ninguna información sobre el tercio joven y activo, desde el punto de vista geológico, del planeta, que fue explorado por el Mariner 9. La fotografía orbital no puede detectar vida sobre la Tierra hasta no utilizar una resolución de 100 metros, punto en el que las formas geométricas de las ciudades y los campos de nuestra civilización tecnológica empiezan a ser evidentes. Si hubiese existido en Marte una civilización comparable a la nuestra por su extensión y nivel de desarrollo, sólo se hubiese podido detectar fotográficamente gracias a las misiones Mariner 9 y Viking. No hay razón alguna para esperar la existencia de civilizaciones de ese tipo en los planetas próximos, pero la comparación ilustra de forma llamativa que tan solo estamos empezando un reconocimiento adecuado de los mundos cercanos.

No hay motivos para pensar que no espera la sorpresa y el deleite a medida que vayan mejorando la resolución y el recubrimiento fotográficos y se consigan progresos comparables en la espectroscopia y otros métodos.

La mayor organización profesional de científicos planetarios en todo el mundo es la División para las Ciencias Planetarias de la Sociedad Astronómica Americana. El vigor de esta ciencia en formación queda patente en las reuniones de la sociedad. En la reunión anual de 1975, por ejemplo, se anunció el descubrimiento de vapor de agua en la atmósfera de Júpiter, de etano en Saturno, de posibles hidrocarburos en el asteroide Vesta, de una presión atmosférica próxima a la de la Tierra en la luna de Saturno, Titán, de erupciones de ondas de radio decamétricas en Saturno, la detección por radar de la luna de Júpiter, Ganímedes, la elaboración del espectro de emisión de radio de la luna de Júpiter, Calixto, por no mencionar la información sobre Mercurio y Júpiter (y sus magnetosferas) aportadas por los experimentos Mariner 10 y Pioneer 11. En las siguientes reuniones se aportaron asimismo avances de la misma importancia.

De esta avalancha de interesantes descubrimientos recientes no ha surgido todavía un modelo general sobre el origen y la evolución de los planetas, pero el tema cuenta actualmente con una gran riqueza de sugerencias estimulantes y suposiciones viables. Empieza a quedar claro que el estudio de cualquiera de los planetas incrementa nuestros conocimientos de los restantes y que, si aspiramos a comprender globalmente la Tierra, tenemos que tener un conocimiento amplio de los demás planetas. Por ejemplo, una sugerencia actualmente en boga, que yo propuse por primera vez en 1960, es la de que las elevadas temperaturas de la superficie de Venus se deben a un fugitivo efecto de invernadero por el que el agua y el dióxido de carbono de una atmósfera planetaria impiden la emisión de radiación térmica infrarroja desde la superficie hacia el espacio; entonces, la temperatura superficial se eleva hasta alcanzar el equilibrio entre la luz visible que llega a la superficie y la radiación infrarroja que ésta emite; esta temperatura superficial más elevada

supone una mayor presión de vapor de los gases del invernadero, dióxido de carbono y agua; y así sucesivamente hasta que el dióxido de carbono y el vapor de agua están en fase de vapor, produciendo un planeta con una presión atmosférica y una temperatura superficial elevadas.

Ahora bien, la razón por la cual Venus posee una atmósfera de esas características, y no así la Tierra, parece radicar en un incremento relativamente pequeño de la luz solar. Si el Sol fuese más brillante o si la superficie y las nubes terrestres fuesen más oscuras, ¿podría convertirse la Tierra en una reproducción de la visión clásica del Infierno? Venus puede constituir una llamada de atención para nuestra civilización técnica que posee la capacidad de modificar en profundidad el medio ambiente terrestre.

A pesar de la expectativa de casi todos los científicos planetarios, Marte aparece cubierto por miles de sinuosos canales tributarios de una antigüedad probable de varios miles de millones de años. En las condiciones atmosféricas actuales, muchos de estos canales posiblemente no han podido ser excavados ni por agua corriente ni por CO<sub>2</sub> corriente; requieren presiones mucho más elevadas y posiblemente temperaturas polares superiores. Por tanto, los canales —así como el terreno polar laminado de Marte— pueden atestiguar por lo menos una, o tal vez muchas épocas anteriores de condiciones climáticas más suaves, poniendo así de manifiesto la incidencia de grandes variaciones climáticas a lo largo de la historia del planeta. No sabemos si dichas variaciones tienen causas de tipo interno o externo. Si son de tipo interno, resultaría interesante ver si la Tierra puede, a través de la actividad del hombre, alcanzar un grado marciano de excursiones climáticas —algo mucho mayor de lo que ha experimentado, por lo menos en los últimos tiempos—. Si las variaciones climáticas marcianas tienen causas externas —por ejemplo, variaciones de la luminosidad solar—; entonces resultaría extraordinariamente prometedora una correlación de la paleoclimatología marciana con la terrestre.

El Mariner 9 llegó a Marte en medio de una gran tormenta de polvo, y los datos permitieron una comprobación por medio de la observación de si esas tormentas calientan o enfrían la superficie del planeta. Cualquier teoría que pretenda predecir las consecuencias climáticas de los cada vez más numerosos aerosoles en la atmósfera de la Tierra ha de ser capaz de dar una respuesta correcta a la tormenta global de polvo observada por el Mariner 9. A partir de la experiencia del Mariner 9, James Pollack, del NASA Ames Research Center, Brian Toon, de Cornell, y yo mismo hemos calculado los efectos de explosiones volcánicas individuales y múltiples sobre el clima de la Tierra y hemos conseguido reproducir, dentro del margen de error experimental, los efectos climáticos observados después de grandes explosiones en nuestro planeta. La perspectiva de la astronomía planetaria, que nos permite considerar cualquier planeta como un todo, puede proporcionar una excelente formación para los estudios sobre la Tierra.

Otro ejemplo de este tipo de retroalimentación de las observaciones terrestres, a partir de los estudios planetarios, es que uno de los principales equipos que estudian el efecto sobre la ozonosfera terrestre de la utilización de propulsores halocarbonados en aerosoles en lata está dirigido por M. B. McElroy de la Universidad de Harvard, un equipo que, para ese problema, ha estudiado intensamente la aeronomía de la atmósfera de Venus.

En la actualidad, gracias a las observaciones mediante vehículos espaciales, conocemos algo de la densidad superficial de cráteres de impacto de distintos tamaños en los casos de Mercurio, la Luna, Marte y sus satélites; los estudios con radar están empezando a proporcionar esa información en el caso de Venus y, aunque aparece muy erosionada por el agua corriente y la actividad tectónica, disponemos de alguna información acerca de los cráteres sobre la superficie terrestre. Si la población de objetos productores de tales impactos fuese la misma para todos esos planetas, sería posible establecer tanto una cronología absoluta como una relativa de las superficies de los cráteres. Pero todavía no sabemos si las poblaciones de objetos que chocan son generales —todas ellas procedentes del cinturón de asteroides, por ejemplo— o locales; por ejemplo, el barrido de anillos de restos aparecidos en las últimas etapas de la creación planetaria.



Los parajes montañosos lunares salpicados de cráteres evidencian una época primigenia de la historia del sistema solar en la cual la formación de cráteres era mucho más frecuente que ahora; la población actual de restos no consigue, por un factor considerable, explicar la abundancia de cráteres mucho menor, cosa que puede explicarse a través de la población actual de restos interplanetarios, compuesta fundamentalmente por asteroides y tal vez cometas muertos. En superficies planetarias con no demasiados cráteres, se puede deducir algo acerca de su edad absoluta, muchas cosas sobre su edad relativa y, en algunos casos, incluso algo acerca de la distribución de tamaños en la población de objetos que dieron lugar a los cráteres. En Marte, por ejemplo, se observa que las laderas de las grandes montañas volcánicas carecen prácticamente de impactos de cráteres, lo cual supone su mayor juventud comparativa; no estuvieron allí el tiempo suficiente para acumular muchas hendiduras de impacto. Esta es la base que permite afirmar que los volcanes marcianos constituyen un fenómeno comparativamente reciente.

El fin último de la planetología comparada, a mi entender, es algo así como un gran programa de computadora al que se le dan algunos parámetros de partida —tal vez los valores iniciales de la masa, la composición, el momento angular y la población de objetos próximos capaces de producir impactos— y de ahí sale la evolución temporal del planeta. Estamos muy lejos hoy de tener un conocimiento tan profundo de la evolución planetaria, pero estamos mucho más cerca de lo que hubiese podido pensarse hace tan sólo unas décadas.

Cada nueva serie de descubrimientos plantea una multitud de preguntas que antes no éramos ni siquiera capaces de formular. Bastará con mencionar algunas de ellas. Hoy empieza a poderse comparar la composición de los asteroides con la composición de los meteoritos caídos sobre la Tierra (ver capítulo 15). Los asteroides parecen poder clasificarse fácilmente en objetos ricos en silicatos y objetos ricos en materia orgánica. Una consecuencia inmediata es que el asteroide menos masivo, Vesta, sí puede diferenciarse. Pero nuestros conocimientos actuales indican que la diferenciación planetaria se produce por encima de una cierta masa crítica. ¿Puede ser Vesta un resto de un cuerpo mucho mayor, hoy ajeno al sistema solar? La observación inicial por radar de los cráteres de Venus indica que estos son muy poco profundos. Y sin embargo no existe agua líquida que erosione la superficie de Venus y la baja atmósfera de Venus parece moverse con una velocidad tan pequeña que el polvo no es capaz de llenar los cráteres. ¿Podría ser la fuente del relleno de los cráteres de Venus un lento colapso de una superficie muy débilmente derretida, algo así como la melaza?

La teoría más extendida sobre la generación de los campos magnéticos planetarios requiere corrientes de convección inducidas por la rotación en un núcleo planetario conductor. Mercurio, que gira sobre sí mismo cada cincuenta y cinco días, debía tener, según ese esquema, un campo magnético no detectable. Sin embargo el campo está manifiestamente allí, y se impone una revisión seria de las teorías del magnetismo planetario. Sólo Saturno y Urano tienen anillos. ¿Por qué? Sobre Marte existe una magnífica disposición de dunas de arena longitudinales apiñadas contra las laderas interiores de un gran cráter erosionado. En Great Sand Dunes National Monument cerca de Alamosa, Colorado, hay un conjunto de dunas de arena parecido, también apiñado en la curva de las montañas Sangre de Cristo. Las dunas de arena en ambos casos tienen la misma extensión, la misma distancia entre duna y duna y la misma altura. Sin embargo, la presión atmosférica marciana es 1/200 de la terrestre y los vientos necesarios para iniciar el movimiento de los granos de arena deberían tener allá diez veces más fuerza que en la Tierra y la distribución de tamaños de partículas puede diferir en los dos planetas. Entonces, ¿pueden ser iguales los campos de dunas producidos por la arena arrastrada por el viento? ¿Cuáles son las fuentes de la emisión radio deca métrica de Júpiter, cada una de ellas de menos de 100 kilómetros de amplitud, fijas sobre la superficie joviana y que radian intermitentemente al espacio?

Las observaciones del Mariner 9 indican que los vientos en Marte superan ocasionalmente la mitad de la velocidad local del sonido. ¿Son algunas veces mucho más fuertes los vientos? ¿Cómo es una meteorología transónica? En Marte hay pirámides cuyas bases tienen unos 3 kilómetros y una altura de 1 kilómetro. Difícilmente han sido construidas por faraones

marcianos. El grado de erosión por granos de arena transportados por el viento en Marte es, por lo menos, 10.000 veces el de la Tierra, debido a las velocidades mayores necesarias para mover partículas en la débil atmósfera marciana. ¿Podrían las caras de las pirámides marcianas haber sido erosionadas durante millones de años en esa forma, desde más de una dirección privilegiada del viento?

Las lunas del sistema solar exterior no son, con casi total seguridad, reproducción de la nuestra, que es un satélite bastante soso. Muchas de ellas tienen unas densidades tan bajas que deben estar compuestas principalmente por hielos de metano, amoníaco y agua. ¿Cómo serán sus superficies vistas de cerca? ¿Cómo erosionaran los cráteres de impacto una superficie helada de ese tipo? ¿Existirán volcanes de amoníaco sólido derramando lava de metano líquido por sus laderas? ¿Por que Ío, el mayor satélite interior de Júpiter, está envuelto por una nube de sodio gaseoso? ¿Cómo contribuye Ío a modular la emisión sincrona procedente del cinturón de radiación joviano en el que se encuentra? ¿Por qué una cara de Japeto, una de las lunas de Saturno, es seis veces más brillante que la otra cara? ¿Debido a una diferencia en el tamaño de las partículas? ¿Una diferencia química? ¿Cómo se establecieron esas posibles diferencias? ¿Por qué en Japeto y sólo allí en todo el sistema solar se da esa situación?

La gravedad de Titán, la mayor luna del sistema solar, es tan baja y la temperatura de su atmósfera superior tan elevada que el hidrógeno debe escapar hacia el espacio muy rápidamente, según un proceso llamado «escape de vapor» (*blow-off*). Pero la observación espectroscópica sugiere la existencia de una cantidad sustancial de hidrogeno en Titán. La atmósfera de Titán es un misterio. Y si sobrepasamos Saturno, nos acercamos a una región del sistema solar de la que no sabemos prácticamente nada. Nuestros débiles telescopios no han determinado con precisión siquiera los periodos de rotación de Urano, Neptuno y Plutón y menos todavía las características de sus nubes y atmósferas, ni la naturaleza de sus sistemas de satélites. La poetisa Diane Ackerman de la Universidad Cornell escribe: *"Neptuno es esquivo como un caballo tordo en plena niebla. ¿Canoso? ¿Fajado? ¿Vaporoso? ¿De hielo picado? Lo que sabemos no conseguiría llenar el puño de un lemúrido"*.

Una de las vías más inasequibles por la que empezamos a avanzar seriamente es la cuestión de la química orgánica y la biología en el sistema solar. El medio ambiente marciano no es de ninguna manera tan hostil como para excluir la vida, pero tampoco conocemos lo suficiente sobre el origen y la evolución de la vida como para garantizar su presencia allí o en cualquier otra parte. El tema de los organismos en Marte, ya sean grandes o pequeños, esta totalmente abierto, aún después de las misiones Viking.

Las atmósferas ricas en hidrógeno como las de Júpiter, Saturno, Urano y Titán se parecen en aspectos significativos a la atmósfera de la Tierra primigenia, en la época del origen de la vida. A partir de experimentos de simulación realizados en laboratorio, sabemos que las moléculas orgánicas se producen a buen ritmo en determinadas condiciones. En las atmósferas de Júpiter y Saturno las moléculas serian transportadas a profundidades pirolíticas. Pero aun ahí la concentración de moléculas estables orgánicas puede resultar significativa. En todas las experiencias de simulación la aplicación de energía a unas atmósferas de ese tipo produce un material polimérico de color marrón que recuerda, en muchos aspectos importantes, el material de color marrón de sus nubes. Titán puede estar totalmente cubierto por un material orgánico de ese mismo color marrón. Es posible que en los próximos años seamos testigos de grandes e inesperados descubrimientos en el terreno de la naciente ciencia de la exobiología.

Los medios principales para la exploración continua del sistema solar durante la siguiente década, o las dos siguientes, consistirán seguramente en misiones planetarias no tripuladas. Se ha conseguido lanzar con éxito vehículos espaciales científicos a todos los planetas conocidos por los antiguos. Existe una serie de propuestas de misiones todavía no aprobadas, pero estudiadas con detalle (ver capítulo 16). Si la mayoría de esas misiones se llevasen efectivamente a la práctica, la era actual de la exploración planetaria proseguiría brillantemente. Pero no está nada claro que esos espléndidos viajes de descubrimiento continúen, por lo menos en los Estados Unidos. Solamente una de las grandes misiones

planetarias, el proyecto Galileo hacia Júpiter, ha sido aprobada en los últimos siete años y aun así corre un cierto peligro.

Incluso un reconocimiento preliminar de todo el sistema solar hasta Plutón y una exploración mas detallada de algunos planetas mediante, por ejemplo, vehículos todo terreno para Marte y sondas de registro en Júpiter, no resolverían el problema fundamental de los orígenes del sistema solar; lo que se necesita es el descubrimiento de otros sistemas solares. Los adelantos en las técnicas de observación desde la Tierra o desde vehículos espaciales que vayan lográndose en las dos próximas décadas, podrán eventualmente detectar docenas de sistemas planetarios en órbita alrededor de estrellas aisladas próximas a nosotros. Estudios recientes basados en la observación de sistemas de estrellas múltiples debidos a Helmut Abt y Saul Levy, del *Kitt Peak National Observatory*, sugieren que hasta un tercio de las estrellas del cielo pueden tener acompañantes planetarios. No sabemos si esos otros sistemas planetarios serán como el nuestro o si se basarán en principios radicalmente distintos.

Casi sin darnos cuenta, hemos entrado en una época de exploración y descubrimiento sin parangón desde el Renacimiento. Tengo la impresión de que los beneficios de la planetología comparada para las ciencias terrestres; el sentido de aventura conferida por la exploración de otros mundos a una sociedad que ha perdido prácticamente toda oportunidad de gozar de la aventura; las derivaciones filosóficas de la búsqueda de una perspectiva cósmica, esos son los elementos que caracterizaran nuestro tiempo. Dentro de siglos, cuando nuestros grandes problemas políticos y sociales actuales nos parezcan tan remotos como los problemas de la Guerra de Sucesión de Austria, nuestro tiempo se recordara fundamentalmente por el siguiente hecho: fue la época en la que los habitantes de la Tierra establecieron su primer contacto con el cosmos que les rodeaba.

## 11. UN PLANETA LLAMADO JORGE

... me enseñaste el nombre de la gran luz y el de la pequeña, que iluminan el día y la noche.

WILLIAM SHAKESPEARE, *La tempestad*, acto I, escena 2

—¿Es cierto que responden a sus nombres? — observó negligentemente el Mosquito.

—Nunca oí que lo hiciesen —dijo Alicia.

—¿De qué les sirven pues los nombres —dijo el Mosquito—, si no responden a ellos?

LEWIS CARROLL, Alicia a través del espejo

En la superficie lunar hay un pequeño cráter de impacto llamado *Galilei*. Tiene unas 9 millas de diámetro, poco más o menos el tamaño del área metropolitana de Elizabeth, New Jersey, y es tan pequeño que para verlo se necesita un telescopio bastante potente. Cerca del centro de esa cara de la Luna que está siempre orientada hacia la Tierra, está la espléndida pared en ruinas de un antiguo cráter, de 115 millas de diámetro, llamado *Ptolomaeus*; puede verse fácilmente con unos prismáticos corrientes e, incluso, algunas personas de gran agudeza visual pueden verlo a simple vista.

Ptolomeo (siglo II de nuestra era) fue el principal defensor de la opinión según la cual nuestro planeta es inamovible y se encuentra en el centro del universo; creía que el Sol y los planetas describían circunferencias alrededor de la Tierra en un día, encajados en esferas cristalinas. Por su parte, Galileo (1564-1642) sostuvo el punto de vista copernicano según el cual el Sol se encuentra en el centro del sistema solar y la Tierra es uno de los muchos planetas que giran a su alrededor. Más aun, fue Galileo quien proporcionó, a través de la observación de la fase creciente de Venus, la primera prueba convincente en favor de la tesis de Copérnico. También fue Galileo el primero en llamar la atención sobre la existencia de cráteres sobre nuestro satélite natural. Entonces, ¿por qué el cráter *Ptolomaeus* es mucho más prominente en la superficie lunar que el cráter *Galilei*?

El criterio para la denominación de los cráteres lunares fue establecido por Johannes Howelcke, más conocido por su nombre latinizado de Hevelius. Era cervecero y político local en Danzig y dedicó mucho tiempo a la cartografía lunar; publicó un famoso libro, *Selenographia*, en 1647. Tras haber grabado al agua fuerte y a mano las placas de cobre utilizadas para la impresión de sus mapas del aspecto de la Luna vista a través del telescopio, Hevelius se planteó el problema de la denominación de los elementos grabados. Unos le propusieron que les asignara nombres de personajes bíblicos; otros se decantaban por los de filósofos y científicos. Hevelius consideró que no existía ninguna conexión lógica entre los elementos lunares y los patriarcas y profetas de hacía miles de años, pero pensó también que podía desencadenarse una fuerte controversia a la hora de buscar los nombres de los filósofos y científicos que había que conmemorar, especialmente en el caso de los no fallecidos. Le pareció más prudente bautizar los prominentes valles y montañas lunares en función de características terrestres comparables: Así, contamos con montes lunares Apeninos, Pirineos, Cáucaso, Jura y Atlas e incluso con un valle Apenino. Todavía se utilizan esos nombres.

Galileo tenía la impresión de que las áreas planas y oscuras de la superficie lunar eran mares, verdaderos océanos de agua, y que las regiones más rugosas y brillantes y densamente salpicadas de cráteres eran continentes. A estos mares se asignaron básicamente nombres de estados de ánimo o condiciones de la naturaleza: *Mare Frigoris* (el Mar del Frío), *Lacus Somniorum* (el Lago de los Sueños), *Mare Crisium* (el Mar de las Crisis), *Sinus Iridum* (la Bahía del Arco Iris), *Mare Serenitatis* (el Mar de la Serenidad), *Oceanus Procellarum* (el Océano de las Tempestades), *Mare Nubium* (el Mar de las Nubes), *Mare Fecunditatis* (el Mar de la Fecundidad), *Sinus Aes* (la Bahía de las Olas), *Mare Imbrium* (el Mar de las Lluvias) y *Mare Tranquillitatis* (el Mar de la Tranquilidad), colección de nombres de lugares que resulta un tanto poética y evocativa para un entorno tan inhóspito

como el de la Luna. Desgraciadamente, los mares lunares son enteramente secos y las muestras de ellos traídas a la Tierra por el *Apollo* estadounidense y el *Luna* soviético indican que en el pasado nunca han tenido agua. Nunca ha habido mares, bahías, lagos o arco iris en la Luna. Esos nombres han perdurado hasta nuestros días. El primer vehículo que proporcionó datos sobre la superficie lunar, el *Luna 2*, se posó en el *Mare Imbrium*, y los primeros seres humanos que pisaron nuestro satélite natural, los astronautas del *Apollo 11*, lo hicieron en el *Mare Tranquillitatis*, diez años más tarde. Creo que Galileo hubiese quedado sorprendido y complacido.

A pesar de los recelos de Hevelius, los cráteres lunares recibieron nombres de científicos y filósofos desde la publicación en 1651 del *Almagestum Novum* de Giovanni Battista Riccioli. El título del libro, el Nuevo Almagesto, se refiere al viejo Almagesto, el trabajo de toda la vida de Ptolomeo. "Almagesto" es un título inmodesto, pues en árabe significa "El Mayor". Riccioli no hizo más que publicar un mapa sobre el que situó sus preferencias personales en cuanto a nombres de cráteres, y tanto las anteriores como la mayoría de sus preferencias, han seguido vigentes sin haber sido nunca puestas en cuestión. El libro de Riccioli apareció nueve años después de la muerte de Galileo; desde entonces ha habido muchas oportunidades de cambiar los nombres de los cráteres. Sin embargo, los astrónomos han mantenido ese reconocimiento de Galileo, que resulta embarazosamente poco generoso. Existe un cráter dos veces mayor que el cráter *Galilei*, llamado *Hell* (infierno, en inglés) en honor al jesuita Maximilian Hell.

Uno de los cráteres lunares más sobresalientes es el cráter Clavius, de 142 millas de diámetro, que en la película *2001: Odisea del Espacio* se tomó como la sede de una base lunar de ficción. Clavius es el nombre latinizado de Christoffel Schlüssel ("llave" en alemán = "clavius" en latín), otro miembro de la Compañía de Jesús y gran defensor de Ptolomeo. Galileo mantuvo una dilatada controversia acerca de la prioridad del descubrimiento y de la naturaleza de las manchas solares con otro jesuita más, Christopher Scheiner, polémica que desembocó en un agudo antagonismo personal y que, para muchos historiadores de la ciencia, contribuyó al arresto domiciliario que sufrió Galileo, la proscripción de sus libros y su confesión, conseguida bajo amenaza de tortura por parte de la Inquisición, de que sus escritos copernicanos previos eran heréticos y en realidad la Tierra permanecía inmóvil. Scheiner dispone de un cráter lunar de 70 millas de diámetro. Y Hevelius, que fue quien se resistió a asignar nombres de personas a los elementos lunares, dispone de un bello cráter que lleva su nombre.

Riccioli denominó *Tycho*, *Kepler* y, sorprendentemente, *Copernicus* a tres de los más destacados cráteres de la Luna. El propio Riccioli, así como su discípulo Grimaldi, tuvieron asignados grandes cráteres en el *limbo* o borde de la Luna, siendo el de Riccioli de 106 millas de diámetro. Existe otro cráter llamado *Alphonsus*, en honor de Alfonso X de Castilla (siglo XIII) quien, después de contemplar la complejidad del sistema ptolomaico, había comentado que, caso de haber asistido a la Creación, le hubiese dado a Dios algunas sugerencias útiles de cara a ordenar el Universo. Resultaría interesante imaginar la respuesta de Alfonso X si hubiese sabido que, siete siglos más tarde, una nación del otro lado del océano enviaría a la Luna un vehículo espacial llamado *Ranger 9*, capaz de producir automáticamente imágenes de la superficie lunar a medida que se acercaba a nuestro satélite hasta precipitarse en una depresión preexistente llamada *Alphonsus*, en honor de Su Majestad de Castilla. Un cráter menos prominente lleva el nombre de *Fabricius*, el nombre latinizado de David Goldschmidt, quien descubrió, en 1596, que el brillo de la estrella Mira variaba periódicamente, contradiciendo así la opinión defendida por Aristóteles y sostenida por la Iglesia de que los cielos eran inmutables.

Así, el prejuicio en contra de Galileo en la Italia del siglo XVII no consolidó, en lo relativo a la denominación de elementos lunares, una parcialidad total en favor de los padres de la Iglesia y de las doctrinas de la Iglesia en materia astronómica. Resulta muy difícil encontrar un patrón consistente entre los nombres dados a las casi siete mil formaciones lunares. Existen cráteres que llevan el nombre de figuras políticas con poca relación directa con la astronomía, como *Julio César* o el káiser *Guillermo I*, y otros con el nombre de personajes de oscuridad heroica: por ejemplo, el cráter *Wurzelbaur* (de 50 millas de diámetro) y el

cráter *Billy* (de 31 millas de diámetro). La mayoría de las denominaciones de los pequeños cráteres lunares procede de los grandes cráteres próximos; por ejemplo, cerca del cráter *Mosting* se encuentran los pequeños cráteres *Mosting A*, *Mosting B*, *Mosting C* y así sucesivamente. La sabia prohibición consistente en no asignar nombres de personas vivas a los cráteres sólo se ha roto en contadas ocasiones, por ejemplo, al designar algunos cráteres muy pequeños a los astronautas norteamericanos de las misiones lunares *Apollo* y, por una curiosa simetría en la época de la distensión, a los cosmonautas soviéticos que quedaron atrás en órbita alrededor de la Tierra.

Durante este siglo se ha intentado denominar con consistencia y coherencia los elementos de la superficie lunar, así como de otros objetos celestes, sobre la base de responsabilizar de esa tarea a unas comisiones especiales de la *International Astronomical Union* (IAU), la organización de todos los astrónomos profesionales del planeta Tierra. Una bahía, sin nombre previo, de uno de los *mares* lunares fue examinada con detalle por el vehículo espacial norteamericano *Ranger* y fue bautizada oficialmente con el nombre de *Mare Cognitum* (el Mar Conocido). Es un nombre que expresa no tanto una serena satisfacción sino más bien exultación. Las deliberaciones de la IAU no siempre han sido fáciles. Por ejemplo, cuando se obtuvieron las primeras fotografías —por cierto, bastante poco claras— de la cara opuesta de la Luna, fotografías logradas en la histórica misión *Luna 3*, los descubridores soviéticos expresaron el deseo de llamar "Las Montañas Soviéticas" a un trazo largo y brillante de sus fotografías. Como en la Tierra no existe una gran formación montañosa que lleve ese nombre, la petición entró en conflicto con el convenio de Hevelius. Sin embargo, como homenaje a la notable hazaña del *Luna 3*, se acordó hacerlo así. Desgraciadamente, datos posteriores sugirieron que las Montañas Soviéticas no eran tales montañas.

En una situación parecida, los delegados soviéticos propusieron designar uno de los dos "mares" de la cara oculta de la Luna (ambos muy pequeños comparados con los de la cara visible) con el nombre de *Mare Moscoviense* (el Mar de Moscú). Pero los astrónomos occidentales objetaron que nuevamente esa propuesta se alejaba de la tradición, por el hecho de que Moscú no era ni una condición de la naturaleza ni un estado de la mente. A modo de contestación se dijo que en las últimas denominaciones de *mares* lunares —las de los *limbos*, que son difíciles de observar con telescopios fijos en tierra— no se había seguido al pie de la letra ese convenio: *Mare Marginis* (el Mar Limítrofe), *Mare Orientatis* (el Mar Oriental) y *Mare Smythii* (el Mar de Smyth). Al haberse quebrado la consistencia perfecta, se dictaminó en favor de la propuesta soviética. En una reunión de la IAU celebrada en Berkeley, California en 1961 Audouin Dollfus, de Francia, declaró oficialmente que Moscú era un estado de la mente.

El advenimiento de la exploración espacial ha multiplicado los problemas de nomenclatura en el sistema solar. Un ejemplo interesante de la tendencia existente puede encontrarse en la denominación de los elementos de Marte. Desde la Tierra se han observado, catalogado y trazado sobre el mapa muchas características brillantes y oscuras de la superficie del Planeta Rojo. Mientras se desconocía la naturaleza de tales características se tuvo la tentación irresistible de darles un nombre. Después de varios intentos fallidos de asignarles los nombres de astrónomos que hubiesen estudiado Marte, G. V. Schiaparelli en Italia, y E. M. Antoniadi, un astrónomo griego que trabajaba en Francia, consiguieron imponer al inicio del siglo XX el criterio de designar los elementos marcianos con nombres alusivos a personajes y lugares de la mitología clásica. Así existen *Thot*, *Nepenthes*, *Memnonia*, *Hesperia*, *Mare Boreum* (el Mar Boreal) y *Mare Acidalium* (el Mar ácido), así como *Utopia*, *Elysium*, *Atlantis*, *Lemuria*, *Eos* (Aurora) y *Uchronia* (que, supongo, puede traducirse por Buenos Tiempos). En 1890, la gente culta se encontraba mucho más a sus anchas con los mitos clásicos que en la actualidad.

La superficie caleidoscópica de Marte se hizo conocida gracias a los vehículos norteamericanos de la serie *Mariner*, especialmente por el *Mariner 9*, que giró alrededor de Marte durante todo un año iniciando en noviembre de 1971, y transmitió a la Tierra más de 7.200 fotografías de la superficie. Una profusión de detalles inesperados y exóticos quedó al descubierto, incluyendo elevadas montañas volcánicas, cráteres de tipo lunar pero mucho

más erosionados, y valles sinuosos y enigmáticos, presumiblemente excavados por corrientes de agua en épocas previas de la historia de nuestro planeta. Estos nuevos elementos requerían nombres, y la IAU designó con diligencia una comisión presidida por Gerard de Vaucouleurs, de la Universidad de Texas, para el estudio de la nueva nomenclatura marciana. Gracias al esfuerzo de algunos de nosotros, la comisión de nomenclatura marciana hizo un intento serio por evitar el localismo en las nuevas denominaciones. Resultó imposible evitar que los cráteres principales recibiesen nombres de astrónomos que habían estudiado el planeta Marte, pero la gama de profesiones y nacionalidades pudo ampliarse significativamente. Así, existen cráteres marcianos de más de 60 millas de diámetro que se llaman como los astrónomos chinos Li Fan y Liu Hsin; como los biólogos Alfred Russel Wallace, Wolf Vishniac, S. N. Vinogradsky, L. Spallanzani, F. Redi, Louis Pasteur, H. J. Muller, T. H. Huxley, J. B. S. Haldane y Charles Darwin; como los geólogos Louis Agassiz, Alfred Wegener, Charles Lyell, James Hutton y E. Suess e incluso como los escritores de ciencia ficción Edgar Rice Burroughs, H. G. Wells, Stanley Weinbaum y John W. Campbell, Jr. Hay también dos grandes cráteres marcianos llamados *Schiaparelli* y *Antoniadi*.

Pero existen muchas otras culturas en el planeta Tierra —incluso algunas con una tradición astronómica identificable— que están representadas en esa lista a través de algunos de sus miembros. En un intento de compensar por lo menos parcialmente ese desequilibrio cultural, se aceptó una sugerencia mía consistente en asignar a los valles sinuosos los nombres de Marte, por orden alfabético, en lenguas predominantemente no europeas. En la página 230 aparece una tabla en la que figuran dichos nombres. Por una curiosa coincidencia Ma'adim (hebreo) y Al Qahira (árabe: el dios de la guerra del que recibe su nombre la ciudad de El Cairo) están cara a cara. El lugar sobre el que se posó el primer vehículo *Viking* se llama *Chryse*, cerca de la confluencia de los valles *Ares*, *Tiu*, *Simud* y *Shalbatana*.

En cuanto a los grandes volcanes marcianos, se sugirió darles el nombre de los mayores volcanes terrestres, como Ngorongoro o Krakatoa, lo cual permitiría la presencia en Marte de culturas sin tradición astronómica escrita. Pero se puso la objeción de que se prestaría a confusión al comparar los volcanes terrestres con los marcianos: ¿de qué Ngorongoro se está hablando? Se plantea el mismo problema potencial con varias ciudades terrestres, pero parece posible comparar Portland, Oregon, con Portland, Maine, sin caer en una total confusión. Otra sugerencia hecha por un sabio europeo consistía en asignar a cada volcán la palabra "mons" (montaña) seguida del nombre de una deidad romana importante en caso genitivo: Así, tendríamos Mons Martes, Mons Jovis y Mons Veneris. Puse la objeción de que por lo menos estos últimos ya habían sido utilizados en otro campo distinto de la actividad humana. La respuesta fue: "¡Oh, no lo había oído!". El resultado fue la designación de los volcanes marcianos con nombres de alturas brillantes y sombrías del mundo clásico. Así, existen *Pavoris Mons*, *Elysium Mons* y —afortunadamente, pues se trata del mayor volcán del sistema solar— *Olympus Mons*. Ocurre que mientras los nombres de los volcanes se inspiran fuertemente en la tradición occidental, la nomenclatura marciana más reciente representa una ruptura significativa con la tradición: un número considerable de elementos han sido bautizados con nombres que ni evocan el mundo clásico ni elementos geográficos europeos o astrónomos visuales occidentales del siglo XIX.

Algunos cráteres marcianos y lunares tienen nombres de individuos. Se trata nuevamente del caso de Portland y creo que, en la práctica, no provocará casi confusión. Cuanto menos, tiene un aspecto positivo: en Marte existe ahora un cráter llamado *Galilei*. Es aproximadamente del mismo tamaño del llamado *Ptolomaeus*. Y no existen cráteres marcianos llamados Schemer o Riccioli.

Otra de las consecuencias inesperadas de la misión *Mariner 9* es la de que se obtuvieron las primeras fotografías de una de las lunas de otro planeta. En la actualidad disponemos de mapas que abarcan prácticamente la mitad de las características superficiales de las dos lunas de Marte, *Fobos* y *Deimos* (los dos seguidores del dios de la guerra, Marte). Una nueva comisión para la nomenclatura de los satélites de Marte, que tuvo el honor de presidir, asignó a los cráteres de Fobos los nombres de astrónomos que habían estudiado

las lunas. Un elevado cráter en el polo sur de Fobos se bautizó con el nombre de Asaph Hall, el descubridor de ambas lunas. La información apócrifa astronómica nos dice que cuando estaba a punto de abandonar la búsqueda de las lunas de Marte, su esposa le conminó a volver al telescopio. Al poco tiempo los descubrió y los denominó "miedo" (Fobos) y "terror" (Deimos). Así pues, el mayor cráter de Fobos se bautizó con el nombre de soltera de la Sra. Hall, Angelina Stickney. Si el objeto que se precipitó sobre Fobos creando el cráter Stickney hubiese sido mayor, probablemente hubiese hecho saltar en pedazos ese satélite.

Deimos quedó reservado para los escritores y todas aquellas personas relacionadas con las especulaciones que se han hecho sobre las lunas de Marte. Los dos elementos más sobresalientes recibieron los nombres de Jonathan Swift y Voltaire, quienes en sus novelas especulativas *Los Viajes de Gulliver* y *Micromegas*, respectivamente, prefiguraron antes de su descubrimiento real la existencia de las dos lunas alrededor de Marte. Quise que un tercer cráter de Deimos se llamase *René Magritte*, en homenaje al pintor surrealista belga en cuyas pinturas "Le Chateau des Pyrenées" y "Le Sens de Réalité" aparecen grandes piedras suspendidas en el cielo, de un parecido sorprendente con las dos lunas marcianas — a excepción de la presencia, en la primera pintura, de un castillo que, por lo que sabemos hasta ahora, no aparece en Fobos—. Sin embargo, mi sugerencia fue rechazada por frívola.

Estamos en la época de la historia en la que los elementos de los planetas quedarán bautizados para siempre. Un nombre de cráter es un monumento conmemorativo de gran magnitud: la vida estimada de los grandes cráteres lunares, marcianos y mercurianos se mide en miles de millones de años. Dado el enorme incremento reciente en el número de elementos superficiales a los que debe darse un nombre —y también porque los nombres de casi todos los astrónomos fallecidos han sido ya asignados a algún objeto celeste—, se requieren nuevos criterios. En la reunión de la IAU de Sydney, Australia en 1973, se constituyeron diversas comisiones para estudiar los problemas de la nomenclatura planetaria. Uno de los problemas que aparece claro es que si los cráteres de otros planetas reciben ahora nombres que no sean de personas, sólo tendremos nombres de astrónomos y algunos otros en la Luna y no en los planetas. Resultaría encantador bautizar algunos cráteres de Mercurio, por ejemplo, con imaginarios nombres de pájaros o mariposas, o ciudades o antiguos vehículos de exploración y descubrimiento. Pero si aceptásemos esa vía, por nuestros globos y mapas y nuestros libros de texto daríamos la impresión de que sólo tenemos consideración por los astrónomos y los físicos, y que poco nos importan los poetas, los compositores, los pintores, los historiadores, los arqueólogos, los dramaturgos, los matemáticos, los antropólogos, los escultores, los médicos, los psicólogos, los novelistas, los biólogos, los ingenieros y los lingüistas. La propuesta de que tales individuos sean conmemorados con cráteres lunares no asignados vendría a resultar en que, por ejemplo, Dostoievsky o Mozart o Hiroshige tendrían asignados cráteres de una décima de milla de diámetro mientras que *Pisticus* tiene 52 millas de diámetro. No creo que eso dijese nada en favor de la amplitud de miras y del ecumenismo intelectual de aquellos que tienen la labor de asignar los nombres.

Tras un intenso debate, se impuso ese punto de vista —en parte nada despreciable gracias al entusiasta apoyo de los astrónomos soviéticos—. Según ello, la comisión de nomenclatura de Mercurio, presidida por David Morrison, de la Universidad de Hawaii, decidió bautizar los cráteres de impacto de Mercurio con los nombres de compositores, poetas y autores. Así, los cráteres principales se llaman *Johann Sebastian Bach*, *Homero* y *Murasaki*. Para una comisión compuesta principalmente por astrónomos occidentales resultó difícil hacer una elección de un grupo de nombres que fuera representativa de todo el mundo de la cultura; por ello, la comisión de Morrison solicitó ayuda a músicos y expertos en literatura comparada. El problema más incómodo consiste en encontrar, por ejemplo, los nombres de los que compusieron la música de la dinastía Han, los que fundieron los bronce de Benin, los que tallaron los tótems de Kwakiuti y los que compilaron la literatura épica popular de Melanesia. Pero aun en el caso de que esa información se vaya obteniendo lentamente, habrá tiempo: las fotografías de Mercurio enviadas por el *Mariner 10*, en las que aparecen los elementos que hay que bautizar, cubren únicamente la mitad de la



superficie del planeta; pasarán muchos años antes de poder fotografiar y bautizar los cráteres del otro hemisferio.

Además, existen algunos objetos en Mercurio para los que se han propuesto, por razones especiales, otros tipos de nombres. El meridiano de longitud 20° propuesto pasa por un pequeño cráter que los responsables de la televisión del *Mariner 10* sugirieron llamar *Hun-Kal*, palabra azteca que significa veinte, la base de la aritmética azteca. Y también propusieron llamar a una enorme depresión, comparable en muchos aspectos a un mar lunar, la cuenca *Caloris*: Mercurio es muy caliente. Por último, cabe decir que todos estos nombres se refieren solamente a elementos topográficos de Mercurio; los elementos brillantes y oscuros vagamente vislumbrados por generaciones anteriores de astrónomos todavía no han sido identificados convenientemente. Cuando lo sean, posiblemente se den sugerencias para sus nombres. Antoniadi propuso nombres para esos elementos de Mercurio, alguno de los cuales —como *Solitudo Hermae Trismegisti* (la soledad de Hermes, el tres veces grande)— suenan muy bien y tal vez sean retenidos finalmente.

No existen mapas fotográficos de la superficie de Venus, porque el planeta se encuentra perpetuamente envuelto por nubes opacas. Ello no obstante, los elementos superficiales se han plasmado en el mapa gracias a las observaciones por radar desde Tierra. Hoy por hoy sabemos que existen cráteres y montañas, y otras características topográficas de aspecto extraño. El éxito alcanzado por las misiones *Venera 9* y *10* en la obtención de fotografías de la superficie del planeta sugiere que algún día obtendremos fotografías desde vehículos o globos espaciales en la atmósfera baja de Venus.

Los primeros elementos sobresalientes descubiertos en Venus fueron unas regiones con una gran capacidad reflectante frente al radar, a las que se asignaron los nombres, difícilmente asumibles, de Alfa, Beta y Gamma. La actual comisión para la nomenclatura de Venus, presidida por Gordon Pettengill, del *Massachusetts Institute of Technology*, ha propuesto dos categorías de nombres para los elementos superficiales venusianos. Una categoría sería la de pioneros de la tecnología radio cuyos trabajos hicieron posible el desarrollo de las técnicas de radar que han permitido levantar mapas de la superficie del planeta: por ejemplo, Faraday, Maxwell, Heinrich, Hertz, Benjamin Franklin y Marconi. La otra categoría, sugerida por el nombre del propio planeta, es la de nombres de mujeres. A primera vista, puede parecer sexista la idea de un planeta dedicado a las mujeres, pero creo que es precisamente lo contrario. Por razones históricas, las mujeres han sido desalentadas a ejercer las profesiones de los tipos que se conmemoran en otros planetas. El número de mujeres que hasta ahora han dado nombre a cráteres es muy pequeño: *Skłodowska* (nombre de soltera de Madame Curie), *Stickney*, la astrónomo María Mitchell; la pionera de la física nuclear Lisa Meitner; Lady Murasaki; y sólo unas pocas más. Mientras, dadas las reglas de profesiones utilizadas en otros planetas, los nombres de mujeres continuarán apareciendo ocasionalmente en otras superficies planetarias, pero la propuesta para Venus es la única que permite un reconocimiento adecuado de la contribución histórica de las mujeres. (Sin embargo, me agrada que esa idea no se aplique a rajatabla; no me gustaría ver una lista de nombres de hombres de negocios en Mercurio, ni de generales en Marte).

En cierto sentido, las mujeres han sido conmemoradas tradicionalmente en el cinturón de asteroides (ver capítulo 15), conjunto de masas rocosas y metálicas que giran alrededor del Sol entre las órbitas de Marte y Júpiter. A excepción de una categoría de asteroides que recibieron los nombres de héroes de la Guerra de Troya, la tendencia consistía en darles nombres de mujeres. En un principio fueron básicamente mujeres de la mitología clásica, como *Ceres*, *Urania*, *Circe* y *Pandora*. A medida que fueron acabándose los nombres de diosas, se amplió el ámbito para poder incluir a *Safo*, *Dike*, *Virginia* y *Silvia*. Mas adelante, cuando los descubrimientos fueron incesantes y se fueron acabando los nombres de las mujeres, madres, hermanas, queridas y tías abuelas de los astrónomos, se empezaron a bautizar los asteroides con los nombres de patronos reales o deseados y otros, con una desinencia femenina, como por ejemplo, *Rockefelleria*. Hasta ahora se han descubierto más de dos mil asteroides y la situación se ha vuelto moderadamente desesperada. No se ha taponado la espita de las tradiciones no occidentales y, para los futuros asteroides, se prevé una multitud de nombres femeninos en idiomas vasco, amharico, amu, dobu y kung.

Anticipándose a una distensión egipcio-israelí, Eleanor Helin, del *Californian Institute of Technology*, propuso que un asteroide que descubrió se llamase Ra-Shalom. Un problema adicional —o una oportunidad, según el punto de vista de cada uno— es el de que posiblemente no tardaremos en tener fotografías de cerca de los asteroides, cuyos detalles superficiales habrá que bautizar.

Mas allá del cinturón de asteroides, en los planetas y las grandes lunas del sistema solar exterior no se han asignado hasta ahora nombres no descriptivos. En Júpiter, por ejemplo, existe la Gran Mancha Roja y un Cinturón Norecuatorial, pero ningún elemento se llama, por ejemplo, Smedley. La razón reside en que cuando se observa Júpiter sólo se ven sus nubes, y no resultaría precisamente acertado o no sería una conmemoración duradera para el tal Smedley darle su nombre a una nube. En cambio, la cuestión más importante acerca de la nomenclatura en el sistema solar exterior es la de la denominación de las lunas de Júpiter. Las lunas de Saturno, Urano y Neptuno poseen nombres clásicos satisfactorios o, por lo menos, oscuros (ver Tabla 2). Pero la situación de las catorce lunas de Júpiter es distinta.

Las cuatro lunas grandes de Júpiter fueron descubiertas por Galileo, cuyos contemporáneos, fuertemente influidos por la teología y por una amalgama de ideas aristotélicas y bíblicas, estaban convencidos de que los planetas no tenían lunas. El descubrimiento de Galileo desconcertó y contrarió a los clérigos fundamentalistas de la época. Tal vez en un intento de paliar la crítica, Galileo llamó "satélites mediceanos" a las lunas, en honor a los Medici, quienes le subvencionaban. Pero la posteridad ha sido mas sabia: se les conoce por *satélites galileanos*. De forma parecida, cuando el inglés William Herschel descubrió el séptimo planeta, propuso llamarle Jorge. En caso de que no se hubieran impuesto criterios más serios, hoy tendríamos un planeta mayor cuyo nombre estaría inspirado en el de Jorge III; en lugar de ello se le llamó Urano.

A los satélites galileanos les asignó sus nombres provenientes de la mitología griega Simon Marius (dispone en la Luna de un cráter de 21 millas de diámetro), un contemporáneo de Galileo con el que incluso entabló polémica sobre la prioridad del descubrimiento. Marius y Johannes Kepler eran de la opinión de que resultaba muy poco prudente asignar a los objetos celestes nombres de personas reales y muy especialmente de personajes de la política. Marius escribía: *"Quiero que las cosas se hagan sin supersticiones y con la sanción de los teólogos. A Júpiter en especial los poetas le confieren amores ilícitos. Bien conocidos son los [nombres] de tres vírgenes cuyo amor Júpiter anheló y consiguió en secreto: Ío [...] Calisto [...] y Europa [...] Pero aún más ardientemente amó al bello Ganímedes [...] y por tanto, creo que no he obrado desafortunadamente al denominar al primero Ío, al segundo Europa, al tercero, sobre la base del esplendor de su luz, Ganímedes y, por ultimo, al cuarto, Calisto"*.

Sin embargo, en 1892 E. Barnard descubrió la quinta luna de Júpiter, que seguía una órbita interior a la de Ío. Barnard insistió resueltamente en que ese satélite debería llamarse *Júpiter 5* y sólo así. Desde entonces ha prevalecido la opinión de Barnard, y de las catorce lunas jovianas conocidas en la actualidad tan sólo los satélites galileanos tenían, hasta hace poco tiempo, nombres sancionados oficialmente por la IAU. Sin embargo, por poco razonable que pueda parecer, las personas manifiestan una fuerte preferencia por los nombres más que por los números. (Así se pone de manifiesto claramente en la resistencia de los estudiantes universitarios a ser considerados "sólo como un número" por el tesorero de la universidad, en el ultraje sentido por muchos ciudadanos al ser tratados por el gobierno únicamente a través de su número de identidad, y también en los intentos sistemáticos en cárceles y campos de trabajo —consistentes en desmoralizar y degradar a los internos— asignándoles tan sólo un número de orden como toda identidad.) Poco después del descubrimiento de Barnard, Camille Flammarion sugirió para *Júpiter 5* el nombre Amaltea (ésta era la cabra que, según la mitología griega, amamantó a Júpiter). Si bien ser amamantado por una cabra no es precisamente un acto de amor ilícito, al astrónomo francés debió parecerle suficientemente parecido.

La comisión de la IAU para la nomenclatura joviana, presidida por Tobias Owen, de la Universidad Estatal de Nueva York en Stony Brook, ha propuesto una serie de nombres para designar desde *Júpiter 6* a *Júpiter 13*. Dos principios han guiado esa selección: el nombre escogido debe ser el de un "amor ilícito" de Júpiter, pero un nombre que haya sido olvidado por esos infatigables examinadores de los clásicos que escogen los nombres para los asteroides, y debe acabar en *a* o en *e* según que la luna gire en el sentido de las agujas del reloj o en sentido contrario alrededor de Júpiter. Pero según la opinión de algunos especialistas en el mundo clásico, esos nombres resultan excesivamente raros y el resultado es que dejan sin representación en el sistema joviano a algunos de los más significados amantes de Júpiter. El resultado es especialmente injusto con Hera (Juno), la esposa tantas veces despreciada de Zeus (Júpiter), que no figura en absoluto. Evidentemente, el suyo no era un amor ilícito. En la tabla de la página 239 aparece una lista alternativa de nombres donde se incluyen la mayoría de los principales amantes y también Hera. Es cierto que de utilizarse esos nombres se duplicarían algunos nombres de asteroides. Tal es precisamente el caso de los cuatro satélites galileanos, aunque la confusión que esa situación ha generado ha sido despreciable. Por otro lado, están los que defienden la posición de Barnard, según la cual basta con los números; entre los más destacados se encuentra Charles Kowal, del *Californian Institute of Technology*, el descubridor de *Júpiter 13* y *14*. Las tres posiciones tienen poderosas razones y será interesante ver cómo se desarrolla el debate. Por lo menos, no tenemos que juzgar todavía los méritos de las sugerencias en lid en cuanto a bautizar elementos sobre la superficie de los satélites jovianos.

Pero ese momento no tardará mucho en llegar. Se conocen treinta y una lunas de Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. No existen fotografías de cerca de ninguna de ellas. Recientemente se ha adoptado la decisión de bautizar los elementos sobre las lunas del sistema solar externo con los nombres de figuras mitológicas de todas las culturas. Sin embargo, muy pronto la misión *Voyager* obtendrá imágenes de alta resolución de unas diez lunas y también de los anillos de Saturno. El área de la superficie total de los relativamente pequeños objetos del sistema solar exterior supera ampliamente las áreas de Mercurio, Venus, la Tierra, la Luna, Marte, Fobos y Deimos juntos. Todas las profesiones y culturas humanas tendrán la oportunidad de verse representadas y acaso podrán preverse también nombres de especies no humanas. En la actualidad existen posiblemente más astrónomos profesionales vivos que en toda la historia escrita previa de la humanidad. Supongo que muchos de ellos también serán conmemorados en el sistema solar externo —un cráter en Calisto, un volcán en Titán, una cordillera en Miranda, un ventisquero en el cometa Halley. (Por cierto, a los cometas se les designa por los nombres de sus descubridores.)

Kowal ha descubierto recientemente un objeto pequeño muy interesante que gira alrededor del Sol entre las órbitas de Urano y Saturno. Puede tratarse del miembro de mayor volumen de un nuevo cinturón de asteroides. Kowal propone llamarle Quirón, nombre del centauro que educó a muchos dioses y héroes de la mitología griega. Si se descubren otros asteroides transaturnianos, podría asignárseles los nombres de otros centauros.

A veces me pregunto cuál será el resultado final —si los que han sido grandes rivales quedarán separados al ser destinados a mundos distintos, o si aquéllos que han hecho descubrimientos en colaboración quedarán unidos para siempre, con sus respectivos cráteres adyacentes—. Se han manifestado objeciones en el sentido de que los filósofos de la política resultan demasiado controvertidos. Personalmente me encantaría ver dos enormes cráteres yuxtapuestos llamados Adam Smith y Karl Marx. Incluso existen demasiados objetos en el sistema solar como para dedicarlos sólo a líderes políticos y militares ya fallecidos. Hay personas que han sugerido que la astronomía podría financiarse a base de vender nombres de cráteres a los mejores postores; creo, no obstante, que esa idea no llegará muy lejos.

Existe un curioso problema relacionado con los nombres en el sistema solar exterior. Muchos de los objetos tienen una densidad tremendamente pequeña... como si fuesen de hielo, a modo de grandes bolas de nieve esponjosa de decenas o centenares de millas de diámetro. Si bien los objetos que se precipitan sobre dichos cuerpos producirán

necesariamente cráteres, estos no perdurarán en el hielo por mucho tiempo. Cuando menos en algunos objetos del sistema solar exterior, los nombres de los elementos superficiales pueden ser pasajeros. Tal vez sea una ventaja: nos permitirá revisar nuestras opiniones sobre políticos u otros personajes y corregir eventualmente las decisiones en las que nuestro fervor nacional o ideológico se haya reflejado en la nomenclatura del sistema solar. La historia de la astronomía pone de manifiesto que es mejor ignorar algunas sugerencias sobre nomenclatura celeste. Por ejemplo, en 1688 Erhard Weigel de Jena propuso una revisión de las constelaciones del Zodíaco —Leo, Virgo, Piscis y Acuario, que todo el mundo tiene presentes cuando se le pregunta a qué signo pertenece—. En su lugar, Weigel propuso un "cielo heráldico" en el que las familias reales europeas estuviesen representadas por sus animales de tutela: un león y un unicornio en el caso de Inglaterra, por ejemplo. Me produce escalofríos imaginar la astronomía estelar descriptiva actual si se hubiese adoptado esa idea en el siglo XVII. El cielo estaría subdividido en doscientas diminutas regiones, una para cada nación o estado existente en un determinado momento.

La denominación de elementos del sistema solar no es básicamente una tarea de las ciencias exactas. Históricamente ha topado a cada momento con el prejuicio, la patriotería y la imprevisión. Sin embargo, y aunque sea algo pronto para autofelicitarse, considero que los astrónomos han dado últimamente pasos importantes en el sentido de quitarle localismo a la nomenclatura y hacerla representativa de toda la humanidad. También hay quienes piensan que se trata de una tarea intrascendente o cuando menos ingrata, pero algunos de nosotros estamos convencidos de su importancia. Nuestros más remotos descendientes estarán utilizando nuestra nomenclatura para sus hogares en la torrida superficie de Mercurio, en las laderas de los valles marcianos, en las faldas de los volcanes de Titán, o en el campo helado del lejano Plutón, donde el Sol aparece como un punto brillante en un cielo de persistente oscuridad. Su visión de nosotros, de lo que estimamos y apreciamos hoy, puede ser básicamente determinada por cómo bautizamos hoy las lunas y los planetas.

## 12. VIDA EN EL SISTEMA SOLAR

—A nadie veo en el camino —dijo Alicia.

—Me gustaría tener esos ojos —observó el Rey en tono malhumorado—. ¡Ser capaz de ver a Nadie! ¡Y a esa distancia, además! ¡Si esto es lo más que puedo hacer por ver a la gente de verdad, con esta luz!

LEWIS CARROLL, *Alicia a través del espejo*

Hace más de trescientos años, Anton van Leeuwenhoek, de Delft, exploró un nuevo mundo. Con el primer microscopio pudo observar una infusión de heno y quedó asombrado al comprobar que en ella pululaban pequeños seres:

*"El 24 de abril de 1676, cuando observaba por casualidad ese agua, vi en ella, con gran asombro, una cantidad increíblemente grande de pequeños animálculos de varios tipos; entre otros, unos que eran tres o cuatro veces más largos que anchos. Su grosor era, a mi juicio, no mucho mayor que uno de los pequeños pelos que cubren el cuerpo de un piojo. Esos seres tenían unas patas muy cortas y delgadas sobre la cabeza (aunque fui incapaz de reconocer una cabeza, hablo así de ella por la única razón de que esa parte siempre iba hacia delante al moverse)... Cerca de la parte trasera había un glóbulo muy claro; y aprecié que la parte más trasera estaba ligeramente partida. Estos animálculos son muy astutos al moverse y a menudo dan vueltas en redondo".*

Esos diminutos *animálculos* no habían sido vistos jamás por ningún ser humano. Y sin embargo, Leeuwenhoek no tuvo ninguna dificultad en considerarlos seres vivos.

Dos siglos más tarde, Louis Pasteur elaboró a partir del descubrimiento de Leeuwenhoek la teoría de las enfermedades provocadas por gérmenes y sentó las bases de una gran parte de la medicina moderna. Los objetivos de Leeuwenhoek no eran prácticos en absoluto, pero sí exploratorios y audaces. Él mismo nunca intuyó las futuras aplicaciones prácticas de su trabajo.

En mayo de 1974, la *Royal Society* de Gran Bretaña celebró una reunión para debatir sobre el tema *"El reconocimiento de la vida extraña"*. La vida en la Tierra se ha desarrollado a través de una progresión lenta, tortuosa y paulatina, conocida con el nombre de *evolución por selección natural*. Los factores aleatorios desempeñan un papel crítico en todo ese proceso —como, por ejemplo, qué gen en qué momento mutará o cambiará por la acción de un fotón ultravioleta o un rayo cósmico procedente del espacio—. Todos los organismos de la Tierra están exquisitamente adaptados a los caprichos de su entorno natural. En algún planeta, con distintos factores aleatorios en juego y entornos extremadamente exóticos, la vida puede haber evolucionado de forma muy distinta. Si, por ejemplo, se hace llegar un vehículo a Marte, ¿seríamos incluso capaces de reconocer las formas de vida local?

Un tema sobre el que la discusión de la *Royal Society* hizo mucho hincapié fue que la vida en cualquier lugar podría reconocerse por su improbabilidad. Pensemos en los árboles, por ejemplo. Los árboles son estructuras largas y flacas que sobresalen del suelo, más gruesos en la parte baja que en la copa. Es fácil ver que después de milenios de erosión por el agua y el viento, la mayoría de los árboles deben haber caído. Están en desequilibrio mecánico.

Son estructuras inverosímiles. No todas las estructuras de copa pesada han sido producidas por la biología. Existen, por ejemplo, las rocas fungiformes de las zonas desérticas. Pero si lo que se observase fuese una gran cantidad de estructuras de copa pesada, todas con la misma apariencia, deduciríamos lógicamente que tendrían un origen biológico. Como en el caso de los *animáculos* de Leeuwenhoek. Existen muchos de ellos, muy parecidos entre sí, de estructuras complejas y, en principio, muy improbables. Sin haberlos visto nunca antes, intuiríamos con acierto que son biológicos.

Se ha debatido intensamente acerca de la naturaleza y la definición de la vida. Las definiciones más acertadas hacen referencia al proceso evolutivo. Pero no podemos esperar a llegar a otro planeta y ver si algún objeto de las inmediaciones está evolucionando. No tenemos tiempo para eso. La búsqueda de la vida debe hacerse desde una óptica mucho más práctica. Este punto apareció con cierta elegancia en la reunión de la *Royal Society* cuando, tras un diálogo caracterizado por una intensa vaguedad metafísica, se levantó sir Peter Medawar y dijo: "*Caballeros, todos los presentes en esta sala conocen la diferencia entre un caballo vivo y un caballo muerto. Les rogaría, por tanto, que dejásemos de hostigar a este caballero*". Medawar y Leeuwenhoek hubiesen estado completamente de acuerdo.

Pero, ¿existen árboles o animáculos en otros mundos de nuestro sistema solar? La respuesta es sencilla: nadie lo sabe todavía. Desde los planetas más cercanos, resultaría imposible detectar fotográficamente la presencia de vida en nuestro propio planeta. Incluso con las observaciones orbitales más próximas de Marte conseguidas hasta la fecha, desde los vehículos norteamericanos *Mariner 9* y *Viking 1* y *2*, no se aprecian los detalles superficiales menores de 100 metros de longitud. Como quiera que incluso los más ardientes entusiastas de la vida extraterrestre no defienden la existencia de elefantes marcianos de 100 metros de longitud, todavía faltan por realizar muchas pruebas importantes.

Hasta el momento, tan sólo podemos evaluar las condiciones ambientales de los demás planetas, determinar si son tan duras como para excluir la vida —incluso bajo formas distintas a las que conocemos en la Tierra— y, en el caso de entornos más benignos, especular tal vez sobre las formas de vida que puedan darse. La única excepción está en los resultados del aterrizaje de los *Viking*, comentados brevemente más arriba.

Un lugar puede resultar demasiado caluroso o demasiado frío para la vida. Si las temperaturas son excesivamente elevadas —por ejemplo, varios miles de grados centígrados—, entonces las moléculas que constituirían el organismo se descompondrían. Así, se ha excluido el Sol como sede de la vida. Por otra parte, si las temperaturas son excesivamente bajas, entonces las reacciones químicas que configuran el metabolismo interno del organismo se producirían a una velocidad demasiado baja. Por esa razón, los restos frígidos de Plutón se han excluido como sede de la vida. Sin embargo, existen reacciones químicas que se producen a velocidades considerables a temperaturas bajas, pero son poco conocidas en la Tierra, donde a los químicos les disgusta trabajar en el laboratorio a  $-230^{\circ}$  C. Debemos evitar caer en una visión demasiado chauvinista de la materia.

Los planetas exteriores gigantes del sistema solar, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, se excluyen a veces por razones biológicas, dado que sus temperaturas son muy bajas. Pero esas temperaturas son las de sus nubes superiores. En las zonas inferiores de las atmósferas de esos planetas, como en la atmósfera de la Tierra, deberán darse condiciones mucho más benignas. Y parecen ser ricas en moléculas orgánicas. De ninguna manera pueden excluirse.

Así como los seres humanos necesitamos oxígeno, difícilmente puede recomendarse éste, ya que existen muchos organismos para los cuales el oxígeno es un veneno. Si no existiese la fina capa protectora de ozono de nuestra atmósfera, creada a partir del oxígeno por la luz solar, rápidamente quedaríamos achicharrados por la luz ultravioleta procedente del Sol. Pero, dicho de otra manera, pueden imaginarse fácilmente parasoles ultravioletas o

moléculas biológicas impermeables a la radiación *cuasi* ultravioleta. Esas consideraciones no hacen sino subrayar nuestra ignorancia.

Una distinción importante con relación a los demás mundos de nuestro sistema solar es el espesor de sus atmósferas. En ausencia total de atmósfera, resulta muy difícil concebir la vida. Pensamos que, como en la Tierra, en los demás planetas la biología debe estar presidida por la luz solar. En nuestro planeta, las plantas comen luz solar y los animales comen plantas. Si todos los organismos de la Tierra se viesen forzados (por una catástrofe inimaginable) a llevar una existencia subterránea, la vida dejaría de existir en cuanto se agotasen las existencias de alimentos. Las plantas, los organismos fundamentales de cualquier planeta, deben estar expuestas al Sol. Pero si un planeta no dispone de atmósfera, no sólo la radiación ultravioleta, sino también los rayos X y los rayos gamma y las partículas cargadas del viento solar se precipitarían sin obstáculo alguno sobre la superficie planetaria destruyendo las plantas.

Pero, además, se requiere una atmósfera para el intercambio de materiales de forma que no se gasten todas las moléculas básicas para la biología. En la Tierra, por ejemplo, las plantas verdes liberan oxígeno —un producto de desecho para ellas— a la atmósfera. Muchos animales que respiran, como por ejemplo los seres humanos, inhalan oxígeno y liberan dióxido de carbono, que a su vez aceptan las plantas. Sin ese sabio (y penosamente alcanzado) equilibrio entre las plantas y los animales, enseguida nos quedaríamos sin oxígeno o sin dióxido de carbono. Por esas dos razones —protección ante la radiación e intercambio molecular— para la vida parece necesaria una atmósfera.

Algunos de los mundos de nuestro sistema solar tienen atmósferas extremadamente delgadas. Por ejemplo, nuestra Luna posee en su superficie menos de una millonésima parte de la presión atmosférica terrestre. Los astronautas de las sucesivas misiones *Apollo* examinaron seis lugares de la cara visible de la Luna. No encontraron ni estructuras de copa pesada ni animales que se desplazasen pesadamente. De la Luna se trajeron casi cuatrocientos kilogramos de muestras que fueron examinadas meticulosamente en los laboratorios terrestres. No se han encontrado ni animálculos, ni microbios, muy pocos compuestos orgánicos y sólo rastros de agua. Esperábamos que no hubiese vida en la Luna, y así parece confirmarse. Mercurio, el planeta más cercano al Sol, se parece a la Luna. Su atmósfera es extraordinariamente sutil y no debiera hacer posible la vida. En el sistema solar exterior existen muchos grandes satélites del tamaño de Mercurio o de nuestra Luna, compuestos por mezclas de rocas (como la Luna y Mercurio) y hielos. En esa categoría se encuentra Ío, la segunda luna de Júpiter. Su superficie parece estar cubierta por una especie de depósito rojizo de sal. Muy poco sabemos de él. Pero, precisamente por su baja presión atmosférica, no es de esperar que haya vida allí.

Hay también planetas con atmósferas moderadas. La Tierra es el ejemplo más conocido. Aquí la vida ha desempeñado un papel fundamental en la determinación de la composición de nuestra atmósfera. Evidentemente, el oxígeno lo produce la fotosíntesis de las plantas verdes, pero se piensa incluso que el nitrógeno es producido por bacterias. El oxígeno y el nitrógeno constituyen por sí solos el 99 por ciento de nuestra atmósfera, cuya composición ha sufrido el trabajo continuo y a gran escala de la vida en nuestro planeta.

La presión total en Marte es aproximadamente la mitad de un uno por ciento de la terrestre, pero su atmósfera esta compuesta fundamentalmente por dióxido de carbono. Existen pequeñas cantidades de oxígeno, vapor de agua, nitrógeno y otros gases. Evidentemente, la atmósfera de Marte no ha sufrido el trabajo continuo de la biología, pero no sabemos lo suficiente de Marte como para excluir la posibilidad de vida. En algunos momentos y lugares, tiene temperaturas adecuadas, así como una atmósfera suficientemente densa y también agua abundante almacenada en el suelo y en los casquetes polares. Algunas variedades de microorganismos terrestres podrían sobrevivir muy bien allí. El *Mariner 9* y los *Viking* encontraron centenares de lechos de río secos, posibles exponentes de que en alguna época de la historia geológica reciente del planeta corría por ellos agua líquida en abundancia. Es un mundo en espera de exploración.

Un tercer ejemplo aunque menos conocido de lugares con atmósferas moderadas es Titán, la luna mayor de Saturno. Titán parece tener una atmósfera de una densidad comprendida entre las de Marte y la Tierra. Sin embargo, esa atmósfera está fundamentalmente constituida por hidrógeno y metano, y está coronada por una capa continua de nubes rojizas —posiblemente formadas por complejas moléculas orgánicas—. Debido a su lejanía, solo recientemente se ha centrado sobre Titán la atención de los exobiólogos; hoy se afirma como una promesa fascinante a largo plazo.

Los planetas con atmósferas muy densas presentan un problema especial. Como ocurre en la Tierra, esas atmósferas son frías en la parte superior y calientes cerca del suelo. Pero cuando la atmósfera es muy espesa, las temperaturas próximas al suelo resultan demasiado elevadas para la biología. En el caso de Venus, las temperaturas superficiales son de unos 480° C; en los planetas jovianos, alcanzan los miles de grados centígrados. Tenemos la impresión de que todas esas atmósferas son convectivas, atravesadas por vientos verticales que transportan materiales en ambas direcciones. Posiblemente no pueda imaginarse la vida en esas superficies a causa de sus elevadas temperaturas. El medio ambiente de las nubes es perfectamente adecuado, pero la convección llevaría esos hipotéticos organismos de las nubes hacia sus profundidades, donde se achicharrarían. Existen dos soluciones obvias. Pueden existir pequeños organismos que se reproduzcan al mismo ritmo que son llevados hacia abajo, hacia la cazuela planetaria, o bien los organismos pueden mantenerse a flote. Los peces de la Tierra disponen de vejigas natatorias para ese mismo fin; tanto en Venus como en los planetas jovianos puede pensarse en organismos básicamente repletos de hidrógeno. Para poder flotar en las temperaturas moderadas de Venus, deberían tener unos cuantos centímetros de longitud, pero para eso mismo en Júpiter tendrían que ser por lo menos de varios metros —del tamaño de pelotas de ping-pong y de los globos meteorológicos, respectivamente—. No sabemos si existen esos animales, pero resulta interesante darse cuenta de que pueden considerarse como una posibilidad que no atenta contra nuestros conocimientos actuales de física, química y biología.

Nuestra profunda ignorancia acerca de la posible existencia de vida en otros planetas puede finalizar en el curso del presente siglo. Existen planes elaborados para examinar, tanto desde el punto de vista químico como biológico, todos esos mundos candidatos. El primer paso lo constituyeron las misiones norteamericanas *Viking*, que consiguieron posar dos sofisticados laboratorios automáticos sobre Marte en verano de 1976, casi trescientos años justos después del descubrimiento de los animáculos en la infusión de heno por parte de Leeuwenhoek. Los *Viking* no encontraron ninguna estructura curiosa por los alrededores (ni tampoco ninguna que vagase por ahí) del tipo de copa pesada, así como tampoco detectaron moléculas orgánicas. De tres experimentos sobre el metabolismo microbiano, dos de ellos, realizados en los dos lugares en que se posaron los vehículos, dieron repetidamente lo que parecían ser resultados positivos. Las implicaciones siguen debatiéndose intensamente todavía. Además, cabe recordar que los dos vehículos *Viking* examinaron con detalle, incluso fotográficamente, menos de una millonésima parte de la superficie del planeta. Se requieren más observaciones, en especial realizadas con instrumentos más sofisticados (incluyendo telescopios) y con vehículos móviles. Pero, a pesar de la ambigüedad de los resultados de los *Viking*, esas misiones representan la primera ocasión en toda la historia de la especie humana en que se ha examinado cuidadosamente otro mundo en busca de vida.

Es posible que en las próximas décadas se envíen sondas capaces de mantenerse a flote en las atmósferas de Venus, Júpiter y Saturno, y vehículos que se posen sobre Titán, y que se realicen estudios detallados de la superficie marciana. En la séptima década del siglo XX se inició una nueva era de la exploración planetaria y de la exobiología. Vivimos en una época de aventura y de enorme interés intelectual; pero también, como lo demuestra el paso de Leeuwenhoek a Pasteur, en medio de un empeño que promete tener grandes resultados prácticos.



### 13. TITÁN, LA ENIGMÁTICA LUNA DE SATURNO

Es Titán, calentado por una manta de hidrógeno; sus volcanes helados lanzan amoníaco arrancado de un corazón glacial. Las lavas líquidas y heladas sostienen un imperio mayor que Mercurio, y también un poco como la primitiva Tierra: llanuras de asfalto y mares de mineral caliente. Pero cómo me gustaría probar las aguas de Titán, bajo su cielo surcado por los humos, donde el suelo aparece borroso por la neblina rojiza de arriba, como cavernas flotantes, nubes que se elevan y se desplazan, de las que cae material vítreo primigenio, mientras la vida espera en las alas.

DIANE ACKERMAN, *The Planets* (Morrow, Nueva York, 1976)

Titán no es un nombre conocido, ni un mundo conocido.

Normalmente no reparamos en él cuando revisamos una lista de objetos del sistema solar. Pero en los últimos años este satélite de Saturno se ha convertido en un lugar de interés extraordinario y de singular importancia para la exploración futura. Nuestros estudios más recientes sobre Titán indican que posee una atmósfera muy parecida a la de la Tierra —por lo menos en cuanto a su densidad—; más que cualquier otro objeto del sistema solar. Este sólo hecho le proporciona una nueva significación, en una época en que se inicia seriamente la exploración de otros mundos.

Además de ser el mayor satélite de Saturno, Titán también es, según el reciente estudio de Joseph Veverka, James Elliot y otros, de la Universidad de Cornell, el mayor satélite del sistema solar (unos 5.800 kilómetros de diámetro). Titán es mayor que Mercurio y casi tan grande como Marte. Y sin embargo está en órbita alrededor de Saturno.

Examinando los dos mundos mayores del sistema solar exterior, Júpiter y Saturno, podemos obtener algunas pistas sobre la naturaleza de Titán. Ambos planetas presentan una coloración global rojiza o marrón. Es decir, la capa superior de nubes que vemos desde la Tierra tiene fundamentalmente esa coloración. Algo en la atmósfera y las nubes de esos planetas es capaz de absorber fuertemente la luz azul y la ultravioleta, de forma que la luz que refleja hacia nosotros es básicamente roja. De hecho, el sistema solar exterior posee un cierto número de objetos que son especialmente rojos. Aunque no disponemos de fotografías en color de Titán, ya que se encuentra a 800 millones de millas y tiene un tamaño angular menor que el de los satélites galileanos de Júpiter, los estudios fotoeléctricos ponen de manifiesto que ese satélite es efectivamente muy rojo. Los primeros astrónomos en plantearse ese problema creían que Titán era rojo por la misma razón que lo es Marte: por su superficie oxidada. Pero entonces la causa del color rojo de Titán sería muy distinta de la correspondiente a Júpiter o a Saturno, puesto que no llegamos a ver la superficie sólida de estos últimos planetas.

En 1944, Gerard Kuiper detectó espectroscópicamente una atmósfera de metano alrededor de Titán, siendo el primer satélite en el que se encontró una atmósfera. Desde entonces se han confirmado las observaciones de metano y Lawrence Trafton, de la Universidad de Texas, ha aportado una prueba sugestiva (o cuando menos moderadamente sugestiva) sobre la presencia de hidrógeno molecular.

Como se conoce la cantidad de gas necesaria para producir las características de absorción espectral observadas y como también se conoce, a partir de su masa y radio, la gravedad superficial en Titán, puede deducirse la presión atmosférica mínima. El resultado viene a ser de 10 milibares, un uno por ciento de la presión atmosférica terrestre; es una presión que supera a la de Marte. Titán posee la presión atmosférica más parecida a la de la Tierra de todo el sistema solar.

Las mejores, aunque también las únicas imágenes basadas en observaciones telescópicas visuales de Titán, han sido realizadas por Audouin Dollfus en el Observatorio de Meudon, Francia. Se trata de unos dibujos a mano trazados junto al telescopio en momentos de estabilidad atmosférica. Basándose en las formas variables que observó, Dollfus dedujo que en Titán se producían acontecimientos que no guardaban relación directa con el período de rotación del satélite (se considera que Titán siempre muestra la misma cara ante Saturno, como ocurre en el caso de nuestra Luna y la Tierra). Dollfus supuso que debían de ser nubes dispersas.

Nuestro conocimiento de Titán ha experimentado un número sustancial de saltos cuánticos en los últimos años. Los astrónomos han logrado obtener la curva de polarización de ciertos objetos pequeños. La idea consiste en que inicialmente la luz solar no polarizada cae sobre Titán y es polarizada en la reflexión. Esa polarización la detecta un instrumento cuyo principio es parecido, aun siendo mucho más sofisticado y más sensible, al de las gafas de sol «polaroid». La cantidad de polarización se mide conforme Titán pasa a través de unas pocas fases —entre la fase de Titán «lleno» y la de Titán «menguante». Al comparar la curva de polarización resultante con las disponibles en el laboratorio, se obtienen datos sobre el tamaño y la composición del material que provoca la polarización.

Las primeras observaciones de la polarización de Titán fueron realizadas por Joseph Veverka e indicaban que la luz solar es reflejada básicamente por las nubes de Titán y no por una superficie sólida. Al parecer hay en Titán una superficie y una atmósfera baja que no somos capaces de ver; encima una capa de nubes opaca y una atmósfera por encima de ésta, ambos elementos visibles para nosotros; y un sistema de nubes ocasionales dispersas, más exterior todavía. Como Titán se ve de color rojo y lo vemos al nivel de la capa de nubes, debemos concluir que en Titán existen nubes rojas.

Una confirmación adicional de esa idea la proporciona la pequeñísima cantidad de luz ultravioleta reflejada por Titán, según las mediciones del Observatorio Astronómico Orbital. La única forma de que se mantenga a bajo nivel el brillo ultravioleta de Titán es la de suponer que los elementos que absorben el ultravioleta se encuentran a considerable altitud en la atmósfera. De no ser así, la reflexión Rayleigh provocada por las moléculas atmosféricas haría que Titán brillase en el ultravioleta (la reflexión Rayleigh es la reflexión preferente de la luz azul más que de la luz roja, y es la explicación del color azulado del cielo de la Tierra). Pero los materiales que absorben el ultravioleta y el violeta aparecen rojos en la luz reflejada. Así pues, se dan dos consideraciones distintas (o tres, teniendo en cuenta los dibujos a mano) que sugieren la existencia de un amplio recubrimiento de nubes en Titán. ¿Qué entendemos por amplio? Mas del 90 por ciento de Titán debe de encontrarse bajo las nubes para que cuadren los datos de polarización. Titán parece estar cubierto por densas nubes rojas.

Un segundo y sorprendente descubrimiento se produjo en 1971, cuando D. A. Allen, de la Universidad de Cambridge, y T. L. Murdock, de la Universidad de Minnesota, encontraron que la emisión infrarroja por causa del calentamiento solar observada en Titán a longitudes de onda comprendidas entre 10 y 14 micrones es más del doble que la esperada. Titán es demasiado pequeño como para tener una importante fuente interna de energía, como ocurre con Júpiter o Saturno. La única explicación parecería ser un efecto invernadero, según el cual la temperatura superficial aumenta hasta que la radiación infrarroja saliente contrarresta la radiación visible absorbida que recibe el satélite. Es ese mismo efecto invernadero el que mantiene la temperatura superficial de la Tierra por encima de los 0° C y la de Venus a 480° C.

Pero, ¿qué provoca en Titán un efecto invernadero? Difícilmente será el dióxido de carbono o el vapor de agua, como ocurre en la Tierra y Venus, ya que estos gases se encuentran helados en su mayoría en Titán. He calculado que unos cuantos centenares de milibares de hidrógeno (1.000 milibares es la presión atmosférica total a nivel del mar en la Tierra) serían capaces de proporcionar un adecuado efecto invernadero. Como se trata de una cantidad de hidrógeno superior a la observada, las nubes debieran ser opacas en ciertas longitudes de onda corta y casi transparentes en ciertas longitudes de onda más largas. James Pollack, del Ames Research Center de la NASA, ha calculado que también bastaría con unos centenares de milibares de presión de metano y, además, consigue explicar algunos detalles del espectro de emisión infrarrojo de Titán. Esa gran cantidad de metano tendría que estar por debajo de las nubes. Ambos modelos del efecto invernadero tienen la virtud de utilizar sólo gases que se cree existen en Titán; evidentemente, ambos gases pueden desempeñar un papel importante.

Robert Danielson, recientemente fallecido, y sus colegas de la Universidad de Princeton propusieron un modelo alternativo de atmósfera para Titán. Sugirieron que las pequeñas cantidades de hidrocarburos sencillos —etano, etileno y acetileno— observados en la atmósfera alta de Titán absorben luz ultravioleta del sol y calientan la atmósfera alta. Entonces, lo que vimos en el infrarrojo es la atmósfera alta caliente, y no la superficie. Este modelo no requiere una superficie enigmáticamente caliente, ni efecto invernadero, ni presión atmosférica de unos centenares de milibares.

¿Qué punto de vista es el correcto? Por el momento nadie lo sabe. La situación actual recuerda la época de los estudios de Venus en los años '60, cuando ya se sabía que la temperatura de brillo *radio* del planeta era elevada y se debatía calurosamente (pero con propiedad) si la emisión procedía de una superficie caliente o de una región caliente de la atmósfera. Como las ondas radio lo atraviesan todo excepto las atmósferas y nubes más densas, el problema de Titán podrá resolverse en cuanto dispongamos de una medición fiable de la temperatura de brillo *radio* del satélite. La primera medición de ese tipo fue realizada por Frank Briggs, de Cornell, con el interferómetro gigante del *National Radio Astronomy Observatory* de Green Bank, West Virginia. Briggs determinó una temperatura superficial de Titán de  $-140^{\circ}\text{C}$ , con un margen de error de  $45^{\circ}\text{C}$ . Caso de no producirse el efecto invernadero, la temperatura tendría que ser de  $-185^{\circ}\text{C}$ ; por tanto, las observaciones de Briggs parecen sugerir la presencia de un efecto invernadero de cierta envergadura y de una atmósfera densa, aunque el margen de error de la medición es lo suficientemente grande como para no descartar el caso de un efecto invernadero nulo.

Observaciones posteriores llevadas a cabo por otros dos grupos de radioastrónomos proporcionan valores a la vez mayores y menores que los resultados de Briggs. Los elevados valores de las temperaturas se acercan sorprendentemente a los de las regiones frías de la Tierra. La situación en que se encuentra actualmente la observación, al igual que la atmósfera de Titán, parece un tanto oscura. El problema podría resolverse si pudiésemos medir el tamaño de la superficie sólida de Titán mediante el radar (los instrumentos ópticos sólo proporcionan la distancia que separa la capa de nubes de su correspondiente zona diametralmente opuesta). Posiblemente ese problema tenga que esperar a los estudios que realizará la misión *Voyager*, en la que se tiene previsto el envío de dos vehículos muy sofisticados hacia Titán —uno de ellos pasará muy cerca de él— en 1981.

Sea cual fuere el modelo que seleccionemos, es coherente con las nubes rojas. Pero, ¿de qué están formadas? Si consideramos una atmósfera de metano e hidrógeno y le damos energía, se constituirá una serie de compuestos orgánicos, tanto hidrocarburos sencillos (como los requeridos para dar lugar a la zona de inversión de Danielson en la atmósfera alta) como complejos. En nuestro laboratorio de Cornell, Bishun Khare y yo hemos simulado los tipos de atmósferas que existen en el sistema solar exterior. Las complejas moléculas orgánicas que se sintetizan en ellas tienen propiedades ópticas parecidas a las de las nubes de Titán. Pensamos que hay indicios importantes de la existencia de abundantes compuestos orgánicos en Titán, tanto en forma de gases simples en la atmósfera, como de complejos orgánicos en las nubes y en la superficie.

Uno de los problemas de una amplia atmósfera en Titán es el de que el ligero gas hidrógeno debería estar fluyendo hacia el exterior debido a su baja densidad. La única forma en que puedo explicar esa situación consiste en decir que el hidrógeno se encuentra en estado estable. Es decir, escapa, pero se renueva a partir de alguna fuente interna —lo más probable es que se trate de volcanes—. La densidad de Titán es tan baja que su interior debe de estar constituido principalmente por hielos. Podemos considerarlo como un cometa gigante formado por hielos de metano, amoníaco y agua. Pero debe tener también una pequeña mezcla de elementos radiactivos que, al desintegrarse, van calentando el medio. El problema de la conducción del calor ha sido estudiado por John Lewis, del *Massachusetts Institute of Technology*; de ese estudio se desprende que el subsuelo de Titán debe ser de consistencia fangosa. El metano, el amoníaco y el vapor de agua deben fluir desde el interior y romperse por la acción de la luz solar ultravioleta, produciendo al mismo tiempo hidrógeno atmosférico y los compuestos orgánicos de las nubes. Debe haber volcanes superficiales formados por hielos y no por rocas, capaces de lanzar en sus erupciones ocasionales hielo líquido en lugar de rocas líquidas, una lava compuesta por metano, amoníaco y tal vez agua.

El escape de ese hidrógeno tiene otra consecuencia. Una molécula atmosférica capaz de alcanzar la velocidad de escape de Titán no tiene, en general, por qué alcanzar la velocidad de escape de Saturno. Así, tal como han indicado Thomas McDonouyh y el recientemente fallecido Neil Brice, de Cornell, el hidrógeno que va perdiendo Titán formaría un toroide difuso de gas hidrógeno alrededor de Saturno. Se trata de una predicción interesante, expuesta por primera vez para el caso de Titán, pero posiblemente aplicable también a otros planetas. El *Pioneer 10* ha detectado ese toroide de hidrógeno alrededor Júpiter en las proximidades de Ío. En cuanto el *Pioneer 11* y los *Voyager 1* y *2* se acerquen a Titán, estarán en condiciones de detectar el toroide producido por Titán.

Titán será el objeto más fácil de explorar en el sistema solar exterior. Los mundos que casi no disponen de atmósfera, como los asteroides, presentan un problema de aterrizaje puesto que en ellos no puede utilizarse la resistencia atmosférica para frenar. Los mundos gigantes como Júpiter y Saturno presentan el problema inverso: la aceleración debida a la gravedad es tan elevada y el aumento de la densidad atmosférica tan rápido que resulta difícil diseñar una sonda atmosférica que no se queme al caer hacia la superficie. Sin embargo, Titán tiene una atmósfera bastante densa y una gravedad bastante baja. Si estuviese algo más cerca, posiblemente ya estaríamos ahora lanzando sondas para que recorriesen su atmósfera.

Titán es un mundo encantador, deslumbrante e instructivo, del que nos hemos dado cuenta repentinamente que es accesible a la exploración mediante vuelos de aproximación para determinar los grandes parámetros y buscar hendiduras en las nubes; mediante sondas atmosféricas para conocer las nubes rojas y su misteriosa atmósfera; y mediante vehículos de aterrizaje, para examinar una superficie como ninguna de las conocidas. Titán proporciona una oportunidad inmejorable para estudiar las especies de la química orgánica que en la Tierra han supuesto el origen de la vida. A pesar de sus bajas temperaturas, no es para nada imposible que exista una biología titánica. La geología de su superficie puede ser única en todo el sistema solar. Titán esta esperando...

## 14. LOS CLIMAS DE LOS PLANETAS

*¿No es acaso la altura del humor silencioso lo que causa un cambio desconocido en el clima de la Tierra?*

ROBERT GRAVES, *the Meeting*

Se cree que, hace de 30 a 10 millones de años, las temperaturas de la Tierra disminuyeron lentamente, pero sólo unos pocos grados centígrados. Pero muchos animales y plantas tienen ciclos biológicos ajustados muy sensibles a la temperatura; grandes zonas forestales tuvieron que recular hacia latitudes más tropicales. El retroceso de las selvas modificó lentamente los hábitats de los pequeños animales peludos binoculares, que sólo pesaban unos pocos kilos y que pasaban su existencia saltando de rama en rama con la ayuda de sus brazos. Una vez desaparecidas las selvas, sólo quedaron aquellas criaturas peludas capaces de sobrevivir en las sabanas de matorrales. Unas decenas de millones de años más tarde, esos animales dejaron dos clases de descendientes: una en la que se incluyen los mandriles y otra de seres humanos. Es posible que debemos nuestra existencia a cambios climáticos que, por término medio, no sobrepasan los pocos grados. Esos cambios han provocado la aparición de algunas especies y la extinción de otras. El carácter de la vida en nuestro planeta ha quedado poderosamente marcado por esas variaciones y cada vez resulta más claro que el clima continúa modificándose en la actualidad.

Existen muchos indicadores de los cambios climáticos del pasado. Algunos métodos penetran en profundidad en el pasado, otros tienen sólo un campo de aplicación limitado. Los métodos también difieren por su fiabilidad. Uno de ellos, con validez de hasta un millón de años, se basa en el cociente de los isótopos de oxígeno 18 y oxígeno 16 en los carbonatos de las conchas de los foraminíferos fósiles. En esas conchas, que pertenecen a especies muy parecidas a las que podemos estudiar en la actualidad, el cociente de oxígeno 16/oxígeno 18 varía en función de la temperatura del agua en la que se formaron. Un método muy parecido al de los isótopos del oxígeno es el que se basa en el cociente entre los isótopos de azufre 34 y azufre 32. Existen otros indicadores fósiles más directos; por ejemplo, la extendida presencia de corales, higueras y palmeras denota temperaturas elevadas y los abundantes restos de grandes animales peludos, como los mamuts, denotan temperaturas frías. El mundo geológico dispone de muchas muestras de las glaciaciones —enormes bloques móviles de hielo que han dejado cantos rodados y vestigios muy característicos de la erosión—. Existe también certeza acerca de la existencia de yacimientos de evaporitas —regiones en las que el agua salada se ha evaporado dejando depósitos salinos—. Esa evaporación se produce preferentemente en los climas cálidos.

Cuando se conjuga toda esta variedad de información climática, aparece un modelo complejo de variación de temperatura. Por ejemplo, en ningún momento la temperatura media de la Tierra es inferior al punto de congelación del agua y en ningún momento tampoco llega a aproximarse al punto normal de ebullición del agua. Pero son muy frecuentes las variaciones de varios grados e incluso pueden haberse producido variaciones de veinte o treinta grados, por lo menos localmente. Se producen fluctuaciones de varios grados centígrados a lo largo de períodos característicos de decenas de miles de años; la sucesión reciente de períodos glaciales e interglaciales mantiene ese ritmo y esa amplitud. Pero existen también fluctuaciones climáticas de períodos mucho mayores, el más largo de los cuales es del orden de varios centenares de millones de años. Los períodos calientes parecen haberse producido hace unos 650 millones de años y unos 270 millones de años. Basándonos en las fluctuaciones climáticas del pasado, nos encontramos en medio de una edad del hielo. Durante la mayoría de la historia de la Tierra no han existido casquetes polares «permanentes» como los que hoy en día constituyen el Ártico y el Antártico. En los últimos siglos, la Tierra ha emergido parcialmente de esa época de hielos gracias a alguna variación climática menor todavía no explicada; existen ciertos indicios que apuntan hacia el hecho de que la Tierra está volviendo a caer en las temperaturas globalmente frías que caracterizan nuestra época, considerada desde la perspectiva de los tiempos geológicos. Es

un hecho establecido que hace unos dos millones de años el lugar que ocupa actualmente la ciudad de Chicago se encontraba cubierto por una capa de hielo de una milla de espesor.

¿Qué factores determinan la temperatura de la Tierra? Vista desde el espacio, es una esfera azul en rotación, salpicada de nubes, desiertos de color rojizo-marrón y brillantes casquetes polares blancos. La energía necesaria para el calentamiento de la Tierra procede casi exclusivamente de la luz solar, siendo la cantidad de energía procedente del núcleo caliente de la Tierra inferior a una milésima de un uno por ciento de la que alcanza la superficie en forma de luz visible desde el Sol. Pero no toda la luz solar es absorbida por la Tierra. Una parte es reflejada nuevamente hacia el espacio por los casquetes polares, las nubes y las rocas y las aguas de la superficie terrestre. La reflectividad media, llamada albedo, de la Tierra se mide directamente desde satélites e indirectamente a partir del brillo terrestre reflejado en la cara oscura de la Luna y tiene un valor del 35 % aproximadamente. El 65 % de la luz solar que es absorbido por la Tierra sirve para calentarla hasta una temperatura que puede calcularse fácilmente. Esta temperatura es de unos  $-18^{\circ}\text{C}$ , por debajo del punto de congelación del agua de mar y unos  $30^{\circ}\text{C}$  más fría que la temperatura media medida sobre la Tierra.

La diferencia se debe al hecho de que este cálculo no tiene en cuenta lo que se llama el efecto invernadero. La luz visible procedente del Sol penetra en la clara atmósfera terrestre y se transmite hasta su superficie. Sin embargo, la superficie, al intentar devolver nuevamente la radiación al espacio, se ve forzada por las leyes de la física a hacerlo en infrarrojos. La atmósfera no es tan transparente en infrarrojos y a algunas longitudes de onda de la radiación infrarroja —como a 6,2 micrones o a 15 micrones— la radiación sólo es capaz de desplazarse unos pocos centímetros antes de ser absorbida por los gases atmosféricos. Como la atmósfera de la Tierra es bastante opaca a los rayos infrarrojos, absorbiéndola a muchas longitudes de onda, la radiación térmica despedida por la superficie terrestre es incapaz de escapar hacia el espacio. Para mantener el equilibrio entre la radiación recibida por la Tierra desde el espacio y la radiación emitida desde la Tierra hacia el espacio, la temperatura superficial de la Tierra aumenta. El efecto de invernadero se debe no a los principales componentes de la Tierra, tales como el oxígeno y el nitrógeno, sino casi exclusivamente a sus componentes menores, en especial el dióxido de carbono y el vapor de agua.

Como ya hemos visto, el planeta Venus posiblemente sea un caso en el que la inyección masiva de dióxido de carbono y de menores cantidades de vapor de agua en la atmósfera planetaria ha provocado un efecto de invernadero de proporciones tan grandes que el agua no puede mantenerse en la superficie en estado líquido; de ahí que la temperatura planetaria se eleve hasta un valor extraordinariamente alto,  $480^{\circ}\text{C}$  en el caso de Venus.

Hasta ahora hemos estado considerando temperaturas medias. Pero la temperatura de la Tierra varía de un lugar a otro. Es más baja en los polos que en el ecuador ya que, en general, la luz solar cae directamente sobre el ecuador y oblicuamente sobre los polos. La tendencia a que exista una gran diferencia de temperaturas entre el ecuador y los polos de la Tierra queda muy matizada por la circulación atmosférica. El aire frío se eleva en el ecuador, desplazándose a gran altitud hacia los polos, donde desciende hacia la superficie y desde allí recorre nuevamente el camino, esta vez a pequeña altitud, desde el polo hasta el ecuador. Este movimiento general —complicado por la rotación de la Tierra, por su topografía y por los cambios de fase del agua— es la causa del tiempo atmosférico.

La temperatura media de unos  $15^{\circ}\text{C}$  que se observa actualmente en la Tierra puede explicarse bastante bien a partir de la intensidad de luz solar observada, del albedo global, de la inclinación del eje de rotación y del efecto invernadero. Pero todos esos parámetros pueden variar, en principio; y los cambios climáticos del pasado o del futuro pueden atribuirse a variaciones de algunos de ellos. De hecho, ha habido casi cien teorías diferentes sobre los cambios climáticos en la Tierra, e incluso en la actualidad el tema se caracteriza por la falta de unanimidad de opiniones. Y ello no es debido a que los climatólogos sean ignorantes por naturaleza, sino más bien a causa de la extraordinaria complejidad del tema.

Posiblemente se den los dos mecanismos de retroalimentación, el positivo y el negativo. Supongamos, por ejemplo, que se produjese una disminución de la temperatura de la Tierra en varios grados. La cantidad de vapor de agua de la atmósfera queda determinada casi prácticamente por la temperatura y disminuye, a través de las nevadas, a medida que disminuye la temperatura. Menos agua en la atmósfera significa un efecto invernadero menor y un nuevo descenso de la temperatura, lo cual puede provocar una cantidad todavía menor de vapor de agua atmosférico, y así sucesivamente. De la misma manera, una disminución de la temperatura puede hacer aumentar la cantidad de hielo en los polos, lo cual haría aumentar el albedo de la Tierra y disminuir todavía más la temperatura. Por otro lado, un descenso de la temperatura puede provocar una disminución de la cantidad de nubes, lo cual haría disminuir el albedo medio de la Tierra y aumentar la temperatura —tal vez lo suficiente como para recuperar la temperatura inicial—. Recientemente se ha afirmado que la biología del planeta Tierra hace la función de un termostato que impide desviaciones excesivas de la temperatura, que podrían acarrear consecuencias biológicas globales muy desafortunadas. Por ejemplo, un descenso de la temperatura podría provocar un incremento de especies de plantas resistentes que cubriesen mucho terreno, haciendo disminuir así el albedo.

Conviene mencionar aquí tres de las teorías de los cambios climáticos más elaboradas e interesantes. La primera se basa en cambios de las variables de la mecánica celeste: la forma de la órbita de la Tierra, la inclinación de su eje de rotación y la precesión del eje varían a lo largo de grandes períodos de tiempo, debido a la interacción de la Tierra con otros objetos celestes próximos. Los cálculos detallados de la magnitud de tales variaciones indican que pueden explicar por lo menos una variación de temperatura de varios grados y, teniendo en cuenta la posibilidad de retroalimentaciones positivas, este hecho, por sí solo, puede llegar a explicar variaciones climáticas mayores.

Un segundo tipo de teorías se basa en las variaciones del albedo. Una de las causas más sorprendentes de tales variaciones es la inyección en la atmósfera terrestre de cantidades masivas de polvo, procedente, por ejemplo, de una explosión volcánica como la del Krakatoa en 1883. Se produjo bastante controversia en torno a si ese polvo calienta o enfría la Tierra, pero la mayoría de los cálculos actuales indican que las pequeñas partículas, al caer muy lentamente desde la estratosfera terrestre, aumentan el albedo de la Tierra y, por tanto, la enfrían. Unos estudios recientes de sedimentos indican que las épocas pretéritas de intensa producción de partículas volcánicas coinciden en el tiempo con épocas de glaciación y de bajas temperaturas. Además, los episodios de formación de montañas y de creación de superficies de terreno en la Tierra hacen crecer el albedo global, dado que la tierra es más brillante que el agua.

Por último existe la posibilidad de variaciones del brillo del Sol. Gracias a las teorías de la evolución solar sabemos que a lo largo de miles de millones de años el Sol ha ido aumentando continuamente su brillo. Este hecho plantea inmediatamente un problema a la climatología más antigua de la Tierra, ya que el Sol debe haber sido un 30 o un 40 por ciento menos brillante hace tres o cuatro mil millones de años; eso basta, aun contando con el efecto invernadero, para haber alcanzado temperaturas globales muy por debajo del punto de congelación del agua de mar. Y sin embargo existe una gran cantidad de indicios geológicos —por ejemplo, huellas de rizos submarinos, «lavas en almohadilla» (*pillow lavas*), producidas por el brusco enfriamiento del magma al sumergirse en el mar, y estromatolitos fósiles producidos por algas marinas— que ponen de manifiesto la presencia de grandes cantidades de agua en aquella época. Para salir de ese apuro, se ha propuesto la posibilidad de que en la atmósfera primitiva de la Tierra existiesen otros gases de invernadero —especialmente amoníaco— que produjeron el aumento de temperatura necesario. Pero además de esa evolución lentísima del brillo solar, ¿es posible que ocurran variaciones de período corto? Se trata de un problema importante y no resuelto, pero las recientes dificultades para encontrar neutrinos —que, según las teorías de que disponemos, son emitidos desde el interior del Sol— han llevado a la consideración de que el Sol se encuentra actualmente en un período anormal de poco brillo.

La incapacidad por distinguir entre los diversos modelos alternativos de cambios climáticos puede parecer simplemente un problema intelectual especialmente molesto —excepto por el hecho de que cada uno tiene sus consecuencias prácticas e inmediatas de los cambios climáticos—. Algunos datos sobre la tendencia de la temperatura global parecen indicar un aumento muy lento desde el inicio de la revolución industrial hasta 1940 y una alarmante caída de la temperatura global desde entonces. Se ha atribuido ese comportamiento a la combustión de los productos energéticos fósiles, que conlleva dos consecuencias: la liberación de dióxido de carbono, un gas de invernadero, en la atmósfera y, simultáneamente, la inyección en la atmósfera de partículas pequeñas procedentes de la combustión incompleta de los productos. El dióxido de carbono calienta la Tierra; las partículas pequeñas, a través de su pequeño albedo, la enfrían. Podría ser que hasta 1940 estuviese ganando el efecto invernadero y que a partir de entonces lo haga el elevado albedo.

La siniestra posibilidad de que la actividad humana pueda provocar modificaciones climáticas sin quererlo hace aumentar considerablemente el interés por la climatología planetaria. En un planeta con temperaturas en descenso se plantean varias posibilidades de retroalimentación positiva muy preocupantes. Por ejemplo, una combustión creciente de productos energéticos fósiles en un intento de calentarnos a corto plazo puede provocar un enfriamiento rápido duradero. Vivimos en un planeta en el que la tecnología agrícola es responsable de la alimentación de más de mil millones de personas. Las cosechas no han sido producidas para resistir variaciones climáticas. Los seres humanos ya no pueden efectuar grandes migraciones ante un cambio climático o, por lo menos, resulta muy difícil en un planeta controlado por naciones-estado. Empieza a resultar urgente comprender las causas de las variaciones climáticas y desarrollar la posibilidad de llevar a cabo una reconstrucción climática de la Tierra.

Sorprendentemente, algunos de los descubrimientos más interesantes sobre la naturaleza de esos cambios climáticos son el resultado de trabajos, no acerca de la Tierra, sino acerca de Marte. El Mariner 9 entró en órbita marciana el 14 de noviembre de 1971. Tuvo una vida científica útil de un año terrestre completo y proporcionó 7.200 fotografías de toda la superficie de polo a polo, así como decenas de miles de espectros y demás información científica. Como vimos anteriormente, cuando el Mariner 9 llegó a Marte, prácticamente no podía verse ningún detalle de la superficie del planeta, ya que éste estaba siendo azotado por una gran tormenta global de polvo. Enseguida se comprobó que las temperaturas atmosféricas aumentaban, si bien las temperaturas superficiales disminuían durante la tormenta de arena; esa sencilla constatación proporciona inmediatamente por lo menos un caso claro de enfriamiento de un planeta por la inyección masiva de polvo en su atmósfera. Se han realizado cálculos utilizando las mismas leyes físicas, tanto para la Tierra como para Marte, en los que ambos casos son considerados como ejemplos distintos del problema general de los efectos sobre el clima de una inyección masiva de polvo en una atmósfera planetaria.

El Mariner 9 hizo otro descubrimiento climatológico totalmente inesperado: un gran número de canales sinuosos repletos de afluentes, en la región ecuatorial y a latitudes medias de Marte. En todos los casos en los que existen datos al respecto, los canales van en la dirección adecuada, pendiente abajo. En algunos de ellos se observan figuras onduladas, bancos de arena, hundimientos de las orillas, «islas» interiores en forma de gota en el sentido de la corriente y otros signos morfológicos que caracterizan los valles fluviales terrestres.

Pero se presenta un gran problema, si se interpretan los canales marcianos como lechos de ríos secos: en apariencia, el agua líquida no existe actualmente en Marte. Simplemente las presiones son demasiado bajas. En la Tierra el dióxido de carbono existe en forma sólida y gaseosa, pero nunca en forma líquida (excepto en los tanques de almacenamiento a presión elevada). De la misma manera, en Marte el agua puede existir en forma sólida (hielo o nieve) o en forma de vapor, pero no como líquido. Por esa razón algunos geólogos se muestran reacios a aceptar la teoría de que los canales contuviesen antaño agua líquida. Y sin embargo tocan a muerto para los ríos terrestres; por lo menos muchos de ellos tienen



formas que no concuerdan con otras posibles estructuras como son los tubos de lava colapsados, que pueden ser los causantes de los valles sinuosos de la Luna.

Es más, existe una concentración aparente de canales hacia el ecuador marciano. El hecho sorprendente de las zonas ecuatoriales de Marte es que son los únicos lugares del planeta en los que la temperatura media durante el período de insolación supera el punto de congelación del agua. No existe ningún otro líquido que sea al mismo tiempo tan abundante en el cosmos, de baja viscosidad y con un punto de congelación por debajo de las temperaturas ecuatoriales de Marte.

Entonces, si por los canales marcianos ha fluido agua, ese agua debe haber existido en una época en la que el medio ambiente de Marte era sustancialmente distinto de lo que lo es en la actualidad. Marte posee hoy una atmósfera delgada, temperaturas bajas y no dispone de agua. En algún tiempo del pasado, puede haber tenido presiones más elevadas, posiblemente también temperaturas algo mayores y mucha agua corriente. Esas condiciones parecen más adecuadas para la existencia de formas de vida basadas en los principios bioquímicos que rigen en la Tierra que las condiciones del medio ambiente marciano actual.

Un estudio detallado de las posibles causas de ese tipo de grandes cambios climáticos en Marte ha hecho fijar la atención en un mecanismo de retroalimentación llamado inestabilidad advectiva. La atmósfera de Marte está compuesta fundamentalmente por dióxido de carbono. Parecen existir grandes almacenes de reposición del CO<sub>2</sub> helado, por lo menos en uno de los dos casquetes polares. La presión del CO<sub>2</sub> en la atmósfera marciana es muy parecida a la presión que debe tener el CO<sub>2</sub> en equilibrio con el dióxido de carbono helado, a la temperatura del polo marciano frío. Esa situación se parece mucho a la presión en un sistema de vacío en el laboratorio determinada por la temperatura de un «dedo helado» en el sistema. En la actualidad, la atmósfera marciana es tan delgada que el aire caliente que sube desde el ecuador y se estabiliza en los polos desempeña un papel casi despreciable en la tarea de calentar las latitudes altas. Pero imaginemos que la temperatura de las regiones polares aumentase ligeramente. La presión atmosférica total también aumenta, la eficacia del transporte de calor por advección desde el ecuador al polo aumenta a su vez, las temperaturas polares aumentan todavía más y se presenta la posibilidad de adentrarse en las altas temperaturas. De igual manera, una disminución de la temperatura, por la causa que sea, puede desencadenar una fuga hacia las bajas temperaturas. La física de esta situación marciana es más fácil de manejar que en el caso comparable de la Tierra, por la sencilla razón de que los componentes principales de la atmósfera, el oxígeno y el nitrógeno, no pueden condensarse en los polos.

Para que se produzca un incremento significativo de la presión en Marte, la cantidad de calor absorbido por las regiones polares del planeta debe aumentar de un 15 a un 20 por ciento durante un período de un siglo por lo menos. Se han identificado tres causas posibles de variación del calentamiento del casquete y resultan ser muy parecidas a los tres modelos de variación climática terrestre mencionados más arriba, lo cual no deja de ser muy interesante. La primera causa tiene que ver con la inclinación del eje de rotación de Marte con respecto al Sol. Estas variaciones son mucho más espectaculares que en el caso de la Tierra, ya que Marte se encuentra cerca de Júpiter, el planeta más masivo del sistema solar, y las perturbaciones gravitacionales provocadas por Júpiter son más pronunciadas. En este caso, las variaciones de la presión y la temperatura global se producirán a escalas de tiempo comprendidas entre cien mil años y un millón.

En segundo lugar, una variación del albedo de las regiones polares puede provocar también grandes cambios climáticos. Ya se pueden observar en Marte importantes tormentas de arena y polvo, debido a que los casquetes polares se abrillantan y se oscurecen con las estaciones. Se ha sugerido que el clima de Marte podría hacerse más hospitalario si pudiese desarrollarse una especie resistente de planta polar que hiciese disminuir el albedo de las regiones polares marcianas.

Por último, existe también la posibilidad de ciertas variaciones de la luminosidad del Sol. Algunos de los canales marcianos tienen en su interior cráteres de impacto ocasionales; la determinación de la edad de los canales a través de la frecuencia de impactos de materiales procedentes del espacio interplanetario demuestra que algunos de esos cráteres deben tener algo así como mil millones de años de edad. La situación recuerda la última época de temperaturas globales elevadas en el planeta Tierra y sugiere la cautivadora posibilidad de grandes variaciones climáticas simultáneas en la Tierra y en Marte.

Las misiones Viking han hecho mejorar nuestros conocimientos acerca de los canales marcianos en un sentido amplio, han proporcionado indicios bastante independientes acerca de una densa atmósfera primigenia y han puesto de manifiesto la existencia de un gran almacén de reposición de dióxido de carbono helado en el hielo polar. Cuando sean totalmente asimilados los resultados de los Viking, éstos ampliarán nuestro conocimiento del entorno actual, así como de la historia pretérita del planeta y de la comparación entre los climas de la Tierra y Marte.

Cuando los científicos se encuentran ante problemas teóricos de extraordinaria dificultad, siempre queda el recurso de la experimentación. Sin embargo, en lo relativo a estudios sobre el clima de todo un planeta, los experimentos resultan caros y difíciles de realizar y, además, tienen potenciales y delicadas repercusiones sociales. Por la mayor de las fortunas, la naturaleza ha venido a ayudarnos, proporcionándonos planetas cercanos con climas sustancialmente distintos y variables físicas sustancialmente distintas. Tal vez la prueba más difícil que deban superar las teorías de la climatología es la de ser capaces de explicar los climas de todos los planetas más próximos, la Tierra, Marte y Venus. Todo lo que aprendamos estudiando un planeta será inevitablemente de gran utilidad en el estudio de los demás. La climatología planetaria comparada está resultando ser una disciplina, todavía en período de gestación, que representa un enorme interés intelectual y permite grandes aplicaciones prácticas.

## 15. CALÍOPE Y LA CAABA

*Podemos imaginarles*  
                                  *unidas*  
                                  *cara a cara,*  
      *esas rocas flotantes*                                  *de ceniza cósmica,*  
*mil veces a flote*                                  *entre Júpiter y Marte.*  
*Frigga,*  
                                  *Fanny,*  
                                  *Adelaida*  
                                  *Lacrimosa,*  
*Nombres que evocar,*                                  *montes negros de Dakota,*  
                                  *una opereta*                                  *representada sobre un arrecife.*  
*Y podrán haber enjambrado,*  
                                  *desmenuzadas como el queso azul,*  
*ese momento final*                                  *en que el sistema solar*  
*ventoseó.*  
                                  *Pero ahora*  
*vagan pesadamente*                                  *separados*  
*de cada uno*                                  *de los vecinos*  
*agujeros de luz.*  
                                  *por millones*  
                                  *y millones de*  
                                  *herméticas millas.*  
                                  *Y sólo desde los más lejanos*  
*pastan*  
*como un rebaño*  
                                  *en una tundra muerta.*

DIANE ACKERMAN,

*The Planets* (Morrow, Nueva York, 1976)

Una de las siete maravillas del mundo antiguo era el Templo de Diana en Efeso (Asia Menor), un exquisito ejemplo de arquitectura monumental griega. El sancta sanctorum de ese templo era una gran roca negra, probablemente metálica, que había caído desde los cielos, un signo de los dioses, tal vez una punta de flecha disparada desde la luna creciente, el símbolo de Diana Cazadora.

Pocos siglos después —es posible que incluso en la misma época— vino del cielo, según las creencias de muchos, otra gran piedra negra y cayó en la Península de Arabia. En aquellos tiempos preislámicos, se colocó esa roca en un templo de la Meca, La Caaba, y se inició algo parecido a un culto. Más tarde, en los siglos VII y VIII, se produjo el sorprendente éxito del Islam, fundado por Mahoma, quien vivió la mayoría de sus días cerca de esa gran piedra oscura, la presencia de la cual podría haber influido en la elección de su carrera. El culto original de la piedra fue incorporado al Islam y, en la actualidad, uno de los centros principales de atracción en cada peregrinación a la Meca lo constituye la propia piedra, también llamada La Caaba, tomando el nombre del templo que la guarda como reliquia. (Todas las religiones han copiado sin reparos de sus predecesores; p. ej., en el festival cristiano de Pascua, los antiguos ritos de fertilidad del equinoccio de primavera han

quedado hábilmente disfrazados por los huevos y los animales recién nacidos. Incluso la propia palabra *Easter* —Pascua— procede, según ciertas etimologías, del nombre de la gran diosa madre de la tierra del Medio Oriente, Astarté. La Diana de Efeso es una versión helenizada posterior de Astarté y Cibele.)

En los tiempos más remotos, una gran piedra que atravesaba un cielo azul claro debía ser una experiencia imborrable para todos aquellos que pudiesen verla. Pero tenía una importancia mayor: en los inicios de la metalurgia, el hierro procedente de los cielos era, para muchos lugares del mundo, la forma más pura en que podía disponerse de ese metal. La trascendencia militar de las espadas de hierro y la importancia para la agricultura de los arados de hierro hicieron que los hombres prácticos se interesasen por el metal procedente del cielo.

Las rocas siguen cayendo de los cielos; algunos agricultores han visto cómo se rompían sus arados al chocar con alguna medio enterrada; los museos siguen pagando grandes cantidades por ellas; y, muy de vez en cuando, alguna se precipita sobre el tejado de una casa, esquivada por poco a una familia que se recrea en el ritual hipnótico vespertino ante el aparato de televisión. Esos objetos se llaman meteoritos. Pero con sólo decir el nombre no basta para comprenderlos. De hecho, ¿de dónde vienen los meteoritos?

Entre las órbitas de Marte y Júpiter existen miles de pequeños mundos en revoltijo, de formas irregulares, llamados asteroides o planetoides. «Asteroide» no es un nombre adecuado para esos mundos, pues no se parecen a las estrellas. «Planetoide», en cambio, se ajusta mucho más, pues *son* como planetas, sólo que menores; sin embargo, el término «asteroide» es, con mucho, el más utilizado. El primer asteroide encontrado fue descubierto (\*) con un telescopio el 1 de enero de 1801 —un hallazgo repleto de buenos augurios, el primer día del siglo XIX— por un monje italiano llamado G. Piazzi. Ceres tiene unos 1.000 kilómetros de diámetro y, es el mayor de todos los asteroides. (A modo de comparación, el diámetro de la Luna es de 3.464 kilómetros.) Desde entonces se han descubierto más de dos mil asteroides. A todos ellos se les asigna el número de orden de su descubrimiento. Pero, siguiendo el ejemplo de Piazzi, se ha hecho también el esfuerzo de asignarles un nombre —un nombre femenino, preferentemente sacado de la mitología griega. Sin embargo, dos mil nombres de asteroides son muchos y hacia el final de la lista los nombres empiezan a ser desiguales: 1 Ceres, 2 Palas, 3 Juno, 4 Vesta, 16 Psyché, 22 Calíope, 34 Circe, 55 Pandora, 80 Safo, 232 Rusia, 324 Bambergia, 433 Eros, 710 Gertrud, 739 Mandeville, 747 Winchester, 904 Rockefelleria, 916 América, 1121 Natasha, 1224 Fantasía, 1279 Uganda, 1556 Icaro, 1620 Geographos, 1685 Toro y 1694 Ekard (Drake —Universidad de—, escrito a la inversa). Desgraciadamente, 1984 Orsvell es una oportunidad perdida.

--

\* Los descubrimientos inesperados resultan muy útiles para valorar las ideas preexistentes. G. W. F. Hegel ejerció una enorme influencia en la filosofía profesional del siglo XIX y principios del XX y marcó no poco el futuro del mundo ya que Karl Marx le tomó muy en serio (aunque algunos críticos benévolo han afirmado que los argumentos de Marx hubiesen sido más precisos si no hubiese oído nunca a Hegel). En 1799 ó 1800, Hegel dijo en privado que no podían existir nuevos objetos celestes en el sistema solar, utilizando para ello todo el arsenal filosófico de que disponía. Un año más tarde, se descubría el asteroide Ceres. Parece ser que Hegel se dedicó entonces a empeños menos fácilmente refutables.

--

Muchos asteroides tienen órbitas muy elípticas o alargadas, en absoluto parecidas a las órbitas casi totalmente circulares de la Tierra o Venus. Algunos asteroides tienen sus respectivos afelios (punto de la órbita más alejado del Sol) más allá de la órbita de Saturno; algunos tienen sus respectivos perihelios (punto de la órbita más cercano al Sol) cerca de la órbita de Mercurio; algunos, como ocurre con 1685 Toro, circulan entre las órbitas de la Tierra y Venus. Dado que existen tantos asteroides en órbitas muy elípticas, las colisiones resultan inevitables en un período tan largo como la vida del sistema solar. La mayoría de

las colisiones se producirán cuando un asteroide alcance a otro, dándole un empujón y produciendo un choque suave con formación de fragmentos. Como los asteroides son tan pequeños, su gravedad es mínima y los fragmentos de la cohesión se desparramarán por el espacio en órbitas distintas a las de los asteroides de procedencia. Se ha calculado que en algunas ocasiones, esas colisiones generan fragmentos que por casualidad interceptan la Tierra, penetran en su atmósfera, resistiendo la ablación de la entrada, y aterrizan a los pies de algún terrestre justificadamente atónito.

Los pocos meteoritos cuya trayectoria ha podido seguirse una vez penetrados en la atmósfera terrestre se originaron en el cinturón principal de asteroides, entre Marte y Júpiter. Los estudios realizados en laboratorio sobre las propiedades físicas de algunos meteoritos demuestran que se han formado a temperaturas concordantes con las del cinturón principal de asteroides. El resultado es muy claro: los meteoritos que se exhiben en nuestros museos son fragmentos de asteroides. ¡En nuestras estanterías disponemos de trozos de objetos cósmicos!

Pero, ¿qué tipo de meteoritos procedentes de qué asteroides? Hasta hace pocos años, las respuestas a esa pregunta no estaban al alcance de los científicos planetarios. Sin embargo, recientemente, se ha conseguido realizar la espectrofotometría de algunos asteroides en radiación visible y cuasiinfrarroja; examinar la polarización de la luz reflejada por los asteroides a medida que varía la geometría de los asteroides, el Sol y la Tierra; y examinar la emisión infrarroja media de los asteroides. Las observaciones de éstos, así como los estudios comparativos de meteoritos y otros minerales en el laboratorio, han proporcionado las primeras indicaciones fascinantes sobre la correlación entre asteroides específicos y meteoritos específicos. Más del 90 por ciento de los asteroides estudiados se clasifican, en dos grupos según su composición: metálicos y carbonosos. De los meteoritos disponibles en la Tierra, sólo un porcentaje muy bajo son carbonosos, pero estos meteoritos son fácilmente desmenuzables, pulverizándose rápidamente en las condiciones terrestres normales. Posiblemente también se fragmenten más fácilmente en su entrada en la atmósfera terrestre. Como los meteoritos metálicos son mucho más duros, su representación en las colecciones de los museos es desproporcionadamente elevada. Los meteoritos carbonosos tienen muchos compuestos orgánicos, incluso aminoácidos (los componentes básicos de las proteínas), y pueden considerarse representativos de los materiales a partir de los cuales se formó el sistema solar hace unos 4.600 millones de años.

Entre los asteroides que resultan ser carbonosos destacan 1 Ceres, 2 Palas, 19 Fortuna, 324 Bambergia y 654 Zelinda. Si los asteroides que son carbonosos en su superficie, lo son también en su interior, entonces la mayoría de la materia asteroidal es carbonosa. En general, se trata de objetos oscuros, que reflejan una pequeñísima parte de la luz que reciben. Estudios recientes sugieren que Fobos y Deimos, las dos lunas de Marte, posiblemente sean también carbonosas y que se trate de asteroides carbonosos capturados por la gravedad marciana.

Entre los asteroides que presentan las propiedades de los meteoritos metálicos se encuentran 3 Juno, 8 Flora, 12 Victoria, 89 Julia y 433 Eros. Algunos asteroides conforman alguna otra categoría: 4 Vesta se parece a un meteorito llamado condrito basáltico, mientras que 16 Psyche y 22 Calíope parecen contener básicamente hierro.

Los asteroides de hierro son de gran interés, pues los geofísicos creen que el cuerpo madre de un objeto muy rico en hierro debe haberse derretido hasta poder diferenciar, separar el hierro de los silicatos en la caótica mezcla inicial de elementos en los tiempos primigenios. Por otro lado, para que las moléculas orgánicas de los meteoritos carbonosos hayan logrado sobrevivir, las temperaturas no deben haberse elevado nunca lo suficiente como para fundir la roca o el hierro. Así pues, los distintos asteroides tienen historias distintas.

Comparando las propiedades de los asteroides y los meteoritos, estudiando en el laboratorio los meteoritos y simulando en computadoras los movimientos de los asteroides en el pasado, podrá lograrse algún día reconstruir las historias de los asteroides. Hoy por

hoy, todavía no sabemos si representan un planeta que no pudo formarse a causa de las poderosas perturbaciones gravitatorias del cercano planeta Júpiter o si son los restos de un planeta totalmente formado que hubiese explotado por alguna razón. La mayoría de los estudiosos se inclinan por la primera hipótesis, básicamente porque nadie puede concebir cómo se hace explotar un planeta. Es posible que se consiga juntar todas las piezas de la historia.

También pueden existir meteoritos no procedentes de asteroides. Tal vez sean fragmentos de cometas jóvenes, o de las lunas de Marte, o de la superficie de Mercurio, o de los satélites de Júpiter, que hoy están repletos de polvo e ignorados en algún museo oscuro. Lo que sí queda claro es que está empezando a emerger la verdadera imagen del origen de los meteoritos.

El sancta sanctorum del Templo de Diana en Efeso fue destruido. Pero La Caaba fue cuidadosamente conservada, aunque no parece haberse realizado ningún examen verdaderamente científico de dicha piedra. Algunos creen que es un meteorito rocoso, oscuro y no metálico. Dos geólogos han sugerido recientemente, aun conscientes de disponer de pocas pruebas, que se trata de un pedazo de ágata. Algunos escritores musulmanes creen que, en un principio, el color de La Caaba era blanco, y no negro y que el color actual se debe al manoseo continuo. El punto de vista oficial del Guardián de la Piedra Negra es que fue colocada en su posición actual por el patriarca Abraham y que cayó de un cielo religioso y no astronómico —de forma que una posible prueba física del objeto no podría ser una prueba de la doctrina islámica. Ello no obsta para que fuese muy interesante poder examinar, con todo el arsenal de las modernas técnicas de laboratorio, un pequeño fragmento de La Caaba. Se podría determinar su composición con precisión. Si es un meteorito, se podría establecer su edad de exposición a los rayos cósmicos —el tiempo transcurrido entre la fragmentación y la llegada a la Tierra. También podrían comprobarse las hipótesis de su origen, como, por ejemplo, la idea de que hace unos 5 millones de años, en la época del origen de los homínidos, la Caaba se desprendió de un asteroide llamado 22 Calíope, giró en órbita alrededor del Sol durante los tiempos geológicos y chocó por accidente contra la Península Arábiga hace 2.500 años.

## 16. LA EDAD DE ORO DE LA EXPLORACIÓN PLANETARIA

*La inquieta república del laberinto*

*de los planetas, en lucha feroz hacia el desierto libre  
del cielo.*

PERCY B. SHELLEY, *Prometeo desencadenado* (1820)

Una gran parte de la historia de la humanidad puede describirse, en mi opinión, en términos de una liberación gradual, y a veces dolorosa, del localismo, la conciencia naciente de que en el mundo hay más de lo que creían por término medio nuestros antepasados. Haciendo gala de un tremendo etnocentrismo, las tribus de toda la Tierra se han autodenominado «la gente» o «todos los hombres», relegando a otros grupos de seres humanos de manifestaciones parecidas al status de sub-humanos. La floreciente civilización de la antigua Grecia dividía la comunidad humana en Helenos y Bárbaros, designando a éstos mediante una imitación poco caritativa de las formas de hablar de los no Griegos («Bar Bar...»). Esa misma civilización clásica, que en muchos aspectos es la precursora de la nuestra, daba a su pequeño mar interior el nombre de Mediterráneo, lo cual significa «en medio de la Tierra». Durante milenios China se autodenominó Reino Medio y el significado seguía siendo el mismo: China era el centro del universo y lo bárbaros vivían en la oscuridad exterior.

Estos puntos de vista, o sus equivalentes, están cambiando lentamente y es posible detectar algunas de las raíces del racismo y del nacionalismo en su penetrante aceptación inicial por prácticamente todas las comunidades humanas. Pero vivimos en una época extraordinaria en la que los avances culturales y el relativismo cultural han hecho que ese etnocentrismo sea mucho más difícil de defender. Está saliendo a flote la idea de que todos compartimos un mismo bote salvavidas en un océano cósmico, que la Tierra es en definitiva un lugar pequeño con recursos limitados, que nuestra tecnología ha alcanzado ya un potencial tal que somos capaces de modificar en profundidad el entorno de nuestro diminuto planeta. A esta progresiva superación del localismo de la mente ha contribuido poderosamente, en mi opinión, la exploración espacial —a través de fantásticas fotografías de la Tierra tomadas desde lejos en las que aparece una esfera azul en rotación, repleta de nubes, como un zafiro sobre el infinito terciopelo del espacio—; pero también ha contribuido la exploración de otros mundos, que ha mostrado tanto las diferencias como las semejanzas con este hogar de la humanidad.

Seguimos hablando «del» mundo, como si no hubiese más, de la misma manera que hablamos «del» Sol y de «la» Luna. Pero hay muchos otros. Cualquier estrella del cielo es un sol. Los anillos de Urano representan millones de satélites, nunca antes sospechados, en órbita alrededor de Urano, el séptimo planeta. Y, como han demostrado de forma tan patente en los últimos quince años los vehículos espaciales, hay otros mundos —cercaos, relativamente accesibles—, profundamente interesantes y no del todo parecidos al nuestro. A medida que esas diferencias, así como el punto de vista darwiniano de que la vida en cualquier otro lugar tendrá que diferir sustancialmente de la vida aquí, vayan siendo asimiladas, creo que proporcionarán una influencia cohesionante y unificadora sobre la gran familia humana que vive, por un tiempo, en este poco atractivo mundo dentro de una inmensidad de mundos.

La exploración planetaria posee muchas virtudes. Nos permite redefinir los conocimientos derivados de algunas ciencias de la tierra como la meteorología, la climatología, la geología y la biología, ampliar sus potencialidades y mejorar sus aplicaciones prácticas sobre la Tierra. También proporciona fábulas admonitorias sobre los destinos alternativos de los mundos. También constituye una puerta abierta a las futuras tecnologías de vanguardia,

importantes para la vida aquí, en la Tierra. Proporciona además una válvula de escape a la tradicional aspiración humana de exploración y descubrimiento, nuestra pasión por conocer, que ha sido en gran parte lo que ha permitido nuestro éxito como especie. Y nos permite, por primera vez en la historia, plantearnos con rigor, y con bastante probabilidad de encontrar las respuestas correctas, cuestiones relacionadas con los orígenes y los destinos de los mundos, los inicios y los finales de la vida, y la posibilidad de otros seres que vivan en el espacio —cuestiones tan básicas para la actividad humana como el propio pensamiento y tan naturales como la respiración.

Los vehículos interplanetarios no tripulados de la moderna generación amplían la presencia humana a territorios desconocidos y exóticos, más extraños que cualquier mito o leyenda. Se lanzan con energía suficiente para superar la velocidad de escape cerca de la Tierra y, luego, ajustan sus trayectorias con los motores de los pequeños cohetes, lanzando pequeñas cantidades de gas. Se alimentan de luz solar y de energía nuclear. Algunos sólo tardan unos días en cruzar el lago del espacio entre la Tierra y la Luna; otros pueden tardar un año hasta llegar a Marte, cuatro hasta Saturno o una década para atravesar el mar interior que nos separa del lejano Urano. Flotan tranquilamente en trayectorias precisas, determinadas por la gravitación newtoniana y la tecnología de los cohetes, con sus brillantes destellos metálicos a flor de agua sumergidos en la luz solar que llena los espacios entre los mundos. Cuando alcanzan sus destinos, algunos sobrevuelan el planeta desconocido, para tener una visión global de él y, en su caso, de su cortejo de lunas, antes de adentrarse en las profundidades del espacio. Otros entran en órbita alrededor de otro mundo, examinándolo con detalle, tal vez durante años, antes de que algún componente básico se agote o se estropee. Algunos vehículos se precipitarán sobre otro mundo, desacelerando gracias a la resistencia atmosférica o a un sistema de paracaídas o por un encendido preciso de retrocohetes antes de posarse suavemente en cualquier otro lugar. Algunos de los vehículos que se posan son estacionarios, es decir, están condenados a examinar un único punto de un mundo que espera ser explorado. Otros son autopropulsados y vagan lentamente hacia un horizonte lejano en el que nadie sabe lo que se encuentra. Otros, en fin, son capaces de arrancar rocas y suelo remoto —una muestra de otro mundo— y regresar a la Tierra.

Todos esos vehículos disponen de sensores que amplían considerablemente el campo de percepción humana. Son instrumentos capaces de determinar desde la órbita la distribución de la radiactividad sobre otro planeta; capaces de detectar desde la superficie el débil ruido de un alejado y profundo «terremoto en el planeta» (*planetquake*); capaces de obtener fotografías tridimensionales en color o en infrarrojos de un paisaje como el que nadie ha visto en la Tierra. Esas máquinas son inteligentes, por lo menos hasta cierto punto. Pueden seleccionar sus objetivos sobre la base de la misma información que reciben. Pueden recordar con gran precisión una serie detallada de instrucciones que, al ser escritas en cualquier idioma, ocupan un libro de considerable volumen. Son obedientes y aceptan cambios de instrucciones enviados desde la Tierra a través de mensajes de radio. Y nos han transmitido, básicamente por radio, una cantidad rica y diversificada de información acerca de la naturaleza del sistema solar en el que vivimos. En el caso de nuestro vecino celeste, la Luna, ha habido vuelos de acercamiento, alunizajes violentos, alunizajes suaves, vuelos orbitales, vehículos móviles automáticos y misiones no tripuladas para la recogida de muestras, así como, desde luego, seis heroicas expediciones tripuladas de la serie Apollo coronadas por el éxito. Ha habido un vuelo de acercamiento a Mercurio; vuelos orbitales, sondas de entrada y aterrizajes en Marte; y vuelos de acercamiento a Júpiter y Saturno. Fobos y Deimos, las dos pequeñas lunas de Marte, fueron examinadas de cerca y de algunas de las lunas de Júpiter se han obtenido fotografías asombrosas.

Hemos echado el primer vistazo a las nubes de amoníaco y a los grandes sistemas tormentosos de Júpiter; a la superficie fría y cubierta de sal de su luna Ió; al suelo desolado, repleto de cráteres, antiguo y tórrido de Mercurio; y al paisaje salvaje y espectral de nuestro vecino planetario más próximo, Venus, cuyas nubes están compuestas por una lluvia ácida que cae continuamente aunque nunca alcanza la superficie, ya que ese paisaje montañoso, iluminado por la luz solar que se difunde a través de la perpetua capa de nubes, se encuentra a unos 900° F. Y Marte: ¡qué rompecabezas, qué felicidad, qué enigma



y delicia es Marte! Con sus antiguos lechos de ríos, sus inmensos y elaborados bancales polares, su volcán de casi 80.000 pies de altura, sus furiosas tormentas, sus tardes reparadoras. Y una derrota inicial aparente infligida a nuestro primer esfuerzo por responder a la pregunta principal: si el planeta alberga, o ha albergado, alguna forma de vida desarrollada.

En la Tierra sólo existen dos naciones en la carrera del espacio, sólo dos potencias hasta ahora capaces de enviar vehículos más allá de la atmósfera terrestre: los Estados Unidos y la Unión Soviética. Los Estados Unidos han protagonizado las únicas misiones tripuladas a otro cuerpo celeste, los únicos aterrizajes con éxito sobre Marte y las únicas expediciones a Mercurio, Júpiter y Saturno. La Unión Soviética ha sido pionera en la exploración automatizada de la Luna, incluyendo los únicos vehículos móviles no tripulados y misiones de recogida de muestras en otros objetos celestes, y las primeras sondas de entrada y aterrizaje en Venus. Desde la finalización del programa Apollo, Venus y la Luna se han convertido, hasta cierto punto, en terreno ruso, mientras que el resto del sistema solar sólo es atravesado por vehículos espaciales norteamericanos. Si bien se da un cierto nivel de cooperación científica entre las dos naciones, esa territorialidad planetaria ha llegado a consolidarse más por defecto en base a acuerdos. En los últimos años ha habido una serie de misiones soviéticas a Marte, muy ambiciosas, pero sin éxito, mientras que los Estados Unidos lanzaban una serie modesta, aunque con éxito, de vehículos orbitales alrededor de Marte, así como sondas de entrada en 1978. El sistema solar es muy grande y hay mucho que explorar en él. Incluso el diminuto Marte posee una superficie comparable al área de suelo de la Tierra. Por razones prácticas, resulta mucho más sencillo organizar misiones por separado, aunque coordinadas, emprendidas por dos o más naciones, que aventuras de cooperación multinacional. En los siglos XVI y XVII, Inglaterra, Francia, España, Portugal y Holanda organizaron cada una por su lado misiones a gran escala de descubrimiento y exploración global, en fuerte competencia entre sí. Pero los motivos económicos y religiosos de esa competencia en el campo de la exploración no parecen tener sus contrapartidas en la actualidad. Hay motivos para pensar que la competencia nacional en la exploración de los planetas será pacífica, por lo menos en un futuro previsible.

Los tiempos necesarios para las misiones planetarias son muy largos. El diseño, la fabricación, la comprobación, la integración y el lanzamiento de una misión planetaria típica requieren muchos años. Un programa sistemático de exploración planetaria requiere un compromiso sostenido. Los logros más resonantes de los Estados Unidos en la Luna y los planetas —Apollo, Pioneer, Mariner y Viking— se iniciaron en los años 60. Por lo menos hasta hace poco, los Estados Unidos sólo han adquirido, en toda la década de los 70, un compromiso mayor en la exploración planetaria: las misiones Voyager, cuyos lanzamientos se llevaron a cabo en verano de 1977, destinadas al primer examen sistemático de aproximación a Júpiter, Saturno, sus algo así como veinticinco lunas y los espectaculares anillos de éste.

La ausencia de nuevas iniciativas ha provocado una verdadera crisis en la comunidad de científicos e ingenieros norteamericanos responsables del rosario de éxitos tecnológicos y descubrimientos científicos avanzados que dieron comienzo con el vuelo Mariner 2 de aproximación a Venus en 1962. Se ha producido una interrupción en el progreso de la exploración. Los trabajadores han tenido que dejar sus tareas y dedicarse a otros menesteres; existe un verdadero problema consistente en ofrecer continuidad a la próxima generación de la exploración planetaria. Por ejemplo, la posible respuesta a la histórica y conseguida exploración de Marte por el Viking la constituirá una misión que ni siquiera alcanzará el Planeta Rojo antes de 1985 —una laguna en la exploración marciana de casi una década. E incluso no hay la más mínima garantía de que por aquel entonces se lleve a cabo la misión. Esta tendencia —algo así como despedir a la mayoría de los constructores de buques, tejedores de velas y navegantes españoles a principios del siglo XVI— manifiesta signos incipientes de inversión. Recientemente fue aprobado el Proyecto Galileo, una misión para mediados de los años 80, consistente en llevar a cabo el primer reconocimiento orbital de Júpiter y dejar caer una primera sonda en su atmósfera, que puede contener moléculas orgánicas sintetizadas de manera análoga a los fenómenos químicos que indujeron el origen de la vida en la Tierra. Pero al año siguiente, el Congreso

redujo tanto el presupuesto del Proyecto Galileo que en la actualidad éste se encuentra en la cuerda floja.

En los últimos años, el presupuesto global de la NASA ha estado por debajo del uno por ciento del presupuesto federal. Las partidas correspondientes a la exploración planetaria han sido menores que el 15 por ciento de esa cantidad. Las peticiones de la comunidad de las ciencias planetarias en el sentido de solicitar nuevas misiones han sido desoídas repetidamente —como me decía un senador, a pesar de *Star Wars* y *Star Trek*, el público no ha escrito al Congreso dando su apoyo a las misiones planetarias, pero es que además, los científicos no constituyen un grupo de presión poderoso. Y, sin embargo, existe una serie de misiones en perspectiva que combinan una oportunidad científica extraordinaria con un atractivo popular considerable:

*Navegación solar y encuentro con un cometa.* En las misiones interplanetarias ordinarias, los vehículos espaciales se ven obligados a seguir trayectorias que supongan un gasto mínimo de energía. Los cohetes se accionan durante períodos cortos de tiempo en las proximidades de la Tierra y la nave permanece inerte durante el resto del viaje. Se ha hecho lo más que se ha podido, dado que no estamos en condiciones de desarrollar la enorme capacidad de elevación necesaria, pero sí disponemos de una gran maestría en el manejo de sistemas con gran número de coordenadas. En definitiva, tenemos que aceptar algunas servidumbres, como son los tiempos de vuelo largos y la poca elección en las fechas de partida y llegada. Pero, al igual que en la Tierra se está considerando pasar de los combustibles fósiles a la energía solar, lo mismo ocurre en el espacio. La luz solar ejerce una fuerza que, aunque pequeña, es patente y se llama presión de radiación. Una estructura del tipo vela, con una gran superficie y poca masa, puede ser propulsada mediante la presión de la radiación. Con una vela cuadrada de media milla de lado, pero extraordinariamente delgada, las misiones interplanetarias pueden resultar más eficaces que con la propulsión convencional mediante cohetes. La vela sería colocada en órbita terrestre utilizando un vehículo lanzadera tripulado, para poder desplegarla y tensarla. Constituiría una imagen preciosa, fácilmente visible a simple vista en forma de un punto brillante. Con unos prismáticos podrían apreciarse ciertos detalles, tal vez incluso lo que en los buques de vela del siglo XVII se llamaba la divisa: un símbolo gráfico adecuado, tal vez un dibujo del planeta Tierra. Junto a la vela estaría el vehículo científico diseñado para la aplicación concreta.

Una de las primeras aplicaciones, y también de las más estimulantes, sobre la que ya se está discutiendo, es una misión de encuentro con un cometa, tal vez un encuentro con el cometa Halley en 1986. Los cometas se encuentran vagando la mayoría del tiempo por el espacio interestelar; están llamados a proporcionar importantes indicios sobre la historia inicial del sistema solar y sobre la naturaleza de la materia entre las estrellas. La navegación solar hacia el cometa Halley no sólo ha de proporcionar fotografías de cerca del interior de un cometa —sobre el que no sabemos prácticamente nada— sino también, sorprendentemente, traer a la Tierra un fragmento de un cometa. Las ventajas prácticas, y la belleza, de la navegación solar resultan evidentes en este ejemplo; pero además, no sólo representa una nueva misión, sino toda una nueva tecnología interplanetaria. Dado que el desarrollo de la tecnología de la navegación solar está más atrasada que la de la propulsión química, es esta última la que se utilizará en las primeras misiones hacia los cometas. Ambos mecanismos de propulsión tendrán su lugar en los viajes interplanetarios del futuro. Pero, en mi opinión, la navegación solar tendrá un mayor impacto. Tal vez a principios del siglo XXI se hagan competiciones de regatas entre la Tierra y Marte.

*Vehículos móviles sobre Marte (Rovers).* Antes de la misión Viking, ningún vehículo espacial terrestre había llegado a posarse sobre Marte. Los soviéticos habían tenido algunos fracasos, incluyendo por lo menos uno que resultó bastante misterioso y previsiblemente atribuible a la peligrosa topografía de la superficie marciana. Posteriormente, tras penosos esfuerzos, tanto el Viking 1 como el Viking 2 consiguieron posarse en los lugares más oscuros que pudieron encontrar en la superficie del planeta. Las cámaras estéreo del vehículo espacial mostraron valles alejados y perspectivas inaccesibles. Las cámaras orbitales mostraron un paisaje extraordinariamente diversificado y geológicamente

exuberante, paisaje que no podíamos examinar de cerca con el vehículo Viking estacionario, una vez en el suelo. La exploración futura de Marte, tanto geológica como biológica, requerirá vehículos móviles capaces de posarse en los lugares oscuros y seguros, vehículos capaces de desplazarse centenares o miles de kilómetros hasta los lugares interesantes. Un vehículo de esas características tendría que poder desplazarse a su antojo produciendo un flujo continuo de fotografías de nuevos paisajes, nuevos fenómenos y, como es de esperar, grandes sorpresas en Marte. Su importancia podría mejorar todavía si actuase conjuntamente con un vehículo orbital polar que trazase el mapa geoquímico del planeta o con un avión marciano no tripulado que fotografiase la superficie a altitudes muy pequeñas.

*Aterrizaje en Titán.* Titán es la luna mayor de Saturno y el mayor satélite del sistema solar (ver capítulo 13). Es especialmente notable por poseer una atmósfera más densa que la de Marte y posiblemente se encuentra cubierto por una capa de nubes marrones compuestas por moléculas orgánicas. A diferencia de Júpiter y Saturno, posee una superficie sobre la que puede posarse un vehículo espacial, y su profunda atmósfera no es lo suficientemente caliente como para destruir las moléculas orgánicas. Una sonda de entrada y un aterrizaje sobre Titán posiblemente constituirían uno de los aspectos de una misión orbital de Saturno, que pudiese contar también con una sonda de entrada en ese planeta.

*Radar fotográfico en órbita alrededor de Venus.* Las misiones soviéticas Venera 9 y Venera 10 han traído a la Tierra las primeras fotografías de cerca de la superficie de Venus. Debido a la permanente capa de nubes, las características superficiales de Venus no pueden verse a través de los telescopios ópticos situados en la Tierra. Sin embargo, unas estaciones de radar terrestres y el sistema de radar llevado por el pequeño vehículo orbital Pioneer han empezado a levantar un mapa de los elementos superficiales de Venus y han puesto de manifiesto la presencia de enormes montañas y cráteres y volcanes, así como una accidentada topografía. El radar fotográfico en órbita alrededor de Venus que se propone podría suministrar fotografías-radar de polo a polo de la superficie venusiana con una precisión mayor que la que se alcanza desde la superficie

de la Tierra y permitiría llevar a cabo un reconocimiento previo de la superficie de Venus comparable al realizado en Marte por el Mariner 9 en 1971-1972.

*Sonda solar.* El Sol es la estrella más cercana, la única que posiblemente seamos capaces de examinar de cerca, por lo menos durante muchas décadas. Un vuelo de aproximación al Sol resultaría del máximo interés, contribuiría a comprender su influencia sobre la Tierra y proporcionaría, además, pruebas de gran trascendencia sobre la Teoría General de la Relatividad de Einstein. Una misión en la que intervenga una sonda solar plantea dos tipos de dificultades: la de la energía necesaria para liberarse del movimiento de la Tierra (y de la sonda) alrededor del Sol, de forma que ésta pudiese precipitarse hacia el Sol, y la del calor insoportable a medida que se fuese acercando al Sol. El primer problema puede resolverse lanzando el vehículo espacial hacia Júpiter y utilizando la gravedad de este planeta para dirigirlo hacia el Sol. Al existir muchos asteroides en el interior de la órbita de Júpiter, la misión podría ocuparse también de estudiar esos asteroides. Una manera de abordar el segundo problema, que a primera vista puede parecer enormemente ingenua, consiste en volar hacia el Sol *por la noche*. En la Tierra, la noche es el resultado de la interposición del cuerpo sólido de la Tierra entre el Sol y nosotros. Lo mismo ocurre con la sonda solar. Existen varios asteroides que se acercan bastante al Sol. La sonda solar podría dirigirse hacia el Sol al amparo de la sombra de algún asteroide (al mismo tiempo podría hacer observaciones del asteroide). Cerca del perihelio del planeta, la sonda saldría de la sombra del planeta y se sumergiría, con todo su interior repleto de fluido resistente al calor, lo más profundamente que pudiese en la atmósfera del Sol hasta fundirse y evaporarse —átomos de la Tierra añadidos a nuestra estrella más cercana.

*Misiones tripuladas.* Una misión tripulada viene a costar de cincuenta a cien veces más que una misión no tripulada de la misma índole. Por eso, para la exploración científica se prefieren las misiones no tripuladas y se utilizan sólo máquinas.

Sin embargo, pueden existir también otras razones distintas a la exploración espacial que sean de tipo social, económico, político, cultural o histórico. Las misiones tripuladas de las que se habla con mayor frecuencia son las que ponen en órbita alrededor de la Tierra estaciones espaciales (tal vez diseñadas para recoger luz solar y transmitirla en haces de microondas hacia una Tierra necesitada de energía) y la de una base lunar permanente. También están discutiéndose las grandes líneas de la construcción de ciudades espaciales permanentes en órbita terrestre, construidas con materiales procedentes de la Luna o los asteroides. El coste del transporte de esos materiales desde mundos de gravedad reducida, como la Luna o un asteroide, hasta la órbita de la Tierra es mucho menor que el correspondiente desde nuestro planeta de gravedad elevada. Estas ciudades espaciales podrían llegar a ser autorreproductoras —las nuevas serían construidas por las antiguas. Los costos de estas grandes estaciones tripuladas no han sido evaluados todavía con precisión, pero parece probable que el conjunto de ellas —así como una misión tripulada a Marte— alcance una cifra comprendida entre los 100.000 millones y los 200.000 millones de dólares. Tal vez algún día se lleven a la práctica estas ideas; en ellas hay muchos elementos de largo alcance e históricamente significativos. Pero todos los que hemos estado luchando durante años por organizar aventuras espaciales que costasen menos del uno por ciento de esas cantidades seremos perdonados por habernos planteado si los fondos necesarios serían efectivamente proporcionados y si esos gastos responden a un interés social.

Sin embargo, por mucho menos dinero podría ponerse en marcha una importante expedición preparatoria de esas misiones tripuladas: una expedición a un asteroide carbonoso próximo a la Tierra. Los asteroides se encuentran principalmente entre las órbitas de Marte y Júpiter. Una fracción muy pequeña de ellos posee trayectorias que alcanzan la órbita de la Tierra y, en ocasiones, se acercan hasta unos cuantos millones de kilómetros de nuestro planeta. Muchos asteroides son básicamente carbonosos —con gran cantidad de material orgánico y agua. Se cree que la materia orgánica se condensó en los primeros estadios de la formación del sistema solar, a partir de gas y polvo interestelares, hace unos 4.600 millones- de años; su estudio y comparación con las muestras de cometas presenta un interés científico de excepcional importancia. No creo que los materiales procedentes de un asteroide carbonoso puedan criticarse de la misma manera que lo fueron las muestras recogidas en la Luna por el Apollo por ser tan «sólo» rocas. Es más, un aterrizaje tripulado sobre un objeto tal constituiría una excelente preparación para una posible explotación de los recursos del espacio. Y, por último, el aterrizaje en un objeto de esas características resultaría divertido: el campo de gravedad es tan reducido que un astronauta no tendría dificultad en dar saltos de diez kilómetros. Los objetos que atraviesan las zonas de influencia de la Tierra van descubriéndose a gran ritmo y se llaman objetos Apolo, nombre que fue seleccionado mucho antes que el famoso vuelo tripulado. Podrán o no ser los restos muertos de cometas, pero independientemente de su origen, son objetos de enorme interés. Algunos de ellos son los objetos a los que más fácilmente podríamos acostumbrarnos los humanos, utilizando únicamente una tecnología «de lanzadera» de la que podremos disponer dentro de unos años.

Las misiones que se han descrito más arriba puede afrontarlas nuestra tecnología actual y requieren un presupuesto de la NASA no excesivamente superior al actual. En ellas se combina el interés científico con el interés público, que, en muchas ocasiones, comparten objetivos. Caso de realizarse ese programa, dispondríamos de un reconocimiento previo de todos los planetas y de la mayoría de las lunas desde Mercurio a Urano, de un muestreo representativo de asteroides y cometas y de un conocimiento de los límites y contenidos de nuestra piscina local en el espacio. Como nos recuerda el descubrimiento de anillos alrededor de Urano, hay muchos descubrimientos, importantes e insospechados, que están a la espera. Un programa de esas características sentaría las primeras bases para la utilización del sistema solar por nuestra especie, permitiría extraer los recursos de otros mundos, adecuar éstos como morada de seres humanos y reordenar los entornos de otros planetas para que en ellos pudiese vivir nuestra especie con un mínimo de inconvenientes. Los seres humanos pueden convertirse en una especie multiplanetaria.

Resulta evidente el carácter de transición de estas décadas. A menos de que nos autodestruyamos, la humanidad dejará de verse restringida a un mundo único. De hecho, la existencia de ciudades espaciales y la presencia de colonias humanas en otros mundos dificultará la autodestrucción de la especie humana. Es claro que hemos entrado, casi sin darnos cuenta, en una edad de oro de la exploración planetaria. Como ocurre en muchos casos de la historia humana, al ampliarse la perspectiva a través de la exploración, en este caso espacial, se amplían también las perspectivas artísticas y culturales. No creo que muchas personas del siglo XV se diesen nunca cuenta de estar viviendo en el Renacimiento italiano. Pero la buena predisposición, la alegría, la aparición de nuevas formas de pensamiento, los avances tecnológicos, los bienes de ultramar y la superación del localismo que se dieron en aquella época resultaban evidentes para los pensadores de entonces. Disponemos de la capacidad y de los medios, y —así lo espero ardientemente— del deseo de plantearnos hoy un esfuerzo parecido. Por primera vez en la historia de la humanidad, cae dentro de las posibilidades de esta generación el extender la presencia humana a otros mundos del sistema solar —con temor por sus maravillas y avidez por lo que tienen que enseñarnos.

## Cuarta Parte: EL FUTURO

### 17. «¿PUEDES ANDAR MAS DEPRISA? »

*—¿Puedes andar más deprisa? —le dijo una pescadilla a un caracol— Llevamos una marsopa detrás de nosotros, y me está mordiendo la cola-*

LEWIS CARROLL, *Alicia en el País de las Maravillas*

Durante la mayoría de la historia humana hemos podido desplazarnos a la velocidad que nos lo permitían nuestras piernas —en una jornada larga, tan sólo unas millas por hora. Se emprendieron grandes viajes, pero muy despacio. Por ejemplo, hace 20.000 ó 30.000 años, seres humanos cruzaron el Estrecho de Bering y penetraron por primera vez en las Américas, avanzando penosamente hacia el Sur, hasta Tierra de Fuego, donde les encontró Charles Darwin en su memorable viaje del *Beagle*. El esfuerzo concentrado y unilateral de unas gentes dedicadas a andar desde los estrechos entre Asia y Alaska hasta Tierra de Fuego puede haber durado años y años; de hecho, la difusión de la población humana tan hacia el Sur debe haber sido cuestión de miles de años.

La motivación original de un desplazamiento tan largo debe haber sido, como nos recuerda la queja de la pescadilla, la de escapar de enemigos y depredadores o la de buscar enemigos y depredar. Hace unos miles de años se hizo un descubrimiento importante: el caballo podía ser domesticado y montado. La idea es muy peculiar, pues el caballo no ha evolucionado para ser montado por los seres humanos. Mirándolo objetivamente, la idea resulta sólo un poco menos necia que la de un pulpo cabalgando un mero. Pero funcionó y —especialmente después del invento de la rueda y del carro— los vehículos a lomo del caballo o tirados por él fueron durante miles de años la tecnología de transporte más avanzada de que dispuso la especie humana. Se puede viajar a unas 10 o incluso 20 millas por hora con «tecnología caballar».

Sólo hace poco que hemos superado esa tecnología concreta como pone claramente de manifiesto, por ejemplo, la utilización del término «caballo de vapor» para medir la potencia de los motores. Un motor de 375 caballos de vapor posee aproximadamente la misma capacidad de empuje que 375 caballos. Un grupo de 375 caballos resultaría una imagen preciosa. Dispuestos en filas de a cinco, el grupo tendría una longitud de dos décimas de milla y sería tremendamente difícil de manejar. En muchas carreteras la primera fila quedaría fuera del alcance visual del conductor. Y, evidentemente, 375 caballos no van 375 veces más deprisa que un solo caballo. Incluso con equipos de muchos caballos la velocidad de transporte no pasaba de ser 10 ó 20 veces superior de la que se alcanzaba sólo utilizando las piernas.

Pero los cambios experimentados a lo largo del último siglo, en materia de tecnología del transporte, son sorprendentes. Hemos dependido de las piernas durante millones de años; de los caballos por miles de años; del motor de combustión interna durante menos de cien; y de los cohetes algunas décadas. Pero esos productos del genio inventor del hombre nos han permitido desplazarnos sobre la tierra y sobre la superficie de las aguas varios centenares de veces más deprisa de lo que podíamos conseguir andando, en el aire unas mil veces más deprisa y en el espacio más de diez mil veces más deprisa.

Sucedía antaño que la velocidad de comunicación era la misma que la velocidad de transporte. En la primera época de nuestra historia se dieron algunos métodos de comunicación rápida —por ejemplo, mediante señales con banderas o señales de humo e incluso uno o dos intentos de utilizar torres de señalización con espejos que reflejan luz solar o lunar. Las noticias documentadas de que disponemos sobre el asalto efectuado por los soldados húngaros a la Fortaleza de Győr en poder de los turcos parece que fue dirigido por el Emperador Rodolfo II de Habsburgo, a través de un mecanismo, el «telégrafo de luz lunar», inventado por el astrólogo inglés John Dee; el invento parecía consistir en diez

estaciones de repetición separadas entre sí cuarenta kilómetros entre Győr y Praga. Pero, con algunas excepciones, estos métodos demostraron ser inviables y las comunicaciones no alcanzaron velocidades superiores a las del hombre o el caballo. Ya no es cierto eso. La comunicación por teléfono y radio se realiza a la velocidad de la luz —300.000 kilómetros por segundo, más de mil millones de kilómetros por hora. Y no se trata tampoco del último adelanto. Por lo que sabemos, a partir de la Teoría Especial de la Relatividad de Einstein, el universo está construido de tal forma (por lo menos en nuestros alrededores) que ningún objeto ni ninguna información pueden desplazarse a mayor velocidad que la de la luz. No se trata de una barrera de la ingeniería, como la llamada barrera del sonido, sino de un límite cósmico de velocidades, consustancial con la propia naturaleza. De todas formas, mil millones de kilómetros por hora bastan en la mayoría de los casos.

Lo que resulta sorprendente es que en el dominio de la tecnología de la comunicación, ya hemos alcanzado ese límite y nos hemos adaptado muy bien a él. Hay muy poca gente que tras una llamada telefónica de larga distancia se quede boquiabierto y sorprendido por la velocidad de la transmisión. Ya hemos asimilado esos medios de comunicación casi instantáneos. Sin embargo, en la tecnología del transporte, aun no habiendo alcanzado velocidades en absoluto cercanas a la de la luz, topamos con otros límites, de tipo fisiológico y tecnológico.

Nuestro planeta gira. Cuando es mediodía en un punto determinado de la Tierra, es plena noche en el punto diametralmente opuesto. Así pues, la Tierra ha sido dividida en veinticuatro husos convenientemente distribuidos, de amplitud prácticamente igual y dando lugar a regiones de igual longitud. Si volamos muy deprisa, creamos situaciones a las que pueden acomodarse nuestras mentes, pero que nuestros cuerpos pueden soportar muy difícilmente. Ya son frecuentes los desplazamientos relativamente cortos hacia el oeste en los que se llega antes de partir —por ejemplo, cuando se invierte menos de una hora entre dos puntos separados por un huso horario. Cuando tomo un avión hacia Londres a las 9 de la noche, ya es mañana en mi punto de destino. Cuando llego, tras un vuelo de cinco o seis horas, ya es muy entrada la noche para mí, pero en mi destino empiezan a trabajar. Mi cuerpo se siente incómodo, mis ciclos vitales se desajustan y tardo unos días en adecuarme al horario inglés. En ese aspecto, un vuelo desde Nueva York a Nueva Delhi resulta mucho más incómodo.

Me parece muy interesante que dos de los más dotados e ingeniosos escritores de ciencia ficción del siglo xx —Isaac Asimov y Ray Bradbury— hayan renunciado a volar. Sus mentes sintonizan perfectamente con los vuelos interplanetarios e interestelares, pero sus cuerpos se resisten a un DC 3. Y es que el ritmo de cambio en la tecnología del transporte ha sido demasiado grande para que muchos de nosotros nos acomodásemos adecuadamente.

En la actualidad, pueden realizarse muchas posibilidades raras. La Tierra gira sobre su eje cada veinticuatro horas. La circunferencia de la Tierra es de 25.000 millas. Así, si fuésemos capaces de desplazarnos a  $25.000/24 = 1.040$  millas por hora, compensaríamos la rotación de la Tierra y, si viajásemos hacia el oeste a la puesta del Sol, nos mantendríamos ante una puesta de Sol durante todo el viaje, aunque diésemos toda la vuelta al planeta. (De hecho, en un viaje de esas características nos mantendríamos en el mismo tiempo *local* a medida que avanzásemos hacia el oeste, atravesando los diversos husos horarios, hasta cruzar la línea horaria internacional, precipitándonos en el mañana.) Pero 1.040 millas por hora es menos de dos veces la velocidad del sonido y en la actualidad existen en todo el mundo docenas de aparatos, fundamentalmente militares, que son capaces de alcanzar esas velocidades.(\*)

--

(\*) En los vuelos tripulados en órbita terrestre se plantean también otros problemas. Consideremos, por ejemplo, un musulmán o un judío religioso dando una vuelta a la Tierra cada noventa minutos. ¿Está obligado a guardar el día de descanso cada siete órbitas? Los vuelos espaciales nos sitúan ante situaciones muy distintas de aquellas en las que hemos crecido nosotros y nuestras costumbres.

--

Algunos aviones comerciales, como el anglofrancés Concorde, tienen potencias parecidas. En mi opinión, la pregunta no es: «¿Podemos ir más deprisa?», sino «¿tenemos que hacerlo?». Se han planteado inquietudes, desde mi punto de vista acertadamente, acerca de si las ventajas que proporciona el transporte supersónico compensa su coste global y su impacto ecológico.

La mayor parte de la demanda de viajes a larga distancia y a gran velocidad viene formulada por hombres de negocios y funcionarios gubernamentales que necesitan mantener reuniones con otras personas en otros estados o países. Pero de lo que se trata en realidad no es tanto del transporte de material sino del transporte de información. Considero que una gran parte de la demanda de transporte a gran velocidad podría evitarse si se utilizase mejor la tecnología de comunicaciones existente. En muchas ocasiones he participado en reuniones privadas u oficiales en las que había, por ejemplo, veinte personas, cada una de las cuales había pagado 500 dólares en concepto de transporte y gastos de estancia, por el sólo hecho de participar, lo cual suma en total 10.000 dólares. Pero lo que intercambian los participantes siempre es información. Los teléfonos con pantalla, las líneas telefónicas arrendadas y los aparatos reproductores de facsímiles capaces de transmitir escritos o diagramas deberían prestar el mismo servicio o incluso mejor. No existe ninguna función específica en esas reuniones —que incluyen discusiones privadas «en los pasillos» entre los participantes— que no pueda realizarse a menor precio y, por lo menos, con la misma eficacia utilizando las comunicaciones, en lugar de la tecnología del transporte.

Ciertamente existen avances en el campo de los transportes que parecen prometedores y deseables: el avión de despegue y aterrizaje vertical (VTOL) es un verdadero regalo para los lugares habitados aislados y remotos en caso de emergencias médicas o de otro tipo. Pero los últimos avances en el campo de la tecnología del transporte que me parecen más atractivos son las aletas de caucho para la inmersión submarina y los planeadores de suspensión. Se trata de avances tecnológicos muy en la línea de los buscados por Leonardo da Vinci en el primer esfuerzo tecnológico serio de la humanidad por conseguir volar en el siglo xv; esos aparatos le permiten a cualquier ser humano penetrar, con sólo algo más que sus propias fuerzas, y a una velocidad estimulante, en un medio totalmente distinto.

Creo que con el agotamiento de los combustibles fósiles es muy probable que los automóviles propulsados por motores de combustión interna nos duren como mucho unas décadas. El transporte del futuro tendrá forzosamente que ser distinto. Podemos pensar en vehículos confortables e igualmente rápidos a base de vapor, energía solar, células de combustible o electricidad, que produzcan poca polución y que utilicen una tecnología fácilmente accesible para el usuario.

Muchos expertos en bienestar se muestran preocupados porque en el mundo occidental —y de forma creciente en los países desarrollados— nos estamos volviendo demasiado sedentarios. Al conducir un automóvil se utilizan muy pocos músculos. La agonía del automóvil conlleva seguramente aspectos muy positivos, vistos con perspectiva, uno de los cuales es la recuperación del sistema de transporte más antiguo, el andar, y el ciclismo, que en muchos aspectos es el más sobresaliente.

Fácilmente se puede imaginar una sociedad futura sana y estable en la que andar e ir en bicicleta constituyan los medios de transporte principales; con automóviles de velocidad reducida y no generadores de polución y sistemas de transporte público por raíles a disposición de todo el mundo y los aparatos de transporte más sofisticados relativamente poco utilizados por la persona media. La aplicación de la tecnología del transporte que requiere una mayor dosis de sofisticación es la de los vuelos espaciales. Los beneficios prácticos inmediatos, el conocimiento científico y la atractiva exploración que han proporcionado los vuelos espaciales no tripulados alcanzan cotas impresionantes y es de esperar todavía, en las próximas décadas, un ritmo creciente de lanzamientos de vehículos espaciales efectuados por muchos otros países, utilizando formas más sutiles de transporte,



como las descritas en el capítulo anterior. Se han propuesto sistemas con energía nuclear, sistemas de navegación solar y de propulsión química, pero todos ellos, hasta cierto punto, se encuentran en vías de desarrollo. A medida que las centrales nucleares de fusión se consoliden, proporcionando aplicaciones terrestres, en las próximas décadas asistiremos también al desarrollo de máquinas espaciales de fusión.

Ya se están utilizando las fuerzas gravitatorias de los planetas para alcanzar velocidades inalcanzables de otra forma. El Mariner 10 sólo pudo llegar a Mercurio porque pasó cerca de Venus y la gravedad de este planeta le proporcionó un empuje considerable. Y el Pioneer 10 fue llevado a una órbita que le permitiría escapar del sistema solar sólo porque paso cerca del planeta gigante Júpiter. En cierto sentido, el Pioneer 10 y los Voyager 1 y 2 son nuestros sistemas de transporte más avanzados. Están abandonando el sistema solar a una velocidad de unas 43.000 millas por hora, llevando mensajes para todos aquellos que puedan interceptarlos desde la oscuridad del cielo nocturno, mensajes de los habitantes de la Tierra —esos mismos que hacen tan sólo un tiempo no podían desplazarse sino a unas pocas millas por hora.

## 18. A MARTE, A TRAVÉS DEL CEREZO

*¡Ay! ¡Quién tuviera una musa de fuego para escalar el cielo más resplandeciente de la invención!*

WILLIAM SHAKESPEARE. Enrique V, acto I, prólogo

Estamos en una perezosa tarde del exquisito otoño de Nueva Inglaterra. Dentro de unas diez semanas será el 1 de enero de 1900; en tu diario, que contiene los acontecimientos y las ideas de tu vida previa, nunca podrás ya escribir una fecha de los años 1800. Acabas de cumplir diecisiete años. En la escuela pública asistes a las clases de segundo curso de enseñanza media, pero actualmente estás en casa, en parte porque tu madre está muy enferma de tuberculosis y en parte por tus propios dolores crónicos de estómago. Eres brillante, no sin talento para las ciencias, pero nadie ha insinuado todavía que puedas tener una capacidad extraordinaria. Estás disfrutando de la contemplación del paisaje de Nueva Inglaterra desde lo alto de un viejo cerezo al que te has subido, cuando, de repente, te asalta una idea, una visión irresistible y apremiante de que puede conseguirse, más de hecho que con la fantasía, viajar hasta el planeta Marte.

Cuando bajas del cerezo sabes que eres un chico muy distinto del que subió a él. El trabajo de toda tu vida queda claramente definido y durante los siguientes cuarenta y cinco años tu dedicación nunca se tambaleará. Has quedado prendado de la visión de un vuelo a los planetas. Estás profundamente conmovido y atemorizado en silencio por la visión experimentada en el cerezo. Al año siguiente, el día del aniversario de esa visión, vuelves a subir al árbol para saborear la alegría y el significado de esa experiencia; y para siempre más pones un punto en tu diario llamando «Día del Aniversario» a la conmemoración de esa experiencia —cada 19 de octubre hasta tu fallecimiento, a mediados de los años 40, época en la que tus apreciaciones teóricas y tus innovaciones prácticas han resuelto básicamente todas las trabas tecnológicas para un vuelo interplanetario.

Cuatro años después de tu muerte se ajustó un WAC Corporal al morro de una V-2 y su lanzamiento fue un éxito, alcanzando una altitud de 250 millas, el umbral del espacio a todos los efectos. Todos los elementos esenciales del diseño del WAC Corporal y de la V-2 y el propio concepto de cohetes en sucesión habían sido elaborados por ti. Un cuarto de siglo más tarde, se lanzarán vehículos espaciales no tripulados a todos los planetas conocidos por el hombre antiguo; una docena de hombres pisarán la Luna; y dos vehículos increíblemente miniaturizados llamados Viking estarán marchando hacia Marte, en un primer intento de buscar vida en ese planeta.

Robert H. Goddard no se equivocó y nunca puso en duda la determinación que adoptó en el cerezo de la granja de su tía abuela Czarina en Worcester, Massachusetts. Así como otros habían tenido visiones parecidas —especialmente Konstantin Eduardovich Tsiolkovsky en Rusia—, Goddard conjugó de manera única una dedicación visionaria con una gran brillantez técnica. Estudió física porque necesitaba la física para llegar a Marte. Durante muchos años fue profesor de física y jefe del departamento de física de la Universidad Clark en su ciudad natal, Worcester.

Mientras leía los cuadernos de Robert Goddard, quedé sorprendido de lo poderosas que fueron sus motivaciones científicas y exploratorias y también de lo influyentes que fueron sus ideas especulativas —incluidas las erróneas— en la configuración del futuro. En los años del cambio de siglo, los intereses de Goddard estaban profundamente influenciados por la idea de la existencia de vida en otros mundos. Se sentía atraído por las tesis de W. H. Pickering, del Harvard College Observatory, según las cuales la Luna poseía una atmósfera perceptible, un vulcanismo activo, zonas variables heladas e incluso marcas oscuras móviles, lo cual Pickering interpretaba de forma diversa como el crecimiento de vegetación o también como la migración de enormes insectos por la superficie del cráter Eratóstenes. Goddard quedó prendado por la ciencia ficción de H. G. Wells y Garrett P. Servís, especialmente por la *Edison's Conquest Of Mars* de éste, sobre la cual Goddard dijo que

«había sacudido tremendamente mi imaginación». Leía con deleite las obras de Percival Lowell, un elocuente abogado de la tesis de que el planeta Marte estaba habitado por seres inteligentes. Y aun con todo eso que estimulaba poderosamente su imaginación, Goddard consiguió mantener un cierto sentido del escepticismo, que resulta muy poco frecuente en la gente joven propensa a las epifanías interplanetarias en lo alto de los cerezos: «Las condiciones reales pueden ser totalmente distintas... de las que sugiere el Profesor Pickering... El único antídoto para las falacias es —en pocas palabras— no dar por supuesto nada».

El 2 de enero de 1902, como sabemos a través de los cuadernos de Goddard, éste escribió un artículo titulado «La Habitabilidad de Otros Mundos». Este artículo no había sido compilado entre las obras de Goddard, lo cual me pareció una verdadera lástima, pues nos hubiese hecho comprender mejor hasta qué punto la búsqueda de vida extraterrestre era un motivo principal en el trabajo de Goddard. (\*)

--

(\*) En un discurso de principio de curso en la Universidad Clark, el 18 de mayo de 1978, hice unas observaciones parecidas. Dorothy Mosakowski, del Aula de Libros Raros de la Biblioteca Goddard de la Universidad Clark buscó y encontró ese pequeño ensayo que se consideraba perdido. En él descubrimos que Goddard se sentía atraído, aunque mantenía una actitud cautelosa, por la posibilidad de vida en Marte, que estaba seguro de la existencia de sistemas planetarios extrasolares, de lo cual dedujo «que entre esos innumerables planetas se dan condiciones de calor y luz análogas a las que disponemos aquí; si así es efectivamente, y si el planeta tiene una edad y un tamaño parecidos a los nuestros, es muy posible que existan seres humanos muy parecidos a nosotros, posiblemente con costumbres extrañas y formas de hacer todavía más extrañas». Pero también añadía: «Le corresponde al futuro distante responder si hay algo de verdad en nuestras suposiciones.»

--

En los años siguientes a la presentación de su tesis doctoral, Goddard trabajó con éxito en una verificación experimental de sus ideas sobre vuelos de cohetes propulsados por sólidos y líquidos. En ese empeño recibió el apoyo de dos hombres: Charles Greeley Abbott y George Ellery Hale. Por aquel entonces Abbott era un joven científico en la Smithsonian Institution, de la que posteriormente fue secretario, puesto cuya designación resulta muy elaborada y por ello es bien conocida la organización. Hale era la fuerza motriz de la astronomía de observación en Norteamérica en aquella época; antes de morir había fundado los observatorios Yerkes, Mount Wilson y Mount Palomar, cada uno de ellos, y a su tiempo, con el mayor telescopio del mundo.

Tanto Abbott como Hale eran físicos solares y parece claro que quedaron cautivados por la visión de Goddard acerca de un cohete que navegase por encima de la manta oscurecedora de la atmósfera terrestre y capaz de observar sin obstáculos el Sol y las estrellas. Pero Goddard iba más allá de esta intrépida visión. Habló y escribió sobre experiencias acerca de la composición y la circulación en la alta atmósfera de la Tierra, sobre la posibilidad de llevar a cabo observaciones del Sol y las estrellas con rayos gamma y con ultravioleta, por encima de la atmósfera terrestre. Diseñó un vehículo espacial capaz de acercarse a unas 1.000 millas de la superficie de Marte —por una curiosa coincidencia histórica se trata de la distancia mínima de las órbitas del Mariner 9 y de los Viking. Goddard calculó que un telescopio de buen tamaño situado en ese punto privilegiado sería capaz de fotografiar decenas de metros de la superficie del Planeta Rojo, lo cual equivale a la resolución de las cámaras del vehículo orbital Viking. Imaginó un vuelo interestelar lento a velocidades y escalas de tiempo equivalentes a las de los vehículos Pioneer 10 y 11, nuestros primeros emisarios interestelares.

El genio de Goddard apuntaba más alto todavía. Concibió, y no en broma, sino bastante en serio, un vehículo propulsado por energía solar, en una época en la que cualquier aplicación práctica de la energía nuclear era desacreditada públicamente, sugiriendo la propulsión

nuclear para vehículos que debiesen recorrer distancias interestelares. Goddard imaginó una época en el futuro más lejano en la que el Sol se habría enfriado y el sistema solar resultaría inhabitable, en la que tendrían lugar vuelos interestelares tripulados por nuestros más remotos descendientes, camino de las estrellas —no sólo las estrellas cercanas, sino también los remotos cúmulos estelares de la Vía Láctea. No pudo imaginar vuelos relativistas y, por tanto, hizo la hipótesis de un determinado método de suspender la animación de la tripulación humana o —con mayor dosis de imaginación todavía— un medio de enviar material genético de seres humanos a alguna época determinada muy lejana en el futuro, material que tendría la capacidad de recombinarse y producir una nueva generación de personas.

«En cada expedición», escribió, «debería llevarse todo el conocimiento, la literatura, el arte (en forma condensada) y una descripción de las herramientas, aplicaciones y procesos de la forma más condensada, ligera e indestructible posible, de manera que la nueva civilización pudiese empezar allí donde finalizó la vieja». Esta última especulación, titulada *La última migración*, estaba contenida en un sobre lacrado con instrucciones de que sólo podía abrirlo «un optimista». Y en verdad fue, no una Pollyanna (\*) que prefiera ignorar los problemas y los demonios de nuestro tiempo, sino un hombre comprometido con el progreso de la condición humana y la creación de amplias perspectivas para el futuro de nuestra especie.

--

\* Así se llama la heroína de la novela *Pollyanna* (1913), de Eleanor Porter, caracterizada por un optimismo irrefrenable y la tendencia a encontrarlo todo bien (*N. del T.*)

--

Nunca le faltó dedicación para Marte. A raíz de uno de sus primeros éxitos experimentales, tuvo que escribir un artículo para la prensa en el que se explicasen los detalles del lanzamiento y su significado más profundo. A punto estuvo de hablar de vuelos a Marte, pero se le disuadió de hacerlo, porque hubiesen parecido demasiado fantásticos. Habló en cambio de la posibilidad de mandar una buena cantidad de magnesio que, como en el instante de hacer una fotografía, produciría un gran destello al estrellarse contra la Luna. La idea causó sensación. Durante muchos años, a Goddard se le llamó desdeñosamente «el Hombre de la Luna» y sus relaciones con la prensa a partir de entonces fueron de lo más deplorable. (Un editorial del *New York Times* que criticó a Goddard por haber «olvidado» que un cohete no podría recorrer el vacío del espacio al no tener nada contra lo que avanzar, debió contribuir considerablemente a ese malestar. El *Times* sólo descubrió la tercera ley de Newton y se retractó de su error en la época del Apollo.) Goddard proponía la siguiente reflexión: «Desde aquel día, en la mente del público todo estaba concentrado en las palabras "cohete lunar", y ocurrió que, al intentar minimizar la parte fantástica, hice levantar una mayor polvareda que si hubiese escrito sobre el transporte a Marte, que la prensa representativa hubiese considerado tan ridículo que sin duda no lo hubiese mencionado nunca.»

Los cuadernos de Goddard no contienen observaciones psicológicas. No era, por lo menos no lo era mucho, el espíritu de la época en que vivió. (\*) Sin embargo, en uno de sus cuadernos puede encontrarse una observación que constituye un destello de penetrante autovaloración: «Dios tenga piedad de aquel que tenga un único sueño». Ése era precisamente el caso de Goddard. Sentía una gran satisfacción al constatar los avances de la tecnología de cohetes, pero para él se producían con una lentitud desesperante. Se conocen muchas cartas, que le fueron enviadas por Abbott, en las que se le urgía a progresar más rápidamente y también muchas respuestas de Goddard haciendo un listado de los impedimentos prácticos. Goddard no pudo asistir a los inicios de la astronomía por cohetes y de la meteorología de gran altitud, y mucho menos pudo asistir a los vuelos a Marte y a otros planetas.

--

(\*) Ello no obstante, se da la notoria circunstancia de que se encontraba en Worcester en 1909 cuando Sigmund Freud y Carl Gustav Jung dieron la primera conferencia en inglés sobre esos elementos ya institucionalizados que constituyen el psicoanálisis. Muchos psiquiatras norteamericanos oyeron por primera vez algo del tema a raíz de la presencia de Freud en la Universidad Clark. Uno se pregunta si el ya maduro y barbudo médico vienés y el joven y bigotudo físico norteamericano recién graduado se saludaron al cruzarse en el campus de la Universidad Clark, cada uno de ellos por la senda de su propio destino.

--

Pero todas esas cosas se están produciendo ahora a causa de lo que claramente son los resultados tecnológicos del genio de Goddard. El 19 de octubre de 1976 se conmemoró el 77.º aniversario de la visión marciana de Robert H. Goddard. Ese día había en órbita alrededor de Marte dos vehículos espaciales y otros dos se habían posado sobre la superficie marciana, los vehículos Viking, cuyos orígenes pueden hacerse remontar, con plena seguridad, a aquel chico subido en un cerezo en el otoño de 1899 de Nueva Inglaterra. Entre sus muchos objetivos, los Viking tenían la misión de comprobar la posibilidad de existencia de vida en Marte, la idea que tan poderosamente había estado motivando a Goddard hacía ya unos cuantos años. Curiosamente, no estamos seguros todavía de lo que significan los resultados biológicos de los Viking. Algunos consideran que se ha descubierto vida microbiana; otros piensan que es muy improbable. Es evidente que se hace necesario un gran programa de exploración futura de Marte en orden a poder comprender en qué estadio de la evolución cósmica se encuentra ese mundo vecino y cuál es su conexión con el estadio evolutivo en nuestro propio planeta.

Desde sus primeros pasos, la tecnología de cohetes se ha ido desarrollando gracias al interés por la vida en otros mundos. Ahora hemos aterrizado en Marte, hemos obtenido resultados biológicos sorprendentes y enigmáticos; las próximas misiones —vehículos superficiales móviles y recogida de muestras— necesitan a su vez un mayor desarrollo de la tecnología de los vehículos espaciales, una causalidad mutua que creo que Goddard hubiese apreciado.

## 19. EXPERIENCIAS EN EL ESPACIO

*Siempre suspiramos por visiones de belleza, siempre soñamos mundos desconocidos.*

MÁXIMO GORKI

Hasta hace relativamente poco, la astronomía tenía un serio impedimento, a la vez que una notable particularidad: era la única ciencia completamente no experimental. Los materiales de estudio estaban allá arriba, mientras que nosotros y nuestras máquinas estábamos aquí abajo.

Ninguna otra ciencia se ha visto tan duramente limitada. Evidentemente, en física y química todo se forja en el crisol del experimento y todos aquellos que tienen dudas sobre alguna conclusión determinada son libres de realizar una amplia gama de manipulaciones alternativas de la materia y la energía, en un intento de poner de manifiesto contradicciones o explicaciones alternativas. Los biólogos de la evolución, incluso aquellos de temperamento reposado, no pueden permitirse el lujo de esperar unos cuantos millones de años para observar cómo una especie evoluciona hacia otra. Pero las experiencias con secuencias normales de aminoácidos, con la estructura enzimática, códigos de ácidos nucleicos, bandas de cromosomas, y la anatomía, la fisiología y el comportamiento abogan fuertemente por la evolución y muestran claramente qué grupos de plantas o animales (como, por ejemplo, los seres humanos) están relacionados con qué otros (como, por ejemplo, los grandes simios).

Es cierto que los geofísicos, preocupados por el interior profundo de la Tierra, no pueden desplazarse hasta la discontinuidad de Wiechert entre el núcleo y el manto o (siquiera) hasta la discontinuidad de Mohorovicic entre el manto y la corteza. Pero en algunos puntos de la superficie se pueden encontrar y examinar batolitos expelidos desde lo más profundo. Los geofísicos han tenido que basarse principalmente en datos sísmicos y, como los astrónomos, no han podido forzar los favores de la Naturaleza, sino que se han visto obligados a esperar sus regalos voluntarios —por ejemplo, en un fenómeno sísmico situado al otro lado de la Tierra de forma que uno de dos sismógrafos próximos entre sí esté en la sombra del núcleo terrestre y el otro no. Pero los sismólogos impacientes pueden llevar a cabo, y de hecho lo hacen, sus propias explosiones químicas y nucleares hasta conseguir que la Tierra suene como una campana. Algunos indicios intrigantes apuntan a la posibilidad de poner en marcha o parar los terremotos. Los geólogos intolerantes con el razonamiento inferencial siempre pueden salir al campo y observar los procesos de erosión contemporáneos. Pero no existe el equivalente astronómico exacto del geólogo buscador de rocas.

Nos hemos visto limitados a la radiación electromagnética reflejada y emitida por los objetos astronómicos. No hemos sido capaces de examinar fragmentos de estrellas o de planetas (\*) en nuestros laboratorios ni de acercarnos a dichos objetos para examinarlos *in situ*. Las observaciones pasivas con base en tierra nos han restringido a una pequeña fracción de los muchos datos que podrían proporcionar los objetos astronómicos. Nuestra posición ha sido mucho peor que la de los seis ciegos de la fábula que indagaban la naturaleza del elefante; se ha parecido más a la situación de un ciego en el zoológico. Hemos estado durante siglos dándole golpes a una pata trasera. No es sorprendente que no hayamos advertido los colmillos o que la pata en cuestión no correspondiese a un elefante. Si, por casualidad, el plano orbital de una estrella doble se encontraba en nuestra línea de visión, podíamos ver eclipses; en caso contrario, no era posible. No podíamos desplazarnos hasta una posición en el espacio desde la que observar los eclipses. Si estábamos observando una galaxia cuando explotaba una supernova, podíamos observar el espectro de la supernova; en caso contrario, no era posible. No disponemos de la capacidad de realizar experiencias de explosiones de supernova —lo cual viene a ser lo mismo. No

podíamos estudiar en el laboratorio las propiedades eléctricas, térmicas, mineralógicas y químicas de la superficie lunar. Estábamos restringidos por las interferencias de la luz visible reflejada y las ondas de radio e infrarrojas emitidas por la Luna, tarea facilitada por experiencias naturales ocasionales como los eclipses y las lunaciones.

--

(\*) Con la única excepción de los meteoritos (véase el capítulo 15).

--

Pero todo eso está cambiando gradualmente. Los astrónomos que realizan sus observaciones desde tierra disponen ahora, por lo menos para los objetos cercanos, de una herramienta experimental: la radioastronomía. A nuestra conveniencia, con la frecuencia, polarización, amplitud de banda y longitud del impulso que deseemos, podemos enviar microondas a una luna o a un planeta próximo y examinar la señal reflejada. Podemos esperar a que el objeto vaya girando bajo el haz e ilumine algún otro lugar de su superficie. La radioastronomía ha proporcionado una multitud de nuevas conclusiones acerca de los períodos de rotación de Venus y Mercurio, de problemas relacionados con la evolución periódica del sistema solar, de los cráteres de Venus, de la fragmentada superficie de la Luna, de las elevaciones de Marte y del tamaño y la composición de las partículas de los anillos de Saturno. Y la radioastronomía no ha hecho sino empezar. Pero seguimos limitados a las latitudes bajas y, en lo que respecta al sistema solar exterior, a los hemisferios que miran hacia el Sol. Pero con la nueva superficie del telescopio de Arecibo del Centro Nacional Astronómico e Ionosférico de Puerto Rico, seremos capaces de levantar un mapa de la superficie de Venus con una resolución de un kilómetro —más precisa que la mejor resolución de las fotografías de la superficie lunar hechas desde tierra— y de obtener una multitud de nuevas informaciones sobre los asteroides, los satélites galileanos de Júpiter y los anillos de Saturno. Por primera vez estamos hurgando en el material cósmico y manoseando electromagnéticamente el sistema solar.

Una técnica mucho más potente de la astronomía experimental (en contraposición con la observacional) es la exploración mediante vehículos. Ahora podemos viajar a las magnetosferas y atmósferas de los planetas. Podemos posarnos y circular sobre sus superficies. Podemos recoger material directamente del medio interplanetario. Nuestros pasos preliminares en el espacio han puesto de manifiesto una amplia variedad de fenómenos cuya existencia nunca habíamos conocido: los cinturones terrestres Van Allen de partículas; las concentraciones de material bajo los mares circulares de la Luna; los canales sinuosos y los grandes volcanes de Marte; las superficies repletas de cráteres de Fobos y Deimos. Pero lo más chocante es que, antes del advenimiento de los vehículos espaciales, los astrónomos lo hicieron muy bien, por muy desjarretados que estuviesen. Las interpretaciones que hicieron de las observaciones de que disponían fueron notables. Los vehículos espaciales son formas de comprobar las conclusiones inferidas por los astrónomos, un método para determinar si deben creerse las deducciones astronómicas sobre objetos muy alejados, objetos tan alejados que son totalmente inaccesibles para los vehículos espaciales, por lo menos en un futuro próximo.

Uno de los primeros grandes debates astronómicos giró en torno a si era la Tierra o el Sol el astro que estaba en el centro del sistema solar. Los puntos de vista ptolemaico y copernicano explican el movimiento aparente de la Luna y los planetas con un grado de precisión comparable. En cuanto al problema práctico de predecir las posiciones de la Luna y los planetas tal como se ven desde la superficie de la Tierra, poco importaba la hipótesis que se adoptase. Pero las derivaciones filosóficas de las hipótesis geocéntrica y heliocéntrica resultaban muy distintas. Y existían formas de saber cuál era la correcta. En la hipótesis copernicana, Venus y Mercurio debían pasar por fases como las de la Luna. En la hipótesis ptolemaica, no debían hacerlo. Cuando Galileo utilizó uno de los primeros telescopios astronómicos y observó un planeta Venus creciente, sabía que estaba dando la razón a la hipótesis copernicana.

Pero los vehículos espaciales proporcionan una comprobación más inmediata. Según Ptolomeo, los planetas recorren esferas cristalinas inmensas. Pero cuando el Mariner 2 o el Pioneer 10 penetraron en el espacio de las supuestas esferas de cristal de Ptolomeo, no detectaron ningún impedimento a su movimiento; y, más directamente, los detectores acústicos y de meteoritos no detectaron el más mínimo ruido de tintineo y mucho menos el de un cristal roto. Este tipo de comprobación proporciona algo muy satisfactorio e inmediato. Posiblemente no haya ptolemaicos entre nosotros. Pero hay quienes tienen la duda persistente de si Venus podría no tener que pasar por fases en alguna hipótesis geocéntrica modificada. Esta gente puede sentirse tranquila.

Antes de los vehículos espaciales, el astrofísico alemán Ludwig Bierman se interesó por las observaciones de la aceleración aparente de nudos brillantes en las colas bien desarrolladas de los cometas que pasan por el interior del sistema solar. Biermann demostró que la presión de radiación de la luz solar no bastaba para explicar la aceleración observada y presentó la nueva sugerencia de que del Sol salía un flujo de partículas cargadas que, al interactuar con el cometa, producían la aceleración observada. Bien, es posible. Pero ¿no podría también deberse, por ejemplo, a explosiones químicas en el núcleo del cometa? O cualquier otra explicación. Pero el primer vehículo interplanetario con éxito, el Mariner 2, en vuelo de aproximación a Venus, determinó la existencia de un viento solar con las velocidades y densidades electrónicas del orden de las calculadas por Biermann para la aceleración de sus nudos.

Por aquella época se produjo un debate sobre la naturaleza del viento solar. De un lado, Eugene Parker, de la Universidad de Chicago, sostenía que se debía al flujo hidrodinámico que sale del Sol; de otro lado, a la evaporación en la parte superior de la atmósfera solar. En la explicación hidrodinámica debía producirse fraccionamiento por masa, es decir, la composición atómica del viento solar debía ser la misma que la del Sol. Pero con la explicación por evaporación, los átomos más ligeros escapan con mayor facilidad de la gravedad del Sol y los elementos pesados deberían agotarse preferentemente en el viento solar. Los vehículos interplanetarios han puesto de manifiesto que el cociente hidrógeno helio en el viento solar es precisamente el del Sol y, por tanto, han dado razón a la hipótesis hidrodinámica del origen del viento solar.

En estos ejemplos sacados de la física del viento solar vemos que las experiencias con vehículos espaciales proporcionan los medios para emitir juicios críticos sobre hipótesis antagónicas. Retrospectivamente, vemos que ha habido astrónomos, como Biermann y Parker, que han acertado dando las razones adecuadas. Pero ha habido otros, igualmente brillantes, que no han estado de acuerdo con ellos y así hubiesen seguido, de no haberse llevado a cabo esas contundentes experiencias con vehículos espaciales. Lo interesante no es que hubiera hipótesis alternativas que ahora consideramos incorrectas, sino que, sobre la base de los poquísimos datos disponibles, *cualquiera* era lo suficientemente «capaz» como para apuntar la respuesta correcta —por inferencia, utilizando la intuición, la física y el sentido común.

Antes de las misiones Apollo, la capa más elevada de la superficie lunar podía examinarse con luz visible, infrarroja y mediante observaciones de radio, durante las lunaciones y los eclipses; se midió la polarización de la luz solar reflejada por la superficie lunar. A partir de esas observaciones, Thomas Gold, de la Universidad de Cornell, preparó una pasta oscura que, en el laboratorio, reproducía muy bien las propiedades observadas de la superficie lunar. Este «polvo de Gold» puede incluso comprarse por poco dinero a la Edmund Scientific Company. A simple vista, la comparación del polvo lunar recogido por los astronautas del Apollo con el polvo de Gold indica que son prácticamente indistinguibles. En cuanto a la distribución de partículas por tamaños y a las propiedades eléctricas y térmicas, son muy parecidos. Sin embargo, sus composiciones químicas son muy distintas. El polvo de Gold está básicamente formado por cemento Portland, carbón de leña y laca para el pelo. La Luna tiene una composición menos exótica. Pero las propiedades lunares observadas de que disponía Gold antes del Apollo no dependían de forma importante de la composición química de la superficie lunar. Fue *capaz* de deducir con precisión la fracción de las propiedades de la superficie lunar que correspondía a las observaciones de la Luna anteriores a 1969.



Del estudio de los datos de radio y radar de que disponemos, fuimos capaces de deducir la elevada temperatura superficial y las altas presiones superficiales de Venus antes de que la primera nave soviética Venera observara *in situ* la atmósfera y las Venera posteriores la superficie. De igual forma, se calculó con acierto la existencia de unas diferencias de elevación en Marte de hasta 20 kilómetros, aunque nos equivocamos al pensar que las áreas oscuras correspondían sistemáticamente a las grandes elevaciones del planeta.(\*)

--

(\*) En los capítulos 12, 16 y 17 de *The Cosmic Connection* he abordado estas inferencias acertadas y sus confirmaciones gracias a los vehículos espaciales.

--

Tal vez una de las confrontaciones más interesantes entre la inferencia astronómica y las observaciones desde vehículos espaciales la constituya el caso de la magnetosfera de Júpiter. En 1955, Kenneth Franklin y Bernard Burke estaban comprobando un radiotelescopio cercano a Washington D. C., que debía utilizarse para trazar el mapa de la emisión de radio galáctica a una frecuencia de 22 Hertz. En sus registros observaron una interferencia periódicamente recurrente que, en un principio, atribuyeron a alguna fuente convencional de ruido de radio —como si fuese un sistema de ignición defectuoso de algún tractor de las proximidades. Pero pronto se dieron cuenta de que la recurrencia de la interferencia se correspondía perfectamente con los tránsitos por encima del planeta Júpiter. Habían descubierto que Júpiter era una poderosa fuente de emisión de radio decamétrica.

Como consecuencia, se demostró que Júpiter también era una fuente brillante de longitudes de onda decimétricas. Pero el espectro resultaba muy peculiar. A una longitud de onda de varios centímetros, se detectaron temperaturas muy bajas, de unos 140° K —temperaturas comparables a las que no cubre Júpiter en longitudes de onda infrarroja. Pero en longitudes de onda decimétrica —hasta el metro— la temperatura de brillo aumentaba muy rápidamente con la longitud de onda, acercándose a los 100.000° K. Se trataba de una temperatura demasiado elevada para la emisión térmica —la radiación que emiten todos los objetos, simplemente por encontrarse a una temperatura por encima del cero absoluto.

En 1959, Frank Drake, del National Radio Astronomy Observatory por aquel entonces, propuso que ese espectro requería que Júpiter fuese una fuente de emisión sincrotrón —la radiación que emiten las partículas cargadas en la dirección del movimiento cuando se desplazan a velocidades cercanas a la de la luz. En la Tierra, los sincrotrones son aparatos muy útiles en física nuclear, utilizados para acelerar electrones y protones hasta velocidades muy elevadas; fue en ellos donde

se estudió la emisión sincrotrón por primera vez. La emisión sincrotrón está polarizada y el hecho de que la radiación decimétrica procedente de Júpiter también lo esté era un punto adicional en favor de la hipótesis de Drake. Éste sugirió que Júpiter estaba rodeado por un amplio cinturón de partículas relativistas parecido al cinturón de radiación de Van Allen que rodea la Tierra, que acababa de ser descubierto por aquel entonces. Caso de ser así, la región de emisión decimétrica debería ser mucho mayor que el tamaño óptico de Júpiter. Pero los radiotelescopios convencionales disponen de resoluciones angulares inadecuadas para poner de manifiesto cualquier detalle de la amplitud de Júpiter. Sin embargo, un interferómetro de radio sí es capaz de alcanzar esa resolución. En la primavera de 1960, muy poco después de la sugerencia de Drake, V. Radhakrishnan y sus colegas del California Institute of Technology utilizaron un interferómetro compuesto por dos antenas de 90 pies de diámetro montadas sobre raíles y separables por una distancia máxima de un tercio de milla. Encontraron que la región de emisión decimétrica alrededor de Júpiter era considerablemente mayor que el disco óptico ordinario de Júpiter, confirmando así la propuesta de Frank Drake.

Posteriores observaciones por radiointerferometría de mayor resolución han puesto de manifiesto que Júpiter está flanqueado por dos «orejas» simétricas de emisión radio, presentando así la misma configuración general que los cinturones de radiación de Van Allen terrestres. Ha ido conformándose la idea de que en ambos planetas los electrones y los protones procedentes del viento solar son atrapados y acelerados por el campo magnético dipolar del planeta y se ven obligados a recorrer, en espiral, las líneas de fuerza magnética del planeta, oscilando de un polo magnético a otro. La región de emisión de radio alrededor de Júpiter se identifica con su magnetosfera. Cuanto más intenso es el campo magnético, más lejos del planeta se encuentra el límite del campo magnético. Además, comparando el espectro de radio observado con la teoría de la emisión sincrotrón, se obtiene la intensidad del campo magnético. Esta intensidad no puede especificarse con gran precisión, pero la mayoría de las determinaciones a través de la radioastronomía a finales de los años 60 y principios de los 70 daban cifras entre los 5 y los 30 gauss, de unas diez a sesenta veces la intensidad magnética superficial de la Tierra en el Ecuador.

Radhakrishnan y sus colaboradores encontraron también que la polarización de las ondas decimétricas procedentes de Júpiter variaban con regularidad a medida que el planeta gira, como si los cinturones de radiación jovianos se balanceasen con respecto a la línea de visión. Propusieron que se debía a un desfase de 9 grados entre el eje de rotación y el eje magnético del planeta —no excesivamente distinto del desplazamiento entre el polo norte geográfico y el polo norte magnético terrestre. Estudios posteriores de las emisiones decimétrica y decamétrica, llevados a cabo por James Warwick, de la Universidad de Colorado, y otros, sugieren que el eje magnético de Júpiter está desplazado una pequeña fracción de radio joviano respecto al eje de rotación, bastante distinta del caso de la Tierra, donde ambos ejes se cortan en el centro de la Tierra. También se sacó la conclusión de que el polo sur magnético de Júpiter se encontraba en el hemisferio norte; es decir, una brújula apuntaría en Júpiter hacia el sur. Esta sugerencia no tiene nada de raro. El campo magnético de la Tierra ha invertido su dirección varias veces a lo largo de su historia y sólo por definición el polo norte magnético se encuentra en el hemisferio norte terrestre en los momentos actuales. A partir de la intensidad de las emisiones decimétrica y decamétrica, los astrónomos también han calculado cuáles deben ser los valores de las energías y los flujos de electrones y protones en la magnetosfera de Júpiter.

Es una exposición muy rica en conclusiones. Pero todas ellas se obtienen por inferencia. Toda la elaborada superestructura fue sometida a una comprobación definitiva el 3 de diciembre de 1973, cuando la nave Pioneer 10 atravesó la magnetosfera joviana. A bordo de la nave había magnetómetros que midieron la intensidad y la dirección del campo magnético en distintas posiciones de la magnetosfera; también había una gran variedad de detectores de partículas cargadas, que midieron las energías y los flujos de los electrones y protones atrapados. Fue sorprendente que prácticamente todas las inferencias radioastronómicas fueran confirmadas por el Pioneer 10 y su vehículo sucesor, el Pioneer 11. El campo magnético superficial en el ecuador de Júpiter es de unos 6 gauss, y es mayor en los polos. La inclinación del eje magnético respecto al eje de rotación es de unos 10 grados. Puede decirse que el eje magnético está aparentemente desplazado un cuarto de radio joviano respecto al centro del planeta. Mas allá de tres radios jovianos, el campo magnético es aproximadamente el de un dipolo; a distancias menores, resulta mucho más complejo de lo que se había pensado.

El flujo de partículas cargadas detectadas por el Pioneer 10 a lo largo de su trayectoria a través de la magnetosfera era considerablemente mayor de lo que se había anticipado —pero no lo suficientemente grande como para desactivar el vehículo. La supervivencia del Pioneer 10 y del Pioneer 11 en la magnetosfera joviana se debió más a la buena suerte y a la buena ingeniería de que disponían los vehículos que a la precisión de las teorías magnetosféricas anteriores.

En términos generales, la teoría sincrotrón de la emisión decimétrica procedente de Júpiter se ha visto confirmada. Resulta que todos esos radioastrónomos debían saber lo que estaban haciendo. Ahora podemos creer, con una mayor confianza que hasta entonces, en los resultados teóricos de la física sincrotrón y en los aplicados a otros objetos cósmicos, más

distantes y menos accesibles, como son los pulsars, quasars o los restos de supernova. De hecho, ahora pueden revisarse las teorías y mejorar su precisión. La radioastronomía teórica ha debido afrontar por primera vez una experiencia definitiva —y ha logrado superarla satisfactoriamente. De entre los descubrimientos importantes realizados por los Pioneer 10 y 11, creo que ése es su mayor triunfo: ha confirmado nuestra comprensión de una rama importante de la física cósmica.

Existen muchas cosas de la magnetosfera y las emisiones de radio jovianas que todavía no entendemos. Los detalles de las emisiones decamétricas siguen siendo muy misteriosos. ¿Por qué se localizan en Júpiter fuentes de emisión decamétrica cuyo tamaño no supera probablemente los 100 kilómetros? ¿Qué son esas fuentes de emisión? ¿Por qué las regiones de emisión decamétrica giran alrededor del planeta con una precisión temporal sorprendente —superior a siete cifras significativas—, pero a la vez distinta de los períodos de rotación de los elementos visibles en las nubes jovianas? ¿Por qué las erupciones decamétricas poseen una estructura fina y muy intrincada (por debajo de los milisegundos)? ¿Por qué las fuentes emiten la radiación decamétrica en haces; es decir, no emiten de la misma manera en todas direcciones? ¿Por qué son intermitentes las fuentes decamétricas; es decir, no están «encendidas» todo el tiempo?

Estas misteriosas propiedades de la emisión decamétrica de Júpiter recuerdan las propiedades de los pulsars. Los pulsars típicos poseen campos magnéticos un millón de millones de veces más intensos que en Júpiter; giran 100.000 veces más deprisa; su duración es de una milésima de la vida de Júpiter, pero son mil veces más masivos. El límite de la magnetosfera de Júpiter se desplaza a menos de una milésima de la velocidad del cono de luz de un pulsar. Sin embargo, entra dentro de lo posible que Júpiter sea un pulsar que no consiguió serlo, un modelo local y bastante poco simpático de estrella de neutrones en rotación rápida, que es uno de los productos finales de la evolución estelar. De la observación, mediante vehículos de aproximación, de la emisión decamétrica de Júpiter —por ejemplo, con las misiones Voyager y Galileo de la NASA— podremos deducir conocimientos importantes acerca de los problemas todavía confusos de los mecanismos de la emisión pulsar y de las geometrías de la magnetosfera.

La astrofísica experimental se está desarrollando rápidamente. Dentro de unas pocas décadas como máximo podremos disponer de investigación experimental directa del medio interestelar: se considera que la heliopausa —el límite entre la región dominada por el viento solar y la dominada por el plasma interestelar— se sitúa a no mucho menos de 100 unidades astronómicas (9.300 millones de millas) de la Tierra. (Ahora si sólo tuviésemos en nuestro sistema solar un quasar local y un agujero negro doméstico —nada importante, sólo unos pequeños ejemplares— podríamos comprobar con mediciones *in situ* desde vehículos espaciales el cuerpo principal de la moderna especulación astrofísica.)

De la experiencia pasada puede deducirse que, tras cada misión astrofísica con naves espaciales, se encontrará que a) una gran escuela de astrofísicos había acertado plenamente; b) nadie se había puesto de acuerdo, hasta que los resultados de los vehículos espaciales hubiesen regresado, en qué escuela ; tenía razón; y c) los resultados de los vehículos espaciales pusieron de manifiesto un nuevo cuerpo de problemas fundamentales todavía más fascinantes.

## 20. EN DEFENSA DE LOS ROBOTS

*¡Te presentas en forma tan sugestiva, que quiero hablarte!*

WILLIAM SHAKESPEARE, *Hamlet*, acto I, escena 4

La palabra «robot» fue utilizada por primera vez por el escritor checo Karel Capek; proceden de la raíz eslava de «trabajador». Pero significa máquina trabajadora y no ser humano trabajador. Los robots, especialmente los robots en el espacio, han sido a menudo objeto de comentarios despectivos en la prensa. Así, leemos que se necesitaba un ser humano para llevar a cabo los últimos ajustes antes de la toma de tierra del Apollo 11 y que sin él el primer alunizaje tripulado habría acabado en un desastre; que un robot móvil colocado en la superficie marciana nunca podía ser tan capaz como un astronauta a la hora de seleccionar muestras que posteriormente examinarían geólogos terrestres; y que las máquinas nunca hubiesen podido reparar, como lo hicieron los hombres, el parasol del Skylab, tan definitivo para la continuidad de la misión Skylab.

Pero esas comparaciones las han formulado, como es natural, seres humanos. Me pregunto si en esos juicios no se ha deslizado algún elemento de autosuficiencia, una bocanada de chauvinismo humano. Así como los blancos hacen gala, en algunas ocasiones, de un cierto racismo y los hombres, a menudo, de sexismo, me pregunto si aquí no se deja entrever alguna miseria del espíritu humano comparable —enfermedad que todavía no tiene nombre. La palabra «antropocentrismo» no significa exactamente lo mismo. La palabra «humanismo» se refiere a otras actividades más benignas de nuestra especie. Por analogía con sexismo y racismo, he de suponer que el nombre de esta enfermedad es «especiismo» —el prejuicio según el cual no existen seres tan perfectos, tan capaces, tan dignos de confianza como los seres humanos.

Se trata de un prejuicio ya que, por lo menos, se juzga con anterioridad, se sacan conclusiones antes de disponer de todos los hechos. Estas comparaciones entre hombres y máquinas en el espacio giran siempre en torno a comparaciones entre hombres listos y máquinas tontas. No nos hemos preguntado qué tipo de máquinas podían construirse con los 30 mil millones de dólares aproximadamente que costaban las misiones Apollo y Skylab.

Cada ser humano es una computadora autodesplazable, soberbiamente construida, sorprendentemente compacta, capaz en su momento de tomar decisiones independientes y de controlar verdaderamente su entorno. Y, como suele decirse, estas computadoras pueden construirse con un trabajo no especializado. Pero existen serias limitaciones para la utilización de seres humanos en ciertos entornos. Sin una gran protección, los seres humanos se encontrarían muy incómodos en el fondo del océano, o sobre la superficie de Venus, o en el interior de Júpiter o incluso en misiones espaciales de muy larga duración. Tal vez los únicos resultados interesantes de la misión Skylab, que no hubiese podido obtenerse a través de las máquinas, es que los seres humanos que se pasan meses en el espacio experimentan una pérdida importante de calcio y fósforo óseos —lo cual parece indicar que los seres humanos pueden estar incapacitados a 0 g para misiones de seis o nueve meses o más. Pero los viajes interplanetarios mínimos tienen tiempos característicos de un año o dos. Como valoramos en tan alto grado a los seres humanos, somos reacios a enviarlos a misiones arriesgadas. Si enviamos seres humanos a entornos exóticos, tendremos que enviar con ellos su comida, su aire, su agua, equipaje para su ocio y reciclaje para sus restos, y compañía. Comparativamente, las máquinas no necesitan complicados sistemas de apoyo, ni entretenimiento, ni compañía, y todavía no sentimos fuertes reparos éticos por mandar máquinas en misiones sólo de ida o en misiones suicidas.

En misiones sencillas, las máquinas han demostrado verdaderamente, y en muchas ocasiones, su capacidad. Vehículos no tripulados han fotografiado por primera vez toda la Tierra y el lado oculto de la Luna; se han posado por primera vez en la Luna, en Marte y en Venus; han hecho el primer reconocimiento orbital completo de otro planeta, en las misiones Mariner 9 y Viking a Marte. Aquí en la Tierra cada vez es más frecuente que la producción de alta tecnología —por ejemplo, en la industria química y farmacéutica— se realice parcial o totalmente bajo control por computadora. En todas esas actividades, las máquinas son capaces, hasta cierto punto, de detectar errores, de corregirlos, de avisar a los controladores humanos situados a gran distancia sobre los problemas detectados.

Es bien conocida la tremenda capacidad de las máquinas computadoras en el terreno de la aritmética —consiguen velocidades miles de millones de veces superiores a las de los seres humanos no ayudados. Pero, ¿cuáles son las cosas verdaderamente difíciles? ¿Son acaso las máquinas capaces de pensar, de alguna manera, un nuevo problema? ¿Son capaces de llevar a cabo discusiones según algún árbol de contingencias que consideramos característico de los seres humanos? (Es decir, hago la Pregunta 1; si la respuesta es A hago la Pregunta 2; pero si la respuesta es B, hago la Pregunta 3; y así sucesivamente.) Hace algunas décadas, el matemático inglés A. M. Turing describía lo que para él era necesario para poder creer en la inteligencia de las máquinas. La condición era simplemente la de poder establecer comunicación por teletipo con una máquina y la de ser incapaz de decir que no se trataba de un ser humano. Turing imaginó una conversación de la siguiente guisa entre un hombre y una máquina:

PREGUNTA: En la primera línea de tu soneto dice «¿Debo compararle con un día de verano?». ¿No iría igual, o mejor, poner «un día de primavera»?

RESPUESTA : No rimaría.

PREGUNTA: ¿Y poner «un día de invierno»? Entonces rimaría perfectamente.

RESPUESTA: Sí, pero a nadie le gustaría ser comparado con un día de invierno.

PREGUNTA: ¿Podría decirse que Mr. Pickwick le recuerda la Navidad?

RESPUESTA: En cierto sentido.

PREGUNTA: Sin embargo, Navidad es un día de invierno y no creo que a Mr. Pickwick le importase la comparación.

RESPUESTA: No creo que lo diga en serio. Por un día de invierno se entiende un día de invierno típico y no un día especial como es Navidad.

No se ha construido ninguna máquina de esa sofisticación, aunque no estoy muy seguro de cuántos seres humanos pasarían con éxito el test humano de Turing. Pero la cantidad de dinero y de esfuerzo que se ha volcado sobre la inteligencia artificial ha sido bastante limitado y sólo existe una media docena de centros importantes dedicados a ello en todo el mundo. Uno de los resultados más sorprendentes obtenidos en un universo de discurso muy limitado —el de los bloques de los niños— procede del trabajo de Terry Winograd, entonces en el Massachusetts Institute of Technology. Se trata de un diálogo entre un hombre y una máquina que había sido programada por Winograd:

PREGUNTA: ¿Qué contiene la caja?

RESPUESTA: La pirámide azul y la caja azul.

PREGUNTA: ¿Cuántos bloques hay en la caja?

RESPUESTA: Hay cuatro.

PREGUNTA: ¿Es uno de ellos, por lo menos, más estrecho que el que te dije que cogieses?

RESPUESTA: Sí, el cubo rojo.

PREGUNTA: ¿Hay algún campanario?

RESPUESTA: Lo siento, no conozco la palabra «campanario».

PREGUNTA: Un campanario es una pila con dos cubos verdes y una pirámide, por ejemplo.

RESPUESTA: Comprendo.

PREGUNTA: ¿Hay algún campanario ahora?

RESPUESTA: No.

PREGUNTA: Construye uno.

La máquina lo hace. Pone en movimiento su brazo mecánico, mueve los cubos y construye la estructura que acaba de describirsele.

PREGUNTA: ¿Cuándo cogiste la pirámide?

RESPUESTA: Mientras estaba apilando el cubo rojo, el bloque rojo grande y el cubo verde grande.

PREGUNTA: ¿Por qué?

RESPUESTA : Para desembarazarme de él.

PREGUNTA: ¿Por qué sacaste el cubo?

RESPUESTA: Para ponerlo sobre el cubo verde grande.

A modo de otro ejemplo, citaremos la máquina psiquiatra puesta a punto por Joseph Weizenbaum, también en el MIT. Se trata de un programa mucho más sencillo que el de Winograd, ya que en él sólo interviene la psicoterapia no directiva, para lo cual, en términos generales, se requieren programas mucho más sencillos de computadora. Veamos un sorprendente diálogo entre un ser humano y una computadora psicoterapeuta. (Hay un efecto de selección en este caso, ya que muchos otros diálogos psiquiátricos máquina/hombre no son, ni con mucho, tan sorprendentes. Pero supongo que la mayoría de los diálogos psiquiátricos máquina/hombre tampoco son muy sorprendentes.) En esta interacción, para dejar bien claros los papeles respectivos del facultativo y del paciente, conviene decir que éste escribe en minúsculas mientras que el facultativo lo hace con mayúsculas:

los hombres son todos iguales

### **EN QUÉ SENTIDO**

siempre nos están molestando por alguna cosa

### **PUEDE CITAR ALGÚN EJEMPLO ESPECÍFICO**

bien, mi novio me hizo venir aquí

### **SU NOVIO LA HIZO VENIR AQUÍ**

advirtió que estaba deprimida la mayoría del tiempo

**ME DISGUSTA OÍR QUE ESTÁ DEPRIMIDA**

él tiene razón, no soy feliz

**CREE USTED QUE AL VENIR AQUÍ DEJARÁ DE NO SER FELIZ**

necesito una ayuda, eso es lo único claro

**QUÉ SIGNIFICARÍA PARA USTED RECIBIR UNA AYUDA**

tal vez pudiese aprender a llevarme bien con mi madre

**DÍGAME MÁS COSAS DE SU FAMILIA**

mi madre se preocupa por mí

**ALGUIEN MÁS DE SU FAMILIA SE PREOCUPA POR USTED**

mi padre

**SU PADRE**

en algunos aspectos, usted es como mi padre

**QUÉ PARECIDO ENCUENTRA**

no es muy agresivo, pero no creo que sea eso lo que quiera escuchar

**QUÉ LE HACE PENSAR QUE NO SOY MUY AGRESIVO**

no discute conmigo

**POR QUÉ CREE QUE NO DISCUTO CON USTED**

me tiene miedo

**LE AGRADA PENSAR QUE TENGO MIEDO DE USTED**

es a mi padre a quien le agrada pensar que tengo miedo de él

**QUE MÁS LE VIENE A LA CABEZA AL PENSAR EN SU PADRE**

magnífico

**TIENE ESO ALGO QUE VER CON EL HECHO DE QUE SU NOVIO LE HA HECHO VENIR AQUÍ**

Evidentemente, estas respuestas sorprendentes —podría incluso calificarlas de «perceptivas»— por parte de la computadora están programadas de antemano. Pero también lo están las respuestas de los psicoterapeutas humanos. En una época en la que es cada vez mayor el número de personas de nuestra sociedad que necesitan ayuda psiquiátrica y en la que se utilizan las computadoras a tiempo compartido, puede imaginarse toda una red de terminales de computadoras psicoterapéuticas, algo así como hileras de cabinas telefónicas desde las que, por unos cuantos dólares por sesión, se podrá hablar con un psicoterapeuta atento, experimentado y fundamentalmente no directivo. Asegurar el carácter confidencial del diálogo psiquiátrico es uno de los temas principales en los que habrá que trabajar.

Otro exponente de los logros intelectuales de las máquinas está en los juegos. Algunas

computadoras extraordinariamente sencillas —las que pueden construir niños espabilados de diez años— pueden incluso programarse para algunos juegos de críos. Con algunas computadoras se puede jugar a las damas al más alto nivel. Es evidente que el ajedrez es un juego mucho más complicado que los mencionados hasta ahora. En este caso, programar una máquina para ganar es más difícil todavía, habiéndose utilizado nuevas estrategias; incluso se han llevado a cabo intentos, con bastante éxito, para que una computadora aprenda de su propia experiencia acumulada en partidas de ajedrez previas. Las computadoras pueden aprender, por ejemplo, empíricamente la regla que hay que seguir al principio de la partida para poder controlar el centro del tablero y no la periferia. Los diez mejores jugadores de ajedrez del mundo todavía no tienen nada que temer de cualquier computadora existente. Pero la situación está cambiando. No hace mucho, una computadora logró clasificarse para el Torneo Abierto de Ajedrez del Estado de Minnesota. Puede que se trate de la primera vez que un no humano ha podido participar en una competición deportiva de alto nivel en el planeta Tierra (y no puedo dejar de pensar en la posibilidad de que en la próxima década conozcamos algún robot golfista o bateador de béisbol, por no mencionar a ningún delfín de las carreras de natación). La computadora no ganó el Torneo Abierto de Ajedrez, pero por primera vez en la historia logró clasificarse para entrar en el campeonato. Las computadoras ajedrecísticas están mejorando muy rápidamente.

He oído hablar despectivamente de las máquinas (a veces incluso con un claro suspiro de alivio), por el hecho de que el ajedrez es un campo en el que los seres humanos todavía son superiores. Me recuerda mucho un conocido chiste en el que un extranjero queda pasmado ante la capacidad de un perro de jugar a las damas. El propietario de éste responde: «Bueno, no hay para tanto. Pierde dos partidas de cada tres». Una máquina capaz de jugar al ajedrez con resultados de tipo medio es una máquina muy capaz; incluso si hay miles de jugadores humanos mejores, hay millones que son peores. El juego del ajedrez requiere estrategia, perspicacia, capacidad de análisis y la habilidad de manejar una gran cantidad de variables, así como de aprender de la experiencia. Son cualidades excelentes en aquellas personas cuyo trabajo consiste en descubrir y explorar, así como en aquéllas en las que éste consiste en mirar al bebé o sacar a pasear al perro.

Con esta serie de ejemplos, más o menos representativos del nivel de desarrollo de la inteligencia de las máquinas, creo que queda claro que un gran esfuerzo, a lo largo de los próximos diez años, ha de traducirse en ejemplos mucho más sofisticados. Ésa es la opinión de la mayoría de los que trabajan con la inteligencia mecánica.

Al considerar la nueva generación de máquinas inteligentes, conviene distinguir entre robots autocontrolados y robots con control remoto. Un robot autocontrolado dispone de su inteligencia en su interior; un robot con control remoto dispone de ella en algún otro lugar y su eficacia depende de su buena comunicación con la computadora central. Evidentemente, también se dan casos intermedios en los que la máquina está parcialmente autoactivada y parcialmente dirigida por control remoto. Parece ser que esta mezcla de control remoto e *in situ* es la que ofrecerá, en un futuro próximo, una mayor eficacia.

Por ejemplo, se puede pensar en una máquina para la minería de los fondos marinos. Existen enormes cantidades de bolsas de manganeso desparramadas por las profundidades abisales. En un tiempo se creyó que habían sido producidos por la caída de meteoritos sobre la Tierra, pero en la actualidad se cree que se formaron en las gigantescas fuentes de manganeso a que ha dado lugar la actividad tectónica interna de la Tierra. En los fondos oceánicos podrían encontrarse muchos otros minerales escasos y valiosos para la industria. Hoy estamos en condiciones de diseñar aparatos capaces de navegar por encima del fondo o de arrestarse sobre él de forma sistemática; capaces de llevar a cabo exámenes espectroscopios y otros exámenes químicos de los materiales de la superficie; capaces de enviar automáticamente por radio al barco o a tierra los resultados de sus hallazgos; y capaces de determinar la magnitud de depósitos especialmente valiosos —por ejemplo, mediante mecanismos de radio a baja frecuencia. La guía por radio conducirá entonces grandes máquinas extractoras a los lugares adecuados. El estado actual del desarrollo de sumergibles a grandes profundidades y de sensores ambientales para vehículos espaciales



es del todo compatible con la construcción de esos tipos de máquinas. Lo mismo podría decirse de la perforación de pozos de petróleo en alta mar, de la minería del carbón y de otros minerales subterráneos, y así sucesivamente. Los beneficios económicos previsibles que reporten dichas máquinas no sólo amortizarán su construcción, sino el conjunto del programa espacial, en varias veces.

Cuando las máquinas deben afrontar situaciones especialmente difíciles, pueden programarse para reconocer aquellas situaciones que superen su capacidad y solicitar a los operadores humanos —a su vez en medios seguros y agradables— lo que tienen que hacer. Los ejemplos que acabamos de dar se refieren a máquinas básicamente autocontroladas. También es posible lo contrario y en este sentido se ha hecho un gran trabajo previo en el campo de la manipulación remota de sustancias altamente radiactivas en los laboratorios del Departamento de Energías de los EE.UU. A ese respecto, podemos imaginar la siguiente situación: un hombre conectado por radio a una máquina móvil. El operador se encuentra en Manila, por ejemplo, y la máquina en la fosa de Mindanao. El operador está conectado a una serie de relés electrónicos que transmiten y amplifican sus movimientos a la máquina y que pueden, al mismo tiempo, hacerle llegar lo que va descubriendo la máquina. Así, cuando el operador mueve su cabeza hacia la izquierda, las cámaras de televisión de la máquina giran hacia la izquierda y alrededor del operador aparece una gran pantalla hemisférica con la escena que descubren los focos y las cámaras de la máquina. Cuando el operador en Manila da unas zancadas hacia adelante, la máquina se mueve en las profundidades abisales unos pasos hacia adelante. Cuando el operador extiende su mano, el brazo mecánico de la máquina hace lo propio; y la precisión de la interacción hombre/máquina es tal que es posible lograr una precisa manipulación de los materiales del fondo oceánico mediante los dedos de la máquina. Con estas máquinas los seres humanos pueden penetrar en medios que siempre les han estado vedados.

En cuanto a la exploración de Marte, ya se han posado suavemente sobre ese planeta vehículos no tripulados y dentro de poco podrán vagar sobre la superficie del Planeta Rojo, de la misma manera que lo hacen ahora sobre la Luna. No estamos preparados todavía para una misión tripulada a Marte. A algunos de nosotros nos preocupan estas misiones, debido al peligro de llevar microbios terrestres a Marte o de traer microbios marcianos, si es que existen, a la Tierra, pero también debido al enorme gasto que suponen. Los Viking que llegaron a Marte en el verano de 1976 depositaron sobre su superficie una serie de sensores y aparatos científicos, que suponen la extensión de los sentidos humanos a un entorno adverso.

El aparato que debe seguir al Viking en la exploración marciana y que debe sacar partido de la tecnología Viking es evidentemente un vehículo móvil Viking en el que el equivalente de un vehículo espacial completo Viking, aunque con una tecnología mejorada, se ponga sobre ruedas o sobre cadenas y permita desplazarse lentamente por el paisaje marciano. Pero nos encontramos ante un nuevo problema, uno que nunca había surgido al operar con máquinas en la superficie de la Tierra. Aun siendo Marte el segundo planeta más próximo a nosotros, está tan lejos de la Tierra que el tiempo que tarda la luz en llegar ya es importante. Estando la Tierra y Marte en posiciones relativas típicas, la distancia es de unos 20 minutos luz. Así, si el vehículo móvil tiene que superar una inclinación muy pronunciada, enviaría una pregunta a la Tierra. Cuarenta minutos más tarde le llegaría la respuesta, diciendo algo así como: «Por lo que más quieras, estate quieto». Pero para entonces, como es obvio, una máquina poco sofisticada se habría hundido en la miseria. Por consiguiente, todo vehículo móvil marciano necesita sensores de inclinación y de desnivel. Afortunadamente, ya se han fabricado y se pueden encontrar incluso en algunos juguetes. Cuando el vehículo se encuentra ante una pendiente muy inclinada o una grieta enorme, o bien se para y espera las instrucciones desde la Tierra en respuesta a su petición (y da imágenes televisivas del terreno), o bien da marcha atrás e inicia un recorrido distinto y más seguro.

En las computadoras a bordo de los vehículos espaciales de la década del 80 podrán construirse circuitos mucho más elaborados de decisión ante contingencias. Para objetivos más remotos, que serán explorados en un futuro más alejado, puede pensarse en

controladores humanos, en órbita alrededor del planeta objeto de estudio, o en cualquiera de sus lunas. En la exploración de Júpiter, por ejemplo, me imagino a los operadores situados en alguna pequeña luna exterior a los intensos cinturones de radiación jovianos, controlando, sólo con unos segundos de retraso, las respuestas de un vehículo espacial que navegue por las densas nubes jovianas.

Los seres humanos también pueden estar en una interacción de ese tipo, si están dispuestos a dedicar tiempo a ello. Si cualquier decisión en la exploración marciana debe proceder de un controlador humano situado en la Tierra, el vehículo móvil sólo puede desplazarse a unos pocos pies por hora. Pero las escalas de tiempo de dichos vehículos son tan largas que unos pies por hora representan una velocidad de progreso perfectamente respetable. Sin embargo, si pensamos en expediciones a los confines del sistema solar —y, en última instancia, a las estrellas— aparecerá más claro que la inteligencia de máquinas autocontroladas irá adquiriendo una responsabilidad cada vez mayor.

En el desarrollo de esas máquinas puede apreciarse una especie de evolución convergente. El Viking, en cierto sentido, es un insecto de grandes dimensiones, torpemente construido. Todavía no es ambulante y, evidentemente, es incapaz de auto-reproducirse. Pero dispone de un exoesqueleto, tiene una gran variedad de órganos sensoriales parecidos a los de un insecto y tiene la inteligencia de una libélula. Pero el Viking presenta una ventaja sobre los insectos: puede asumir, en algunas ocasiones, cuando se pone en contacto con sus controladores en la Tierra, la inteligencia de un ser humano —los controladores tienen la facultad de reprogramar la computadora del Viking sobre la base de las decisiones que toman.

A medida que avance la inteligencia mecánica y que los objetos distantes del sistema solar se hagan accesibles a la exploración, asistiremos al desarrollo de computadoras de a bordo cada vez más sofisticadas, que irán escalando lentamente el árbol filogenético, desde la inteligencia del insecto a la del cocodrilo y de ella a la de una ardilla, hasta la inteligencia de un perro, en un futuro, a mi entender, no muy remoto. Cualquier vuelo al sistema solar exterior debe disponer de una computadora capaz de determinar si trabaja correctamente. No se tendrá la posibilidad de ir a la Tierra a por alguien que la repare. La máquina tiene que ser capaz de notar cuándo está enferma y de convertirse en un médico competente de su propia enfermedad. Se necesita una computadora que pueda arreglar o cambiar componentes estructurales o de sensores que hayan dejado de funcionar en la computadora. Una computadora de esas características, que ha sido bautizada con el nombre de STAR (self-testing and repairing computer), está a punto de construirse. Utiliza componentes redundantes, como lo hace la biología —tenemos dos pulmones y dos riñones, en parte como protección ante una falla en el funcionamiento de cualquiera de ellos. Pero una computadora puede ser mucho más redundante que un ser humano, el cual dispone, por ejemplo, de una única cabeza y un único corazón.

Dada la exigencia en cuanto al peso que caracteriza la navegación espacial de larga distancia, se producirán presiones importantes con el fin de proseguir la miniaturización de las máquinas inteligentes. Es evidente que ya se han dado pasos importantes en ese sentido: los tubos de vacío han sido sustituidos por transistores, los circuitos con cables por los paneles de circuitos impresos y sistemas enteros de computadoras por microcircuitos de borde silíceo. En la actualidad, un circuito que llenaba un aparato de radio de 1930 puede grabarse en la cabeza de un alfiler. Prosiguiendo el desarrollo de máquinas inteligentes para su utilización en minería terrestre y exploración espacial, no tardará mucho en llegar la época en que puedan construirse industrialmente robots de uso casero. A diferencia de los robots antropomorfos que ha hecho clásicos la ciencia ficción, no parece haber ninguna razón para que esas máquinas se parezcan a un ser humano más de lo que se parece una aspiradora. Se especializarán basándose en sus funciones. Pero existen muchas tareas comunes, desde despachar bebidas hasta limpiar suelos, que requieren capacidades intelectuales muy limitadas, aunque sí una buena dosis de resistencia y paciencia. Los robots domésticos ambulantes para todo uso, capaces de realizar todas las tareas domésticas con la misma efectividad que lo haría un mayordomo inglés del siglo XIX,

posiblemente tarden bastantes décadas en llegar. Pero las máquinas más especializadas, cada una de ellas adaptada a una tarea doméstica concreta, aparecen ya en el horizonte.

Cabe dentro de lo posible imaginar muchas otras tareas cívicas y funciones esenciales de la vida cotidiana llevadas a cabo por máquinas inteligentes. A principios de los años 70, los basureros de Anchorage, Alaska, y también los de otras ciudades, lograron unos incrementos salariales que les garantizaban un sueldo de 20.000 dólares anuales. Es posible que las presiones económicas por sí solas induzcan el desarrollo de máquinas automáticas recogedoras de basura. Para que el desarrollo de robots domésticos y cívicos se convierta en un bien público general, será necesario, como es lógico, procurar a los seres humanos desplazados por los robots un trabajo alternativo; pero si el proceso dura toda una generación, no ha de suponer dificultades excesivas, especialmente si viene acompañado de reformas educativas. Los seres humanos disfrutan aprendiendo.

Parece ser que nos encontramos al borde del desarrollo de una profusa variedad de máquinas inteligentes capaces de realizar tareas demasiado peligrosas, demasiado costosas, demasiado onerosas o demasiado aburridas para los seres humanos. El desarrollo de esas máquinas es, en mi opinión, uno de los pocos subproductos legítimos del programa espacial. La explotación eficaz de la energía en la agricultura —de la que depende nuestra supervivencia en tanto que especie— puede que incluso sea contingente con el desarrollo de tales máquinas. El obstáculo principal parece ser un problema muy humano, el sentimiento silencioso que aparece furtiva y espontáneamente, según el cual hay algo misterioso o «inhumano» en las máquinas que realizan ciertas tareas tan bien o mejor que los seres humanos; o un sentimiento de aversión hacia las criaturas de silicio y germanio en lugar de proteínas y ácidos nucleicos. Pero en muchos aspectos nuestra supervivencia en tanto que especie depende de la superación de prejuicios primitivos como ése. En parte, nuestra adaptación a las máquinas inteligentes es una cuestión de aclimatación. Ya existen marcapasos cardíacos que pueden sentir el pulso del corazón humano; sólo cuando existe el menor indicio de fibrilación empieza el marcapasos a estimular el corazón. Es un tipo muy rebajado, pero muy útil, de inteligencia mecánica. No puedo concebir que el portador de un marcapasos pueda sentir reparos ante esa inteligencia. Creo que en un tiempo relativamente corto se producirá una muy parecida aceptación de las máquinas mucho más inteligentes y sofisticadas. No hay nada inhumano en la máquina inteligente; en realidad, se trata de una expresión más de la soberbia capacidad intelectual que hoy poseen solamente los seres humanos, de entre todos los seres de nuestro planeta.

## 21. PASADO Y FUTURO DE LA ASTRONOMÍA NORTEAMERICANA

Es poco lo que se ha hecho, escasamente un inicio; y, sin embargo, es mucho comparado con el vacío total de hace un siglo. Y nuestros conocimientos, como puede intuirse fácilmente, parecerán a su vez la ignorancia más supina a aquellos que vengan detrás de nosotros. Sin embargo, no cabe despreciarlos, pues a través de ellos nos acercamos a tientas hasta alcanzar la orilla de la vestidura del Altísimo.

AGNES M. CLERKE, *A Popular History of Astronomy*

(Adam and Charles Black, Londres, 1893)

El mundo ha cambiado desde 1899, pero hay pocos campos que hayan cambiado tanto —en el desarrollo de los conocimientos fundamentales y en el descubrimiento de nuevos fenómenos— como la astronomía. He aquí unos cuantos títulos de artículos recientes publicados en las revistas científicas *The Astrophysical Journal* e *Icarus*: «G240-72: una nueva enana blanca magnética con polarización poco frecuente», "Estabilidad estelar relativista: efectos del sistema elegido», «Detección de metilamina interestelar», "Una nueva lista de 52 estrellas degeneradas», «La edad de Alfa Centauri», «¿Tienen acompañantes colapsados los "runaways" OB?», «Efectos finitos de alcance nuclear sobre el "Bremsstrahlung" de pares de neutrinos en las estrellas de neutrones», «Radiación gravitatoria del colapso estelar», «Búsqueda de una componente cosmológica del fondo de rayos X blandos en la dirección de M31», «La fotoquímica de los hidrocarburos en la atmósfera de Titán», «El contenido de uranio, torio y potasio en las rocas de Venus, medido por el Venera 8», «Emisión radio de HCN desde el cometa Kohoutek», «Brillo de radio e imagen de altitud de una parte de Venus» y «Atlas fotográfico de las lunas de Marte a partir del Mariner 9». Nuestros antepasados habrían sacado algo de provecho de esos títulos, pero su reacción principal hubiese sido la incredulidad.

Cuando me pidieron que presidiese el Comité para el 75º aniversario de la Sociedad Astronómica de América en 1974, me pareció una buena oportunidad para ponerme al corriente del estado de nuestro tema a finales del siglo pasado. Me interesó saber dónde habíamos estado, dónde estamos ahora y, en la medida de lo posible, algo de adónde vamos. En 1897, el Observatorio Yerkes (por entonces contaba con el mayor telescopio del mundo) fue inaugurado oficialmente y con motivo de ello se celebró una reunión científica de astrónomos y astrofísicos. En 1898, tuvo lugar una segunda reunión en el Observatorio del Harvard College, y una tercera en el Observatorio Yerkes, en 1899, época en la que se fundó oficialmente lo que hoy es la Sociedad Astronómica de América.

La astronomía de 1897 a 1899 parece haber sido vigorosa, combativa, dominada por algunas personalidades bien definidas y ayudada por tiempos de publicación muy cortos. El tiempo medio entre la entrega y la publicación de artículos en *Astro-physical Journal (ApJ.)* durante esa época parece haber sido más breve que en *Astrophysical Journal Letters* hoy. El hecho de que una gran mayoría de los artículos procediese del Observatorio Yerkes, lugar donde se publicaba la revista, puede haber tenido que ver con esa rapidez. La inauguración del Observatorio Yerkes en Williams Bay, Wisconsin —en su frontispicio aparece el año 1895—, se retrasó más de un año debido al hundimiento del suelo, que a punto estuvo de matar al astrónomo E. E. Barnard. El incidente se menciona en *ApJ.* (6:149), pero no aparece ningún indicio de negligencia. Sin embargo, en la revista inglesa *Observatory* (20:393) se habla claramente de construcción negligente y de presuntos arreglos para encubrir a los responsables. También descubrimos en la misma página del *Observatory* que la ceremonia de inauguración se retrasó unas semanas para acomodarse al plan de viaje de Mr. Yerkes, el barón donante. En *Astrophysical Journal* se dice que «las ceremonias de inauguración tuvieron que posponerse desde el 1º de octubre de 1897», pero no se especifica la razón.

*Ap.J.* fue editado por George Ellery Hale, el director del Observatorio Yerkes, y por James E. Keeler, quien en 1898 fue nombrado director del Observatorio Lick, en Mount Hamilton (California). Sin embargo, *Ap.J.* debía estar dominado por Williams Bay, posiblemente porque el Observatorio Lick dominaba *Publications*, de la Sociedad Astronómica del Pacífico (*PASP*), por la misma época. En el volumen 5 de *Astrophysical Journal* no hay menos de trece fotografías del Observatorio Yerkes, incluida una de la central eléctrica. Las primeras cincuenta páginas del volumen 6 cuentan con otra docena más de fotografías del Observatorio Yerkes. La dominación del Este en la Sociedad Astronómica de América también se refleja en el hecho de que el primer presidente de la Sociedad Astrofísica y Astronómica de América fue Simon Newcomb, del Observatorio Naval de Washington, y los primeros vicepresidentes, Young y Hale. Los astrónomos de la costa Oeste se quejaban de las dificultades que suponía desplazarse hasta Yerkes para la tercera conferencia de astrónomos y astrofísicos, y parecen haber hecho pública alguna manifestación de júbilo por el hecho de que las demostraciones previstas con el telescopio de refracción de 40 pulgadas de Yerkes tuvieran que posponerse debido al mal tiempo. Ése es el nivel máximo de rencor entre observatorios que puede encontrarse en cualquiera de las revistas.

Por aquella época, *Observatory* tenía un fino olfato para la murmuración astronómica. Por *Observatory* nos enteramos que en el Observatorio Lick se había declarado una "guerra civil" y que se desató un "escándalo" relacionado con Edward Holden (el director anterior a Keeler), de quien se dijo que había permitido la presencia de ratas en el agua potable de Mount Hamilton. También publicó una historia sobre una explosión química de prueba que estaba prevista en la zona de la Bahía de San Francisco y controlada desde un aparato sísmico situado en Mount Hamilton. En el momento indicado, nadie, excepto Holden, logró advertir algún tipo de deflexión de la aguja; rápidamente Holden envió un mensajero montaña abajo para hacer conocer al mundo la gran sensibilidad del sismógrafo de Lick. Pero muy pronto llegó a la cima de la montaña otro mensajero con la noticia de que había sido suspendida la prueba. Volvió a despacharse nuevamente otro mensajero para alcanzar al primero y, según las referencias de *Observatory*, la turbación del Observatorio Lick fue advertida por muy pocos.

La juventud de la astronomía norteamericana de ese período queda reflejada elocuentemente en el orgulloso anuncio de 1900 según el cual el Departamento de Astronomía de Berkeley se independizaba desde entonces del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de California. En un estudio realizado por el Profesor George Airy, que más tarde fue Astrónomo Real Británico, éste se lamentaba de ser incapaz de hablar de astronomía en América en 1832, básicamente porque no había nada. No hubiese podido decir lo mismo en 1899.

En estas revistas no aparecen prácticamente referencias a la intromisión de la política externa (en el sentido de no académica), excepto en el caso de la designación, por parte del Presidente McKinley, de T. J. J. See como profesor de matemáticas de la U.S. Navy y en una persistente frialdad en los debates científicos entre el personal del Observatorio Lick y el de los Observatorios de Postdam (Alemania).

También pueden advertirse algunos signos de las actitudes imperantes en los años de 1890. Por ejemplo, en la descripción de una expedición para observar un eclipse desde Siloam, Georgia, el 28 de mayo de 1900, se dice: «*Incluso algunos de los blancos carecían de un profundo conocimiento de las cosas relacionadas con un eclipse. Muchos creían que era un espectáculo para ganar dinero; una pregunta muy importante, y formulada con frecuencia, era la de cuánto dinero pensaba pedir en concepto de entrada. Otra idea era la de que el eclipse sólo podía observarse desde mi observatorio... Quiero expresar aquí mi consideración por el elevado tono moral de la comunidad ya que, con una población de sólo 100 personas, incluidos los alrededores, consta de 2 blancos y 2 iglesias de color y durante mi estancia no oí una sola palabra profana... En tanto que yanqui no sofisticado presente en el Sur, poco habituado a las formas de hacer sureñas, cometí algunos deslices que no fueron considerados como "exactamente la cosa". Las sonrisas que se dibujaban cuando anteponía la palabra "Mr." al nombre de mi ayudante de color hicieron que tuviese que cambiarla por la de "Coronel", que era de entera satisfacción para todo el mundo*».

Un conjunto de visitantes fue designado para resolver algunos problemas (nunca hechos públicos) relacionados con el Observatorio Naval de los Estados Unidos. El informe de ese grupo —compuesto por dos oscuros senadores y los profesores I. Edward, C. Pickering, George C. Comstock y Hale— es interesante, pues menciona cantidades de dólares. Encontramos que los costos anuales de mantenimiento de los principales observatorios del mundo eran: Observatorio Naval, 85.000 dólares; Observatorio de París, 53.000 dólares; Observatorio de Greenwich (Inglaterra), 49.000 dólares; Observatorio de Harvard, 46.000 dólares y Observatorio de Pulkovo (Rusia), 36.000 dólares. Los salarios de los dos directores del Observatorio Naval de los Estados Unidos eran de 4.000 dólares cada uno y en el Observatorio de Harvard de 5.000 dólares. El distinguido conjunto de visitantes recomendó que *«dentro de una planificación de salarios que previsiblemente atrajese a astrónomos de la clase deseada»*, el salario de los directores de los observatorios debería ser de 6.000 dólares. En el Observatorio Naval, los calculistas (exclusivamente humanos por entonces) percibían 1.200 dólares anuales, pero en el Observatorio de Harvard sólo 500 dólares anuales, y la mayoría eran mujeres. De hecho, todos los salarios de Harvard excepto el del director eran significativamente menores que los del Observatorio Naval. El comité afirmó: *«La gran diferencia de salarios entre Washington y Cambridge, especialmente en el caso de los funcionarios de menor grado, posiblemente sea insalvable. En parte, se debe a las Leyes del Servicio Civil»*. Un signo adicional de la inopia astronómica es el anuncio de un puesto de trabajo en Yerkes como «ayudante voluntario de investigación», sin remuneración prevista, pero, según el anuncio, capaz de proporcionar una buena experiencia a estudiantes con títulos superiores.

Entonces como ahora, la astronomía estaba acosada por los «aficionados a las paradojas», que siempre proponían ideas peregrinas o chifladas. Uno propuso un telescopio con noventa y una lentes en serie como alternativa a un telescopio con un número mayor de lentes de mayor apertura. Durante ese período, los británicos tuvieron una plaga similar, aunque quizás algo más moderada. Por ejemplo, una nota necrológica aparecida en *Monthly Notices*, de la Royal Astronomical Society (59:226), referente a Henry Perigal, nos informa que el finado habla celebrado su noventa y cuatro aniversario siendo admitido en la Institución Real, aunque habla sido elegido miembro adjunto de la Royal Astronomical Society en 1850. Sin embargo, *«nuestras publicaciones no recogen ningún artículo salido de su pluma»*. La nota describe *«la forma notable cómo el encanto de la personalidad de Mr. Perigal le hizo ganar un lugar que hubiera podido parecer inalcanzable para un hombre con sus puntos de vista; pues no cabe ocultar que era pura y simplemente un aficionado a la paradoja, ya que estaba profundamente convencido de que la Luna no giraba sobre sí misma, siendo su objetivo astronómico principal el convencer a los demás, especialmente a los jóvenes no endurecidos en la creencia contraria, de su grave error. A tal fin hizo diagramas, construyó modelos y escribió poemas, soportando con heroica entereza el continuo contratiempo de que nada de ello le sirviese de aval. Sin embargo, realizó un trabajo excelente al margen de su y desafortunada incompreensión»*.

El número de astrónomos norteamericanos durante ese período era muy pequeño. Las reglas de la Sociedad Astronómica y Astrofísica de América exigían para su constitución un quórum de veinte miembros. En el año 1900 sólo existían en los Estados Unidos nueve doctores en astronomía. En ese mismo año se otorgaron cuatro doctorados: dos en la Universidad de Columbia, G. N. Bauer y Carolyn Furness; uno en la Universidad de Chicago, Forest Ray Moulton; y uno en la Universidad de Princeton, Henry Morris Russell.

Una idea de lo que por entonces se consideraba un trabajo científico importante la pueden dar los premios que se otorgaban. E. E. Barnard recibió la Medalla de Oro de *la Royal Astronomical Society* en parte por el descubrimiento de la luna joviana Júpiter 5 y por sus fotografías astronómicas con una máquina de retratar. Sin embargo, el vapor que le conducía se vio envuelto en una tormenta en el Atlántico, no logrando llegar a tiempo para la ceremonia. Necesitó varios días para recuperarse de la tormenta, razón por la cual la hospitalidad de la RAS le ofreció una segunda cena. Al parecer, el discurso de Barnard debió ser espectacular, llegando a utilizar un medio audiovisual de reciente creación, el proyector de diapositivas.

A propósito de una de sus fotografías de la región de la Vía Láctea próxima a *Theta Ophiuchus*, puntualizó que «*todo el fondo de la Vía Láctea... presenta un substrato de materia nebulosa*» (mientras tanto, H. K. Palmer afirmaba no encontrar nebulosidad en sus fotografías del cúmulo globular M13). Barnard, que era un excelente observador visual, planteó serias dudas a la concepción de Percival Lowell de un planeta Marte habitado y repleto de canales. En la respuesta de agradecimiento a Barnard por su discurso, el presidente de la *Royal Astronomical Society*, sir Robert Ball, manifestó su inquietud por ello diciendo que, a partir de entonces, «*debería considerar los canales con cierta prevención y no sólo eso, también los mares (de Marte, las áreas oscuras) habían quedado parcialmente en entredicho. Tal vez las experiencias recientes en el Atlántico de nuestro invitado puedan explicar algo de esta desconfianza*». Las ideas de Lowell no encontraban entonces demasiado eco en Inglaterra, como se hacía saber también en *Observatory*. Respondiendo a una pregunta sobre los libros que más le habían gustado e interesado en 1896, el profesor Norman Lockyer respondió: «*Marte, de Percival Lowell y Sentimental Tommy, de J. M. Barrie (no requieren tiempo para leerlos con seriedad)*. »

Los premios de astronomía otorgados en 1898 por la *Academie Francaise* correspondieron a Seth Chandler, por el descubrimiento de la variación de la latitud; a Belopolsky, en parte por sus estudios sobre las estrellas binarias espectroscópicas; y a Schott, por su trabajo sobre el magnetismo terrestre. Hubo también un concurso en el que se premió el mejor tratado sobre «la teoría de las perturbaciones de Hiperión», una de las lunas de Saturno. Según las referencias, «*el único ensayo presentado fue el del Dr. G. W. Hill, de Washington, a quien le fue otorgado el premio*».

La Medalla Bruce de la Sociedad Astronómica del Pacífico fue otorgada al Dr. Arthur Auwers, de Berlín, en 1899. En el discurso con motivo de la concesión se decía lo siguiente: «*En la actualidad Auwers se sitúa a la cabeza de la astronomía alemana. Su persona plasma el tipo más completo de investigador de nuestro tiempo, posiblemente mejor desarrollado en Alemania que en cualquier otro país. El trabajo de hombres de este estilo se caracteriza por una investigación cuidadosa y concienzuda, una infatigable actividad en la acumulación de datos, prudencia al proponer nuevas teorías o explicaciones y, por encima de todo, la ausencia de todo esfuerzo por conseguir el reconocimiento de los demás, siendo el primero en llevar a cabo un descubrimiento*». En 1899, la Medalla de Oro Henry Draper de la Academia Nacional de Ciencias fue otorgada por primera vez en siete años. La obtuvo Keeler. En 1898, Brooks, cuyo observatorio se encontraba en Geneva, New York, anunció el descubrimiento de su vigésimo primer cometa —del que Brooks dijo que le permitía «alcanzar su mayoría de edad». Poco después le fue concedido el Premio Lalande de la *Academie Francaise* por su plusmarca de planetas descubiertos.

En 1897, a raíz de una importante exposición en Bruselas, el gobierno belga ofreció unos premios por la solución de varios problemas astronómicos. Entre esos problemas figuraba el del valor numérico de la aceleración producida por la gravedad en la Tierra, el de la aceleración secular de la Luna, el movimiento global del sistema solar a través del espacio, la variación de la latitud, la fotografía de las superficies planetarias y la naturaleza de los canales de Marte. Un último tema consistía en el invento de un método para la observación de la corona solar en ausencia de eclipse. *Monthly Notices* (20:145) comentaba: «*...si este premio en metálico induce a alguien a resolver este último problema o, de hecho, cualquiera de ellos, el dinero estará bien gastado*».

Sin embargo, al leer los artículos científicos de la época, da la impresión de que el foco de interés se había desplazado hacia otros temas distintos de los propuestos para los premios. Sir William y lady Huggins hicieron unas experiencias de laboratorio que indicaban que a presiones bajas el espectro de emisión del calcio presentaba sólo las rayas llamadas H y K. La conclusión que sacaron es la de que el Sol estaba compuesto principalmente por hidrógeno, helio, «coronio» y calcio. Huggins había establecido previamente una secuencia espectral de las estrellas, que consideraba evolutiva. La influencia de Darwin en las ciencias era muy intensa por aquella época y, entre los astrónomos norteamericanos, el trabajo de T. J. J. See estaba especialmente impregnado de una perspectiva darwiniana. Resulta

interesante comparar la secuencia espectral de Huggins con los tipos espectrales de Morgan-Keenan, utilizados en la actualidad:

Aquí puede verse el origen de los términos «inicial» y «final» referidos a los tipos espectrales, hecho que refleja el espíritu darwiniano de la ciencia de la última época victoriana. Queda claro que aquí se trata de una gradación de tipos espectrales y se sientan los inicios —posteriormente desarrollados a través del diagrama de Hertzsprung-Russell— de las modernas teorías de la evolución estelar.

#### SECUENCIA ESPECTRAL ESTELAR DE HUGGINS

<i>Orden de edad creciente</i>	<i>Estrella (y tipo espectral moderno entre paréntesis)</i>
Joven	Sirio (A1V)
	.....
	.....
	Altair (A7 IV-V)
	Rigel (B8Ia)
	Deneb (A2Ia)
	.....
	.....
	Capela (G8, G0)
	Arturo (K1 III)
Aldebarán (K5 III)	
Vieja	Betelgeuse (M2 I)

**Nota:** La secuencia espectral estelar moderna va desde tipos espectrales «iniciales» a «finales», como O, B, A, F, G, K, M. Huggins acertó casi plenamente.

Durante esa época se produjeron avances fundamentales en física, y los lectores de *ApJ* eran informados de ellos gracias a la reimpresión de resúmenes de artículos importantes. Las experiencias seguían realizándose conforme a las leyes básicas de la radiación. En algunos artículos, el nivel de elaboración física no era de gran calibre como, por ejemplo, en un artículo aparecido en *PASP* (11:18) en el que se calcula el momento lineal de Marte como el producto de la masa del planeta por la velocidad lineal de la superficie. Finalizaba diciendo que «el planeta, exceptuando el casquete, tiene un momento de 183 y 3/8 septillones de pies-libras». Evidentemente, la notación potencial de los grandes números no estaba muy difundida.

En esa misma época se publican las curvas de luz visuales y fotográficas de, por ejemplo, las estrellas de M5, así como los resultados de las experiencias con filtros fotográficos realizadas por Keeler con Orión. Un tema muy interesante era el de la evolución temporal en astronomía, que debió generar por aquel entonces tanto entusiasmo como lo producen hoy los púlsares, los quásares y las fuentes de rayos X. Se publicaron muchos estudios sobre las velocidades variables en la línea de visión, a partir de las cuales se dedujeron las órbitas de las binarias espectroscópicas, así como las variaciones periódicas de la velocidad aparente de *Omicron Ceti*, a partir del corrimiento Doppler de la raya H gamma y otras rayas espectrales.

Ernest F. Nichols hizo las primeras mediciones en infrarrojo de estrellas en el Observatorio Yerkes. En el estudio se concluye: «No recibimos de Arturo más calor del que nos



*proporcionaría una vela a una distancia de 5 ó 6 millas*». No se proporciona ningún otro cálculo. Las primeras observaciones experimentales de la opacidad infrarroja del anhídrido carbónico y del vapor de agua las realizaron en esa época Rubens y Aschkinass, quienes descubrieron básicamente la fundamental del anhídrido carbónico a 15 micras y el espectro de rotación puro del agua.

Existe una espectroscopía fotográfica preliminar de la Nebulosa de Andrómeda realizada por Julius Scheiner en Postdam, Alemania, de la que deduce correctamente que *«la sospecha previa de que las nebulosas espirales son cúmulos estelares se ha elevado al rango de certeza*». A modo de ejemplo del grado de crítica personal tolerado en ese tiempo, podría citarse el siguiente párrafo de un artículo de Scheiner en el que se critica a W. W. Campbell: *«En el número de noviembre del Astrophysical Journal, el profesor Campbell ataca, con gran indignación, algunas de mis observaciones críticas sobre sus descubrimientos... Esa sensibilidad es tanto más sorprendente cuanto que se da en alguien muy dado a censurar severamente a los demás. Es más, un astrónomo que observe con frecuencia fenómenos que otros no pueden ver, y es incapaz de ver aquellos que otros ven, debe mostrarse dispuesto a ver contestadas sus opiniones. Si, como se lamenta el profesor Campbell, he dado un único ejemplo para fundamentar mi opinión, es porque la cortesía me impedía añadir otro. A saber, que el profesor Campbell no puede percibir las rayas del vapor de agua del espectro de Marte que fueron observadas por Huggins y Vogel en primer lugar y, después de que Mr. Campbell pusiera en duda su existencia, fueron observadas e identificadas con plena certeza por el Profesor Wilsing y por mi mismo*». La cantidad de vapor de agua en la atmósfera marciana de la que hoy se tiene conocimiento hubiese sido imposible de detectar con los métodos espectroscópicos en uso en aquella época.

La espectroscopía constituía un elemento dominante en la ciencia de finales del siglo xix. Ap. J. iba publicando el espectro solar de Rowland, que abarcaba 20.000 longitudes de onda, cada una de ellas con siete cifras significativas. Publicó también una importante reseña necrológica de Bunsen. Da vez en cuando, los astrónomos quedaban maravillados ante la extraordinaria naturaleza de sus descubrimientos: *«Es sencillamente increíble que la débil luz centelleante de una estrella pueda ser tal que produzca ese registro autográfico de sustancia y condición del astro inconcebiblemente alejado*». Un tema importante de debate en *Astrophysical Journal* era el de si los espectros debían presentarse con el rojo a la izquierda o hacia la derecha. Los partidarios del rojo a la izquierda mencionaban la analogía del piano (en el que las frecuencias elevadas están a la derecha), pero Ap. J. optó resueltamente por el rojo a la derecha. Quedaba un cierto margen para llegar a un compromiso sobre si el rojo tenía que escribirse en la parte superior o en la inferior, en las listas de longitudes de onda. Los ánimos se encresparon y Huggins llegó a escribir que *«cualquier cambio... sería poco menos que intolerable*». Pero Ap. J. acabó imponiéndose.

Otra discusión importante de aquel período versaba sobre la naturaleza de las manchas solares. G. Johnstone Stoney propuso que se debían a una capa de nubes condensadas en la fotosfera del Sol. Pero Wilson y Fitz-Gerald pusieron la objeción de que no se podían concebir condensaciones a esas temperaturas tan elevadas, a menos que fuesen de carbono. En lugar de ello sugirieron, de forma muy vaga, que las manchas solares se debían a *«la reflexión por flujos convectivos de gas*». Evershed tuvo una idea más ingeniosa; era de la opinión de que las manchas solares eran agujeros en la fotosfera exterior del Sol, que nos permitían ver profundidades mayores y más calientes. Pero, ¿por qué son negras? Propuso que toda la radiación estaba corrida del espectro visible al ultravioleta inaccesible. Evidentemente, todo esto se discutía antes de que se entendiese la distribución de Planck de la radiación de un cuerpo caliente. En esa época no se creía imposible que las distribuciones espectrales de los cuerpos negros de distintas temperaturas se cruzasen entre sí; de hecho, algunas curvas experimentales de entonces ponían de manifiesto esa propiedad —producida, como sabemos ahora, por las diferencias en las capacidades de emisión y absorción.

Ramsay acababa de descubrir el elemento kriptón, del que se decía que presentaba catorce rayas espectrales detectables, una de ellas a 5570 angstroms, coincidente con *«la raya principal de la aurora*». E. B. Frost dedujo: *«Así, parece ser que el verdadero origen de la*

*hasta ahora perturbadora raya ha sido descubierto*». Más adelante quedó establecido que se debía al oxígeno.

Se publicaron muchos artículos sobre diseño de instrumentos, siendo uno de los más interesantes uno de Hale. En enero de 1897 sugirió que se necesitaban tanto los telescopios refractores como los reflectores, pero advertía que se estaba produciendo una cierta tendencia hacia los reflectores, en concreto hacia los telescopios coudé ecuatoriales. En una memoria histórica, Hale menciona que el Observatorio Yerkes disponía de una lente de 40 pulgadas por la sencilla razón de que un plan previo de construcción de un gran refractor cerca de Pasadena, California, había sido cancelado. Me pregunto cuál hubiese sido la historia de la astronomía caso de no haberse cancelado dicho plan. Resulta curioso, pero Pasadena parece haberse ofrecido a la Universidad de Chicago para situar allí el Observatorio Yerkes. Hubiese sido un gran viraje para 1897.

A finales del siglo XIX, los estudios acerca del sistema solar exhibían la misma mezcla de promesas futuras y confusión habitual que los trabajos relacionados con las estrellas. Uno de los artículos más sobresalientes de la época, debido a Henry Norris Russell, lleva por título «La atmósfera de Venus». Se trata de una discusión sobre la extensión de los cuernos de Venus creciente, basada parcialmente en las observaciones del propio autor con el telescopio *buscador* de 5 pulgadas del «gran ecuatorial» del Observatorio Halsted en Princeton. Tal vez el joven Russell no se encontraba todavía totalmente a sus anchas manejando telescopios mayores en Princeton. La esencia del análisis es correcta a la luz de los conocimientos actuales. Russell dedujo que la refracción de la luz solar no era la causante de la extensión de los cuernos y que la causa había que buscarla en la difusión de la luz solar: «...la atmósfera de Venus, como la nuestra, contiene en suspensión partículas de polvo o niebla de algún tipo y... lo que vemos es la parte superior de esa atmósfera brumosa, iluminada por los rayos que han pasado cerca de la superficie del planeta». Más adelante afirma que la superficie aparente puede ser una densa capa de nubes. La altura de la bruma se calcula en 1 km aproximadamente por encima de lo que ahora llamaríamos el estrato de nubes principal, un número que concuerda con la fotografía del limbo hecha por el vehículo espacial *Mariner 10*. Russell pensaba, basándose en los trabajos de los demás, que existían indicios espectroscópicos de la existencia de vapor de agua y oxígeno en la tenue atmósfera de Venus. Pero la esencia de su argumento ha resistido francamente bien los embates del tiempo.

William H. Pickering descubría Foebe, el satélite más exterior de Saturno, y Andrew E. Douglass, del Observatorio Lowell, publicaba sus observaciones de Júpiter 3, que le inducían a afirmar que éste gira sobre sí mismo en una hora menos que su período de revolución, conclusión incorrecta en una hora.

Otros que se dedicaron a determinar períodos de rotación no tuvieron tanto éxito. Por ejemplo, un tal Leo Brenner observaba desde el Observatorio Manora, en un lugar llamado Lussinpiccolo. Brenner criticó duramente la estimación efectuada por Percival Lowell del período de rotación de Venus. Brenner comparaba dos dibujos de Venus en luz blanca hechos por dos personas distintas con una diferencia de tiempo de cuatro años; de ahí dedujo un período de rotación de 23 horas, 57 minutos y 36,37728 segundos, período que se correspondía con el significado de sus dibujos «más precisos». Por eso Brenner consideraba incomprensible que alguien fuese todavía partidario del período de rotación de 224,7 días y deducía que «un observador con poca experiencia, un telescopio poco adecuado, un ocular mal escogido, el pequeñísimo diámetro del planeta, observado con una potencia insuficiente, y una declinación baja, todos estos factores explicaban los peculiares dibujos de Mr. Lowell». Como es evidente, la verdad no se encuentra entre los extremos de Lowell y Brenner, sino del otro lado de la escala, con un signo menos: un período retrógrado de 243 días.

En otra comunicación, herr Brenner afirma: «*Caballeros: Tengo el honor de informarles que la Sra. Manora ha descubierto una nueva división del sistema de anillos de Saturno*», de lo que deducimos que existe una cierta Sra. Manora en el Observatorio Manora en Lussinpiccolo y que lleva a cabo observaciones junto a herr Brenner. A continuación

describe la igual importancia de las divisiones de Encke, Cassini, Antoniadi, Struve y Manora. Tan solo las dos primeras han superado la prueba del tiempo. Herr Brenner parece haberse desvanecido con las nieblas del siglo xix.

En la segunda conferencia de astrónomos y astrofísicos celebrada en Cambridge se presentó un trabajo con la «sugerencia» de que la rotación de los asteroides, caso de darse, podía deducirse de una curva de luz. Pero no se pudo encontrar ninguna variación del brillo con el tiempo y Henry Parkhurst sentenció: «*Creo que se puede desechar tranquilamente la teoría*». En la actualidad, se considera piedra de toque de los estudios sobre asteroides.

En una discusión acerca de las propiedades térmicas de la Luna, realizada al margen de la ecuación unidimensional de la conducción térmica, basada en mediciones de laboratorio sobre la emisividad, Frank Very dedujo que una temperatura lunar típica de día es de unos 100° C, exactamente la respuesta acertada. Vale la pena citar textualmente: «*Sólo el más horrible de los desiertos terrestres donde la arena incandescente levanta ampollas en la piel y los hombres, los animales y los pájaros caen muertos, logra aproximarse a la superficie sin nubes de nuestro satélite a mediodía, solo las latitudes polares más extremas pueden tener una temperatura soportable de día y, ni que decir tiene, que tendríamos que convertirnos en trogloditas para resistir, de noche, el intensísimo frío*». Algunos estilos de exposición son muy particulares.

A principios de la década, Maurice Loewy y Pierre Puiseux, del Observatorio de París, habían publicado un atlas de fotografías lunares, cuyas consecuencias teóricas fueron discutidas en *Ap. J.* (5:51). El grupo de París propuso una nueva teoría volcánica sobre el origen de los cráteres lunares, arroyos y otras formas topográficas, teoría que posteriormente fue criticada por E. E. Barnard, después de haber examinado el planeta con el telescopio de 40 pulgadas. A su vez, Barnard fue criticado por la *Royal Astronomical Society*, y así sucesivamente. Uno de los argumentos de ese debate era de una simplicidad decepcionante: los volcanes producen agua; no hay agua en la Luna; por tanto, los cráteres lunares no son volcánicos. Aun cuando la mayoría de los cráteres lunares no son volcánicos, ese no es un argumento convincente, ya que pasa por alto la posibilidad de depósitos de agua. Las conclusiones de Very acerca de la temperatura de los polos lunares podrían haber servido para algo más. Allí, el agua se congela a partir de la escarcha. La otra posibilidad es que el agua pueda escaparse de la Luna y fluir hacia el espacio.

Este hecho fue reconocido por Stoney en un notable artículo titulado «De las atmósferas en planetas y satélites». Dedujo que no podía existir atmósfera en la Luna debido a la gran facilidad de escape de los gases al espacio, a causa de la baja gravedad lunar, ni cualquier construcción importante de los gases más ligeros, hidrógeno y helio, en la Tierra. Estaba convencido de que no existía vapor de agua en la atmósfera de Marte y de que ésta y los casquetes eran posiblemente de dióxido de carbono. Dedujo que cabría esperar hidrógeno y helio en Júpiter y que Tritón, la luna mayor de Neptuno, podía tener una atmósfera. Cada una de esas conclusiones está de acuerdo con los descubrimientos u opiniones actuales. También dedujo que Titán no debía tener aire, una predicción con la que están de acuerdo algunos teóricos modernos, aunque Titán parece tener otro punto de vista al respecto (ver capítulo 13).

A lo largo de ese período, se producen también algunas especulaciones más que sorprendentes, como la propuesta del Rev. J. M. Bacon en el sentido de que valdría la pena llevar a cabo observaciones astronómicas desde grandes altitudes, desde un globo libre, por ejemplo. Sugirió que, por lo menos, tendría dos ventajas: mejor visión y espectroscopía ultravioleta. Más adelante, Goddard propondría pruebas parecidas desde observatorios instalados en cohetes (capítulo 18).

Hermann Vogel había encontrado previamente, por espectroscopía ocular, una banda de absorción de 6183 Å en el cuerpo de Saturno. Posteriormente, la *International Color Photo Company* de Chicago obtuvo unas placas fotográficas de tanta calidad que en estrellas de magnitud cinco podían detectarse longitudes de onda tan largas como la raya H alfa en el rojo. La nueva emulsión se utilizó en Yerkes, y Hale explicó que no aparecía por ningún lado

la banda de 6183 Å en los anillos de Saturno. Hoy se sabe que la banda se encuentra a 6190 Å y se trata de la 6 vs del metano.

Otro tipo de reacción a los escritos de Percival Lowell aparece en el discurso de James Keeler en la inauguración del Observatorio Yerkes:

Es de lamentar que la habitabilidad de los planetas, tema sobre el que los astrónomos afirman no conocer demasiado, se haya elegido como motivo de inspiración del novelista, para quien la distancia entre habitabilidad y habitantes es muy pequeña. El resultado de esa ingenuidad es que lo real y lo ficticio quedan indisolublemente unidos en la mente del profano, quien aprende a considerar la comunicación con los habitantes de Marte como un proyecto que merece ser considerado seriamente (por el que incluso puede desear dar dinero a ciertas sociedades científicas), desconociendo que dicho proyecto es una extravagancia para los mismos hombres cuyo trabajo ha excitado la imaginación del novelista. Cuando [el profano] alcanza a comprender el verdadero estado de nuestros conocimientos en esos temas, queda muy desilusionado y con un cierto resentimiento hacia la ciencia, como si ésta le hubiese sido impuesta. La ciencia no es la responsable de esas ideas erróneas que, al no disponer de una base sólida, gradualmente van desvaneciéndose y siendo olvidadas.

El discurso de Simon Newcomb en esa ocasión contiene algunas observaciones un tanto idealistas, pero de interés general para el empeño científico:

¿Se ve motivado el hombre hacia la exploración de la Naturaleza por una pasión insuperable, para ser más envidiado o compadecido? En ninguna otra empresa consigue tanta certeza aquel que la merece. Ninguna vida es tan agradable como la de quien dedica sus energías a seguir los impulsos interiores de la propia personalidad. El investigador de la verdad está poco sujeto a las desilusiones que encuentra el ambicioso en otros campos de actividad. Es agradable pertenecer a esa hermandad que se extiende por todo el mundo en la que no existe la rivalidad, excepto la que se produce al intentar hacer un trabajo mejor que el de los demás, mientras que la admiración mutua cierra el camino a los celos... Así como el capitán de una industria se ve estimulado por el amor a la riqueza y el político por el amor al poder, el astrónomo se ve estimulado por el amor al conocimiento en sí mismo y no por sus posibles aplicaciones. Y se muestra orgulloso de saber que su ciencia tiene más valor para la humanidad que el coste de ella. Se da cuenta de que el hombre no puede vivir solamente de pan. Y si no es más que *pan* el conocer el lugar que ocupamos en el universo, sin lugar a dudas es algo que tendríamos que colocar muy cerca de los medios de subsistencia.

Después de leer las publicaciones astronómicas de hace tres cuartos de siglo, he sentido la tentación irresistible de imaginar como será la reunión del 150º aniversario de la Sociedad Astronómica de América —o cualquiera que sea el nombre que haya adoptado por entonces— y de anticipar como será enjuiciado nuestro trabajo actual.

Al recorrer la literatura de finales del siglo xix nos hacen sonreír algunos de los debates en torno a las manchas solares y nos impresiona el hecho de que el efecto Zeeman no fuese considerado como una curiosidad de laboratorio sino como algo a lo que los astrónomos debían dedicar una considerable atención. Esas dos madejas se entremezclaron unos años más tarde con el descubrimiento, por parte de G. E. Hale, de campos magnéticos de gran intensidad en las manchas solares.

De la misma manera, encontramos innumerables artículos en los que se asume la existencia de una evolución estelar, aunque su naturaleza permaneciera desconocida, en la que la contracción gravitatoria de Kelvin-Helmholtz era la única posible fuente de energía considerada en las estrellas, siendo así que la energía nuclear quedaba por descubrir. Pero al mismo tiempo, y a veces en el mismo volumen de *Astrophysical Journal*, se hacen referencias al curioso trabajo sobre radiactividad que estaba llevando a cabo en Francia un científico llamado Becquerel. Nuevamente aparecen aquí dos madejas aparentemente

independientes que van creciendo durante esos años, y que están destinadas a entremezclarse cuarenta años más tarde.

Existen muchos otros ejemplos relacionados; por ejemplo, en la interpretación de series de espectros de elementos distintos del hidrógeno obtenidas con el telescopio y las búsquedas en el laboratorio. La nueva física y la nueva astronomía eran aspectos complementarios de una ciencia que estaba naciendo, la astrofísica.

En consecuencia, parece lógico pensar que muchos de los debates actuales más profundos —por ejemplo, sobre la naturaleza de los quásares, o las propiedades de los agujeros negros o la geometría de emisión de los púlsares— están abocados a entremezclarse con nuevos avances de la física. Si la experiencia de lo ocurrido hace setenta y cinco años puede servirnos de algo, hay poca gente en la actualidad que intuya mínimamente qué física ha de unirse a qué astronomía. Y unos años más tarde, esa conexión se considerará evidente.

En la literatura astronómica del siglo xix encontramos también una serie de casos en los que los métodos de observación o sus interpretaciones no tienen nada que ver con lo aceptado en la actualidad. Uno de los peores ejemplos es el de la deducción de períodos planetarios con diez cifras significativas a base de la comparación de dos dibujos realizados por personas distintas, dibujos de elementos que hoy sabemos que son irreales. Pero había muchos otros entre los que destaca una plétora de «mediciones de estrellas dobles» de objetos muy separados entre sí, básicamente estrellas no relacionadas desde un punto de vista físico; una fascinación por la presión y otros efectos sobre las frecuencias de las rayas espectrales, cuando nadie prestaba atención al análisis de las curvas de crecimiento; unos debates corrosivos sobre la presencia o ausencia de tal o cual sustancia sobre la base únicamente de la espectroscopia ocular.

También resulta curiosa la dispersión de la física en la astrofísica de finales de la época victoriana. Sólo se encuentra una física moderadamente elaborada en la óptica geométrica y física, en los procesos fotográficos y en la mecánica celeste. La elaboración de teorías de la evolución estelar basadas en los espectros estelares, sin gran preocupación por la dependencia de la excitación y la ionización respecto a la temperatura, o el intento de calcular la temperatura subsuperficial de la Luna sin resolver la ecuación de transporte del calor de Fourier, me parecen poco menos que fantásticos. Al ver las elaboradas representaciones empíricas de los espectros en el laboratorio, el lector moderno empieza a impacientarse por la llegada de Bohr, Schrödinger y sus sucesores, y por el desarrollo de la mecánica cuántica.

Me pregunto cuántos de nuestros debates actuales y de nuestras más encumbradas teorías aparecerán rotuladas, desde la perspectiva del año 2049, como observaciones falsas, potencias intelectuales indiferentes o conocimientos físicos inadecuados. Tengo la impresión de que en la actualidad somos más autocríticos de lo que lo eran los científicos en 1899; de que, debido al mayor número de astrónomos, comprobamos mutuamente nuestros resultados más a menudo; y de que, en parte debido a la existencia de organizaciones como la Sociedad Astronómica de América, los niveles de intercambio y discusión de los resultados se han elevado sustancialmente. Espero que nuestros colegas de 2049 estén de acuerdo con ello.

El adelanto más importante entre 1899 y 1974 es el tecnológico. Pero en 1899 ya se había construido el mayor refractor del mundo, que sigue siendo el mayor refractor del mundo. Ahora comienza a hablarse de un reflector de 100 pulgadas de apertura. Sólo hemos mejorado esa apertura en un factor dos en todos esos años. Pero, ¿qué hubiesen podido hacer nuestros colegas de 1899 —vivieron después de Hertz, pero antes de Marconi— con el Observatorio de Arecibo, o con la interferometría de separación muy amplia (VLBI)? ¿Saldar el debate sobre el período de rotación de Mercurio mediante espectroscopia de radar Doppler? ¿Comprobar la naturaleza de la superficie lunar trayendo alguna muestra a la Tierra? ¿Insistir en el problema de la naturaleza y la habitabilidad de Marte enviando un satélite orbital durante todo un año, capaz de enviar 7200 fotografías del planeta a la

Tierra, cada una de ellas de mejor calidad que las fotografías de la Luna realizadas en 1899? ¿Comprobar los modelos cosmológicos con espectroscopía ultravioleta orbital del deuterio interestelar, cuando ni los modelos a comprobar, ni la existencia del átomo que permite comprobarlos eran conocidos en 1899, ni mucho menos la técnica de observación?

Es claro que en los últimos setenta y cinco años la astronomía mundial han avanzado enormemente, incluso más allá de las especulaciones más románticas de los astrónomos victorianos. ¿Y en los próximos setenta y cinco años? Podemos apuntar algunas predicciones muy pedestres. Habremos examinado por completo el espectro electromagnético desde los rayos gamma muy cortos hasta las ondas de radio bastante largas. Habremos enviado vehículos no tripulados a todos los planetas y a la mayoría de los satélites del sistema solar. Habremos enviado algún vehículo espacial hacia el Sol para hacer cálculo estructural estelar experimental, empezando tal vez —debido a las bajas temperaturas— con las manchas solares. A Hale le hubiese gustado eso. Creo posible que dentro de setenta y cinco años hayamos lanzado algún vehículo espacial subrelativista hacia las estrellas próximas, vehículo capaz de desplazarse aproximadamente a una décima parte de la velocidad de la luz. Entre otras cosas, dichas misiones nos permitirán examinar directamente el medio interestelar y nos proporcionarán una separación mayor para la VLB I de la que podemos imaginar hoy. Tendremos que inventar alguna palabra que supere a muy, tal vez "ultra". La naturaleza de los púlsares, los cuántares y los agujeros negros será bien conocida por entonces, así como las respuestas a algunas de las preguntas cosmológicas más profundas. Incluso es posible que hayamos abierto algún canal regular de comunicación con civilizaciones de otros planetas y otras estrellas y que los últimos descubrimientos en astronomía, así como los de otras muchas ciencias, nos lleguen desde alguna especie de «Enciclopedia Galáctica» y nos sean transmitidos en flujos de información hasta una inmensa red de radiotelescopios.

Pero al leer la astronomía de hace setenta y cinco años, creo muy probable que, a excepción del contacto interestelar, estos avances, aun siendo muy interesantes, serán considerados propios de una astronomía de viejo estilo y que las fronteras reales y el interés principal de la ciencia se situarán en áreas que dependan de la nueva física y la nueva tecnología, que sólo podemos intuir vagamente en la actualidad.

## 22. LA BÚSQUEDA DE INTELIGENCIA EXTRATERRESTRE

Ahora las Sirenas disponen de un arma más mortífera que su canción: su silencio... Es posible que alguien haya escapado a su canto, pero a su silencio, nunca jamás.

FRANZ KAFKA, Parábolas

A lo largo de toda nuestra historia hemos examinado las estrellas y hemos cavilado sobre si la humanidad es única o si, en algún lugar del cielo oscuro, existen otros seres que contemplan y se maravillan como nosotros, compañeros de pensamiento en el cosmos. Estos seres pueden tener una visión muy distinta del universo y de sí mismos. En algún lugar pueden existir biología, o tecnologías, o sociedades, muy exóticas. En un universo cósmico, amplio y viejo, más allá de la comprensión humana ordinaria, estamos un poco solos; y nos preguntamos sobre el significado último, si es que existe, de nuestro diminuto, pero exquisito, planeta azul. La búsqueda de inteligencia extraterrestre es la búsqueda de un contexto cósmico aceptable en general para la especie humana. En su sentido más profundo, la búsqueda de inteligencia extraterrestre es una búsqueda de nosotros mismos.

En los últimos años —esa millonésima parte de la vida de nuestra especie en este planeta— hemos conseguido una herramienta tecnológica extraordinaria que nos permite buscar civilizaciones lejanas e inimaginables que no estén siquiera tan avanzadas como la nuestra. Esa herramienta se llama radioastronomía y cuenta con radiotelescopios individuales, series o redes de radiotelescopios, detectores de radio muy sensibles, computadoras muy avanzadas para el proceso de los datos recibidos y la imaginación y la pericia de científicos entregados a su *métier*. En la última década, la radioastronomía nos ha abierto una nueva puerta al universo físico. También podría, si somos lo suficientemente sensatos como para hacer el esfuerzo, proyectar una amplia luz sobre el universo biológico.

Algunos científicos que trabajan en el tema de la inteligencia extraterrestre (entre los que me cuento) han intentado dar una cifra del número de civilizaciones técnicas avanzadas —definidas operativamente como aquellas sociedades capaces de trabajar en radioastronomía— en la Vía Láctea. Esos cálculos son poco más que conjeturas, pues requieren asignar valores numéricos a magnitudes tales como el número y la edad de las estrellas, la abundancia de sistemas planetarios y la probabilidad del origen de la vida, de los que no sabemos nada con certeza, y la probabilidad de la evolución de vida inteligente y la duración de las civilizaciones técnicas, de las que ciertamente sabemos bien poco.

Cuando se hacen las operaciones, los números que suelen salir normalmente son de alrededor de un millón de civilizaciones técnicas. Un millón de civilizaciones técnicas es un número sorprendentemente elevado, y es estimulante imaginar la diversidad, los estilos de vida y de comercio de ese millón de mundos. Pero la galaxia de la Vía Láctea contiene 250 mil millones de estrellas y, aun con un millón de civilizaciones, menos de una estrella de cada 200.000 poseería un planeta habitado por una civilización avanzada. Como sabemos muy poco acerca del tipo de estrellas que puedan ser candidatas, habrá que examinar un gran número de ellas. Estas consideraciones sugieren que la búsqueda de inteligencia extraterrestre puede suponer un esfuerzo importante.

Pese a las numerosas pretensiones relativas a la existencia de antiguos astronautas y objetos volantes no identificados, no existe actualmente ninguna prueba contundente de visitas realizadas a la Tierra en el pasado por otras civilizaciones (ver capítulos 5 y 6). Nos vemos restringidos al campo de las señales remotas y la radio es, con mucho, la mejor de todas las técnicas de larga distancia de que dispone nuestra tecnología. Los radiotelescopios son relativamente baratos, las señales de radio se desplazan a la velocidad de la luz, más

deprisa que cualquier otra cosa; además, la utilización de la radio no es ninguna actividad corta de miras o antropocéntrica. La radio representa una parte muy amplia del espectro electromagnético y cualquier civilización técnica en cualquier lugar de la galaxia tiene que haber descubierto la radio antes de considerarse técnica, de la misma manera que en los últimos siglos hemos explorado todo el espectro electromagnético desde los rayos gamma cortos hasta las ondas de radio muy largas. Cabe perfectamente que otras civilizaciones avanzadas utilicen otros medios de comunicación con sus iguales. Pero si desean comunicarse con civilizaciones atrasadas o en formación, solo existen unos pocos métodos obvios y el principal es la radio.

El primer intento serio de escuchar posibles señales de radio procedentes de otras civilizaciones se llevó a cabo en el Observatorio Nacional de Radioastronomía de Greenbank, Virginia Occidental, entre 1959 y 1960. Fue organizado por Frank Drake, actualmente en la Universidad de Cornell, y se bautizó con el nombre de *Proyecto Ozma*, en honor de la princesa de la Tierra de Oz, un lugar muy exótico, muy alejado y de muy difícil acceso. Drake examinó dos estrellas cercanas, *Epsilon Eridani* y *Tau Ceti*, a lo largo de varias semanas, sin obtener resultados positivos. Hubiese sido sorprendente de haberse producido éstos, pues, como hemos visto, las estimaciones más optimistas del número de civilizaciones técnicas en la Galaxia requieren el examen de varios centenares de miles de estrellas para lograr el éxito con una selección estelar al azar.

Desde el Proyecto Ozma, ha habido seis u ocho programás de ese estilo, todos ellos muy modestos, en los Estados Unidos, Canadá y la Unión Soviética. Todos los resultados han sido negativos. El número total de estrellas individuales examinadas de esa forma hasta el momento no supera el millar. Hemos realizado algo así como una décima parte del uno por ciento del esfuerzo requerido.

Sin embargo, existen algunos indicios de que en un futuro relativamente próximo pueden llevarse a cabo esfuerzos más serios. Hasta ahora, todos los programás de observación han utilizado cantidades de tiempo muy pequeñas con grandes telescopios y, cuando la observación ha durado mucho tiempo, sólo han podido utilizarse radiotelescopios muy pequeños. Un amplio examen del problema fue hecho recientemente por una comisión de la NASA presidida por Philip Morrison, del *Massachusetts Institute of Technology*. La comisión señaló una gran diversidad de opciones, incluyendo nuevos (y caros) radiotelescopios gigantes con base en tierra y espaciales. También señaló que podrían alcanzarse avances importantes con un coste moderado a base de desarrollar receptores de radio más sensibles y sistemás de proceso de datos por computadoras más ingeniosos. En la Unión Soviética existe una comisión estatal dedicada a coordinar la búsqueda de inteligencia extraterrestre y el gran radiotelescopio RATAN-600 recién instalado en el Cáucaso se dedica en parte a ese empeño. Paralelamente a los recientes y espectaculares progresos en tecnología de radio, se ha producido un tremendo incremento en la respetabilidad científica y pública de todo el tema de la vida extraterrestre. Un claro exponente de esa nueva actitud lo constituyen las misiones *Viking* a Marte, que en una buena parte están orientadas a la búsqueda de vida en el planeta.

Pero junto a esa naciente dedicación a una investigación seria, ha aparecido una nota ligeramente negativa que resulta empero muy interesante. Varios científicos han planteado últimamente una curiosa pregunta. Si la inteligencia extraterrestre abunda, ¿por qué no hemos visto todavía ninguna de sus manifestaciones? Pensemos en los progresos realizados por nuestra civilización tecnológica en los últimos diez mil años e imaginemos que dichos avances prosiguiesen durante millones o miles de millones de años más. Si tan sólo una pequeñísima fracción de las civilizaciones tecnológicas está millones o miles de millones de años más avanzada que nosotros, ¿por qué no han producido artefactos, instrumentos o hasta polución industrial de tal magnitud que hayan podido ser detectados por nosotros? ¿Por que no han reestructurado toda la Galaxia a su conveniencia?

Los escépticos también se preguntan por qué no existen claras muestras de visitas extraterrestres a la Tierra. Ya hemos lanzado algunos vehículos interestelares, lentos y modestos. Una sociedad más avanzada que la nuestra debe ser capaz de surcar los



espacios entre las estrellas de forma adecuada, o hasta sin esfuerzo. Durante millones de años, dichas sociedades habrán establecido colonias, las cuales, a su vez, habrán lanzado al espacio expediciones interestelares. ¿Por qué no están aquí? Se tiene la tentación de decir que sólo existen unas cuantas civilizaciones extraterrestres; ya sea porque estadísticamente somos una de las primeras civilizaciones técnicas en haber surgido, ya fuere porque el destino de todas esas civilizaciones es el de autodestruirse antes de progresar más de lo que lo hemos hecho nosotros.

Me parece que esa desesperación es algo prematura. Todos esos argumentos dependen de una conjetura correcta por nuestra parte acerca de las intenciones de seres mucho más avanzados que nosotros, y, vistos más de cerca estos argumentos, en mi opinión ponen de manifiesto aspectos interesantes de la presunción humana. ¿Por qué es de esperar que nos será fácil reconocer las manifestaciones de civilizaciones muy avanzadas? Se parece nuestra situación a la de los miembros de una comunidad amazónica aislada que carece de los medios para detectar el intenso tráfico internacional de radio y televisión que les rodea. Además, existe una amplia gama de fenómenos astronómicos que no comprendemos totalmente. ¿Puede ser de origen tecnológico la modulación de los púlsares o la fuente de energía de los quásares, por ejemplo? O tal vez existe en la Galaxia una cierta ética de no-interferencia con civilizaciones atrasadas o en nacimiento. Tal vez exista un tiempo de espera antes de que se considere oportuno tomar contacto, en orden a proporcionarnos una buena oportunidad de autodestruirnos, si a eso vamos. Tal vez todas las civilizaciones considerablemente más avanzadas que la nuestra han alcanzado una inmortalidad personal efectiva y han perdido la motivación para vagar por los espacios interestelares, lo cual puede ser una necesidad típica de las civilizaciones adolescentes. Tal vez las civilizaciones maduras no desean polucionar el cosmos. Podría darse una lista muy larga de «tal vez», pero no estamos en condiciones de evaluar más que algunos de ellos con un cierto grado de seguridad.

La cuestión de las civilizaciones extraterrestres está totalmente abierta. Personalmente, creo que es mucho más difícil comprender un universo en el que seamos la única civilización tecnológica, o una de las pocas, que concebir un cosmos rebosante de vida inteligente. Afortunadamente, muchos aspectos del problema pueden verificarse experimentalmente. Podemos buscar planetas alrededor de otras estrellas, podemos escudriñar formas simples de vida en planetas cercanos como Marte, y realizar en el laboratorio estudios más profundos acerca de la química del origen de la vida. Podemos investigar con mayor intensidad la evolución de los organismos y las sociedades. El problema requiere una investigación a largo plazo, de amplias miras, sistemática, cuyo único árbitro de lo que es posible o no sea la naturaleza.

Si existe un millón de civilizaciones técnicas en la Vía Láctea, la separación media entre las civilizaciones es unos 300 años luz. Como un año luz es la distancia que recorre la luz en un año (un poco menos de 6 millones de millones de millas), entonces el tiempo que tarda en una sola dirección una comunicación interestelar con la civilización más próxima es de 300 años. El tiempo necesario para formular una pregunta y recibir la respuesta sería de 600 años. Esa es la razón por la cual los diálogos interestelares son mucho menos posibles que los monólogos interestelares, especialmente en la época del primer contacto. A primera vista, puede parecer totalmente inútil que una civilización envíe mensajes de radio sin la esperanza de saber, al menos en un futuro inmediato, si alguien ha recibido el mensaje y cual será la respuesta; pero los seres humanos a veces realizamos acciones de ese estilo como, por ejemplo, enterrar cápsulas de tiempo para que las recuperen las generaciones futuras, o incluso escribir libros, componer música y crear arte para la posteridad. Una civilización que haya recibido ayuda mediante la recepción de un mensaje exterior en el pasado puede desear ayudar a otras sociedades técnicas en formación.

Para que un programa de búsqueda por radio tenga éxito es preciso que la Tierra se encuentre entre los presuntos beneficiarios. Aunque la civilización transmisora estuviera poco más avanzada que la nuestra, dispondría de una gran potencia de radio para la comunicación interestelar; tal vez tan grande que la emisión podría ser efectuada por grupos relativamente pequeños de aficionados a la radio y de partidarios de las

civilizaciones primitivas. Si todo un gobierno planetario o una alianza de mundos llevasen a cabo el proyecto, la emisión podría alcanzar un número muy grande de estrellas, tan grande que sería posible que uno de los mensajes fuese radiado en nuestra dirección, aun cuando no hubiese ninguna razón para prestar atención a nuestro particular rincón del cielo.

Es fácil ver que la comunicación es posible aun sin un acuerdo o contacto previo entre las civilizaciones transmisora y receptora. No presenta ninguna dificultad saber con certeza si un mensaje de radio interestelar procede de una fuente inteligente. Una señal modulada (bip, bip-bip, bip-bip-bip...) con los números 1, 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 29, 31 —los doce primeros números primos— solo puede tener un origen biológico. Para que esto resulte claro, no se necesita ningún acuerdo previo entre las civilizaciones, ni ninguna prevención ante un posible chauvinismo terrestre.

Un mensaje de esas características sería una señal de anuncio o guía indicando la presencia de una civilización avanzada, pero informaría muy poco sobre su propia naturaleza. La señal guía también podría poner de relieve una frecuencia determinada en la que encontrar el mensaje principal, o podría indicar que el mensaje principal habría de requerir un tiempo de resolución mayor a la frecuencia de la señal guía. La comunicación de información bastante compleja no resulta muy difícil, incluso para civilizaciones con biología y comportamientos sociales extraordinariamente distintos. Se pueden enviar proposiciones aritméticas, algunas verdaderas y algunas falsas, cada una de ellas seguida de una palabra codificada adecuada (con rayas y puntos, por ejemplo), para transmitir las ideas de verdadero y falso, conceptos de los que mucha gente puede pensar que serían extremadamente difíciles de transmitir en ese contexto.

Pero el método más prometedor es el de enviar imágenes. Un mensaje repetido que sea el producto de dos números primos será identificado claramente como una disposición bidimensional, es decir, una imagen. El producto de tres números primos puede constituir una imagen tridimensional o el marco de una imagen móvil bidimensional. A modo de ejemplo de mensaje, imaginemos una disposición de ceros y unos que podrían ser bips largos o cortos, o tonos de dos frecuencias adyacentes, o tonos de amplitudes distintas, o incluso señales con polarizaciones de radio distintas. En 1974 se envió al espacio un mensaje desde la antena de 305 metros del Observatorio de Arecibo, en Puerto Rico, que utiliza la Universidad Cornell en nombre de la *National Science Foundation*. El motivo era una ceremonia que celebraba el acondicionamiento de la superficie del plato de Arecibo, el mayor radio/radar telescopio del planeta Tierra. La señal se envió a una serie de estrellas llamadas M13, un cúmulo globular que cuenta con un millón de soles y que se encontraba en el cenit en la época de la ceremonia. Como M13 está a 24000 años luz de distancia, el mensaje tardará 24000 años en llegar allí. Si alguna criatura responsable se encuentra a la escucha, pasarán 48000 años antes de que recibamos una respuesta. El mensaje de Arecibo no pretendía ser un intento serio de comunicación interestelar, sino más bien una indicación de los notables adelantos en el terreno de la tecnología de la Tierra.

El mensaje codificado decía algo así: *«Así es como contamos del uno al diez. Estos son los números atómicos de cinco elementos —hidrógeno, carbono, nitrógeno, oxígeno y fósforo— que consideramos interesantes o importantes. Estas son algunas formas de juntar los átomos: las moléculas adenina, timina, guanina y citosina y una cadena compuesta por azúcares y fosfatos alternados. Estos bloques moleculares pueden juntarse a su vez formando una larga molécula de ADN cuya cadena cuenta con unos cuatro mil millones de enlaces. La molécula es una doble hélice. De alguna manera, esa molécula es importante para la criatura de aspecto tosco del centro del mensaje. Esa criatura mide 14 longitudes de onda, o unos 176 cm de altura. Existen unos cuatro mil millones de esas criaturas en el tercer planeta de nuestra estrella. Hay nueve planetas en total —cuatro pequeños en el interior, cuatro grandes hacia el exterior y uno pequeño en el borde. Este mensaje les es radiado desde un radiotelescopio de 2430 longitudes de onda, o 306 metros de diámetro. Sinceramente suyos».*

Con muchos mensajes pictóricos de este estilo, cada uno de ellos coherente con los demás, y corroborándolos, es muy posible establecer una comunicación interestelar por radio casi

sin ambigüedades entre dos civilizaciones que nunca se han encontrado. Nuestro objetivo inmediato no es el de enviar dichos mensajes porque somos muy jóvenes y atrasados; deseamos escuchar.

La detección de señales de radio inteligentes procedentes de las profundidades del espacio nos acercaría de manera rigurosa, desde el punto de vista experimental y científico, a las preguntas más profundas que han preocupado a los científicos y filósofos desde los tiempos prehistóricos. Una señal de esas indicaría que el origen de la vida no es un acontecimiento extraordinario, difícil o improbable. Significaría que, con miles de millones de años de selección natural, las formas sencillas de vida evolucionan normalmente hacia formas complejas e inteligentes, como ha ocurrido en la Tierra y que esas formas inteligentes son capaces de producir una tecnología avanzada, como ha ocurrido aquí. Pero es poco probable que las transmisiones que recibamos procedan de una sociedad que se encuentre al mismo nivel tecnológico que nosotros. Una sociedad sólo un poco más atrasada que la nuestra no dispondrá de la radioastronomía. Lo más probable es que el mensaje provenga de alguna civilización muy adelantada en nuestro futuro tecnológico. Así, antes incluso de descifrar el mensaje, habremos sacado una valiosa enseñanza: la de que es posible evitar los peligros del período en que estamos viviendo.

Hay gente que al considerar los problemas generales de la Tierra —nuestros serios antagonismos nacionales, nuestros arsenales nucleares, nuestra población creciente, la disparidad entre los pobres y los opulentos, la escasez de alimentos y recursos y nuestras muy inconscientes alteraciones del medio ambiente— deduce que vivimos en un sistema que se ha hecho inestable de repente, un sistema destinado a entrar en colapso dentro de poco. Otros creen que nuestros problemas pueden resolverse, que la humanidad está todavía en su infancia, que pronto empezaremos a crecer. Bastaría con la recepción de un mensaje procedente del espacio para demostrar que es posible sobrevivir a esta adolescencia tecnológica, dado que la civilización transmisora ha sobrevivido. A mi entender, vale la pena pagar un gran precio por ese conocimiento.

Otra posible consecuencia de un mensaje interestelar sería la de fortalecer los lazos entre todos los seres humanos y los demás seres de nuestro planeta. La lección segura de la evolución es la de que los organismos de cualquier lugar deben tener caminos evolutivos separados; que su química y su biología, y muy posiblemente sus organizaciones sociales, pueden ser profundamente distintos a cualquier otra cosa de la Tierra. Podremos ser capaces de comunicarnos con ellos porque compartimos un universo común, desde que las leyes de la física y de la química y las regularidades de la astronomía son universales, pero siempre pueden ser distintos en el sentido más profundo. Y ante esa diferencia, pueden debilitarse los enfrentamientos que dividen a los pueblos de la Tierra. Las diferencias entre los humanos de distintas razas y nacionalidades, religiones y sexos, posiblemente sean insignificantes comparadas con las diferencias entre nosotros y los seres extraterrestres inteligentes.

Si el mensaje llegara por radio, tanto la civilización emisora como la receptora tendrán en común por lo menos el conocimiento de la física de la radio. Esa confluencia en las ciencias físicas es la razón por la que muchos científicos esperan poder descifrar los mensajes procedentes de civilizaciones extraterrestres. Requerirá un proceso lento y plagado de dificultades, pero en el resultado no cabrán ambigüedades. Nadie puede aventurarse a predecir con detalle cuáles serán las consecuencias de descifrar ese mensaje, porque tampoco nadie puede aventurarse a decir de antemano cuál será la naturaleza del mensaje. Como lo más probable es que la transmisión proceda de una civilización mucho más avanzada que la nuestra, aparecerán conocimientos sorprendentes en el terreno de la física, la biología y las ciencias sociales, desde la perspectiva de una clase muy distinta de inteligencia. Pero descifrar el mensaje nos tomará años o décadas.

Algunos han expresado su preocupación en el sentido de que un mensaje procedente de una sociedad avanzada puede hacernos perder la fe en nosotros mismos, puede despojarnos de la iniciativa de llevar a cabo nuevos descubrimientos, si da la impresión de que otros ya han hecho esos descubrimientos; incluso puede tener consecuencias

negativas. Pero es algo así como si un estudiante abandonase la escuela porque descubre que sus maestros y sus libros de texto saben más que él. Somos libres de ignorar un mensaje interestelar si nos parece ofensivo. Si preferimos no responder, la civilización transmisora no podrá saber que el mensaje fue recibido y comprendido en un diminuto planeta llamado Tierra. La traducción de un mensaje procedente de las profundidades del espacio, sobre el que podemos ser tan lentos y precavidos como queramos, parece plantear pocos peligros a la humanidad; en cambio, aporta la gran promesa de sus ventajas prácticas y filosóficas.

En particular, es posible que entre los primeros contenidos de ese tipo de mensajes figuren descripciones detalladas de la forma de evitar un desastre tecnológico, en el paso de la adolescencia a la madurez. Tal vez las transmisiones desde civilizaciones avanzadas describan los caminos de la evolución cultural que conduce a la estabilidad y longevidad de una especie inteligente y también los que llevan a la paralización, a la degeneración o al desastre. Como es evidente, no hay ninguna garantía de que ese sea el contenido de un mensaje interestelar, pero sería temerario descartar la posibilidad. Tal vez existan soluciones, todavía no encontradas en la Tierra, que resuelvan la escasez de alimentos, el crecimiento de la población, el suministro de energía, la disminución de los recursos, la polución y la guerra.

Así como es seguro que habrá diferencias entre las civilizaciones, también pueden darse leyes de desarrollo de las civilizaciones que sólo puedan intuirse cuando podamos disponer de información sobre la evolución de varias de esas civilizaciones. Dado nuestro aislamiento del resto del cosmos, sólo disponemos de información acerca de la evolución de *una* civilización: la nuestra. Y el aspecto más importante de la evolución —el futuro— sigue siendo inalcanzable para nosotros. Tal vez no sea probable, pero sí es posible que el futuro de la civilización humana dependa de la recepción y descifrado de mensajes interestelares procedentes de civilizaciones extraterrestres.

¿Qué ocurriría si después de dedicarnos mucho tiempo a la búsqueda de inteligencia extraterrestre, no consiguiésemos ningún resultado? Incluso entonces podremos decir con seguridad que no hemos estado perdiendo el tiempo. Habremos puesto a punto una tecnología importante, capaz de producir aplicaciones en otros campos de nuestra civilización. Habremos contribuido en gran manera al conocimiento del universo físico. Y habremos calibrado algo de la importancia y la unicidad de nuestra especie, nuestra civilización y nuestro planeta. Pues si la vida inteligente es escasa o inexistente en otros lugares, habremos aprendido algo significativo acerca de la rareza y el valor de nuestra cultura y nuestro patrimonio biológico, afanosamente surgidos tras una sinuosa historia evolutiva de 4.600 millones de años. Ese descubrimiento dará énfasis a nuestras responsabilidades ante los peligros que acechan nuestro tiempo, porque la explicación más plausible de los resultados negativos de esa búsqueda es la de que las sociedades, por lo general, se destruyen a sí mismas antes de alcanzar un grado de inteligencia suficiente como para crear un potente servicio de transmisión por radio. Es un aspecto interesante el de que la organización de la búsqueda de mensajes radio interestelares, al margen de cual sea el resultado, pueda suponer una influencia constructiva para el conjunto de la humanidad.

Pero no conoceremos los resultados de esa búsqueda, y menos todavía el contenido de los mensajes procedentes de otras civilizaciones, si no realizamos un serio esfuerzo por escuchar las señales. Puede resultar que las civilizaciones se clasifiquen en dos grandes categorías: las que hacen ese esfuerzo, logran entrar en contacto con otras y se convierten en nuevos miembros de una federación poco vinculante de comunidades galácticas; y las que no pueden, o prefieren no hacer ese esfuerzo, o carecen de la imaginación para intentarlo y, al poco tiempo, van destruyéndose y desaparecen.

Es difícil pensar en cualquier otra empresa, a nuestro alcance y a un costo relativamente moderado, que encierre una promesa tan grande como ésta para el futuro de la humanidad.



## Quinta Parte: CUESTIONES PROSTERAS

### 23. EL SERMÓN DOMINICAL

En la cuna de toda ciencia yacen teólogos extinguidos, como las serpientes estranguladas junto a la cuna de Hércules.

T. H. HUXLEY (1860)

Hemos visto el círculo superior de la espiral de poderes. Hemos llamado Dios a ese círculo. Le hubiésemos podido dar cualquier otro nombre: Abismo, Misterio, Oscuridad absoluta, Luz absoluta, Materia, Espíritu, Esperanza última, Silencio.

NIKOS KAZANTZAKIS (1948)

En estos días suelo dar conferencias científicas ante audiencias populares. En algunas ocasiones me preguntan sobre la exploración planetaria y la naturaleza de los planetas; en otras, sobre el origen de la vida y la inteligencia en la Tierra; en otras todavía, sobre la búsqueda de vida en cualquier lugar; y otras veces, sobre la gran perspectiva cosmológica. Como esas conferencias ya las conozco por ser yo quien las doy, lo que más me interesa en ellas son las preguntas. Las más habituales son relativas a objetos volantes no identificados y a los astronautas en el principio de la historia, preguntas que en mi opinión son interrogantes religiosos disfrazados. Son igualmente habituales, especialmente después de una conferencia en la que hablo de la evolución de la vida o de la inteligencia, las preguntas del tipo: «¿Cree usted en Dios?». Como la palabra *Dios* significa cosas distintas para distintas personas, normalmente pregunto qué entiende mi interlocutor por «Dios». Sorprendentemente, la respuesta es a veces enigmática o inesperada: «¡Oh! Ya sabe Vd., Dios. Todo el mundo sabe quien es Dios», o bien, «Pues una fuerza superior a nosotros y que existe en todos los puntos del universo». Hay muchas fuerzas de ese tipo, contesto. Una de ellas se llama *gravedad*, pero no es frecuente identificarla con Dios. Y no todo el mundo sabe a lo que se hace referencia al decir Dios. El concepto cubre una amplia gama de ideas. Alguna gente piensa en Dios imaginándose un hombre anciano, de grandes dimensiones, con una larga barba blanca, sentado en un trono en algún lugar ahí arriba en el cielo, llevando afanosamente la cuenta de la muerte de cada gorrión. Otros —por ejemplo, Baruch Spinoza y Albert Einstein— consideraban que Dios es básicamente la suma total de las leyes físicas que describen al universo. No sé de ningún indicio de peso en favor de algún patriarca capaz de controlar el destino humano desde algún lugar privilegiado oculto en el cielo, pero sería estúpido negar la existencia de las leyes físicas. Creer o no creer en Dios depende en mucho de lo que se entienda por Dios.

A lo largo de la historia, ha habido posiblemente miles de religiones distintas. Hay también una piadosa creencia bien intencionada, según la cual todas son fundamentalmente idénticas. Desde el punto de vista de una resonancia psicológica subyacente, puede haber efectivamente importantes semejanzas en los núcleos de muchas religiones, pero en cuanto a los detalles de la liturgia y de la doctrina, y en las apologías consideradas autenticantes, la diversidad de las religiones organizadas resulta sorprendente. Las religiones humanas son mutuamente excluyentes en cuestiones tan fundamentales como: un dios o muchos, el origen del mal, la reencarnación, la idolatría, la magia y la brujería; el papel de la mujer, las proscipciones dietéticas, los ritos mortuorios, la liturgia del sacrificio, el acceso directo o indirecto a los dioses, la esclavitud, la intolerancia con otras religiones y la comunidad de seres a los que se debe una consideración ética especial. Si despreciamos esas diferencias,

no prestamos ningún servicio a la religión en general, ni a ninguna doctrina en particular. Creo que deberíamos comprender los puntos de vista de los que hacen las distintas religiones e intentar comprender que las necesidades humanas quedan colmadas con esas diferencias.

Bertrand Russell fue arrestado en una ocasión por protestar pacíficamente en ocasión del ingreso de Gran Bretaña en la Primera Guerra Mundial. El funcionario de la prisión preguntó a Russell cual era su religión, lo que era una pregunta rutinaria por aquel entonces en todos los ingresos. Russell respondió «*Agnóstico*» y tuvo que deletrearle la palabra. El funcionario sonrió afablemente, movió la cabeza y dijo: «*Hay muchas religiones distintas, pero supongo que todos adoramos al mismo Dios*». Russell comentó que esa observación le mantuvo alegre durante semanas. Y no debía haber muchas cosas que lo alegraran en la cárcel, aunque consiguió escribir toda la *Introducción a la filosofía matemática* y empezó a leer para su trabajo *El análisis de la mente*, todo ello dentro de sus limitaciones.

Muchas de las personas que me preguntan por mis creencias lo que en realidad quieren es confirmar si su sistema de creencias particular es coherente con el conocimiento científico moderno. La religión ha salido dañada de su confrontación con la ciencia, y mucha gente —pero no todo el mundo— se muestra reacia a aceptar un cuerpo de creencias teológicas que entre en conflicto frontal con lo que conocemos. Cuando el *Apollo 8* cumplía la primera navegación tripulada alrededor de la Luna, en un gesto más o menos espontáneo los astronautas a bordo leyeron el primer versículo del Génesis en un intento, a mi criterio, de tranquilizar a los contribuyentes norteamericanos en cuanto a que no existía incoherencia entre las consideraciones religiosas tradicionales y un vuelo tripulado a la Luna. Los musulmanes ortodoxos, por su parte, se sintieron ultrajados por los astronautas del *Apollo 11*, ya que para el Islam la Luna posee un significado especial y sagrado. Después del primer vuelo orbital de Yuri Gagarin, y en un contexto religioso muy distinto, Nikita Krushev, presidente del Consejo de Ministros de la URSS, afirmó que Gagarin no había encontrado *ni dioses ni ángeles allá arriba*; es decir, Krushev tranquilizó a su "feligresía" en el sentido de que el vuelo orbital tripulado no entraba en contradicción con sus creencias.

En los 50 una revista técnica soviética llamada *Vo-prosy Filosofii* (Problemas de Filosofía) publicó un artículo que sostenía —muy poco convincentemente, a mi criterio— que el materialismo dialéctico exigía la existencia de vida en todos los planetas. Algo más tarde, apareció una triste refutación oficial en la que se marcaban las distancias entre el materialismo dialéctico y la exobiología. Una predicción clara en un área que está siendo estudiada a fondo permite que las doctrinas sean objeto de refutaciones. La situación en la que menos desea encontrarse una religión burocrática es la de la vulnerabilidad ante la refutación, es decir, que pueda llevarse a cabo una experiencia en la que la religión pueda tambalearse. Así, el hecho de que no se haya encontrado vida en la Luna no ha modificado en nada las bases del materialismo dialéctico. Las doctrinas que no hacen predicciones son menos consistentes que las que hacen predicciones correctas; éstas a su vez tienen más éxito que las doctrinas que hacen predicciones falsas.

Pero no siempre. Una prominente religión norteamericana predicaba resueltamente que el mundo finalizaría en 1914. Ahora bien, 1914 ha llegado y se ha ido y, aun a pesar de que los acontecimientos de ese año fueron verdaderamente importantes, el mundo no parece haberse acabado. Son tres las respuestas que pueden ofrecer los seguidores de una religión organizada ante un fracaso profético tan notorio como ése. Podrían haber dicho: «*¿Dijimos 1914? Lo sentimos, queríamos decir 2014. Un pequeño error de cálculo; esperamos que no les haya causado ningún perjuicio*». Pero no lo hicieron. Podrían haber dicho: «*El mundo se habría acabado en 1914, pero rogamos tan intensamente e intercedimos tanto ante el Señor, que eso evitó el fin de la Tierra*». Pero tampoco lo hicieron. En lugar de ello, hicieron algo más ingenioso. Anunciaron que el mundo se había acabado realmente en 1914 y que si los demás no nos habíamos dado cuenta, ese era nuestro problema. Ante tamañas evasivas resulta sorprendente que esa religión tenga todavía adeptos, pero las religiones son duras

de roer. O bien no hacen ninguna propuesta que pueda refutarse, o bien revisan rápidamente la doctrina después de una refutación. El hecho de que las religiones sean tan descaradamente deshonestas, tan despreciativas de la inteligencia de sus adeptos y de que a pesar de ello todavía florezcan no dice nada bueno en favor del vigor mental de sus creyentes. Pero también pone de manifiesto, como si ello necesitase una demostración, que cerca del núcleo de la experiencia religiosa existe algo que se resiste a la racionalidad.

Andrew Dickson White fue la fuerza intelectual motora, el fundador y el primer presidente de la Universidad Cornell. Fue también uno de los autores de un libro extraordinario titulado *The Warfare of Science with Theology in Christendom*, que levantó un gran escándalo en la época de su publicación, hasta el punto de que el coautor solicitó que su nombre fuese omitido. White era un hombre de sólido sentimiento religioso.(\*). Pero escribió sobre la larga y penosa historia de las erróneas posiciones que las religiones habían sostenido acerca de la naturaleza del mundo, y de cómo fueron perseguidos aquellos que investigaron y descubrieron que era distinta a los postulados doctrinales, y cómo sus ideas fueron suprimidas. El viejo Galileo fue amenazado por la jerarquía católica con ser torturado por el hecho de proclamar que la Tierra se movía. Spinoza fue excomulgado por la jerarquía judía. En realidad, difícilmente se encontrará alguna religión organizada, con un amplio cuerpo de doctrina, que no se haya erigido en perseguidora, en algún momento, del *delito* de investigar abiertamente. La misma devoción de Cornell por la investigación libre y no sectaria fue considerada tan objetable en el último cuarto del siglo xix que los sacerdotes recomendaban a los graduados de la escuela secundaria que era preferible no recibir educación universitaria antes que matricularse en una institución tan impía. De hecho la capilla Sage fue construida para apaciguar a los píos, aunque es una satisfacción decir que, de vez en cuando, se han realizado serios esfuerzos en favor de un ecumenismo abierto..

--

(\*) White habría sido también el responsable de la ejemplar costumbre de no otorgar grados de *doctor honoris causa* por la Universidad de Cornell; le preocupaba un abuso potencial: la posibilidad de que esos grados honoríficos fuesen intercambiados por legados o donativos económicos. White era un hombre de convicciones éticas profundas y valientes.

--

Muchas de las controversias descritas por White son discusiones sobre los orígenes. Se solía pensar que hasta el más trivial acontecimiento del mundo —la eclosión de una flor, por ejemplo— se debía a una microintervención directa de la Deidad. La flor era incapaz de abrirse por sí sola; Dios tenía que decir: «¡Eh, flor, ábrete!». Al aplicar esta idea a los asuntos del hombre, las consecuencias sociales han sido a menudo muy variables. Por un lado, pareciera indicar que no somos responsables de nuestras acciones. Si la representación teatral que es el mundo está producida y dirigida por un Dios omnipotente y omnisciente, ¿no puede deducirse acaso que cualquier mal que se produzca es una acción de Dios? Me consta que esta idea resulta embarazosa para Occidente; los intentos por evitarla pretenden que lo que parece ser obra del demonio en realidad forma parte del Plan Divino, demasiado complejo para que podamos comprenderlo en toda su extensión; o que Dios prefirió ocultar su propia visión de la causalidad cuando se dispuso a hacer el mundo. No hay nada totalmente imposible en esos intentos filosóficos de rescate, pero parecen tener un fuerte carácter de apuntalamiento de una estructura ontológica tambaleante.(\*). Además, la idea de una microintervención en los asuntos del mundo ha sido utilizada para prestar apoyo al *statu quo* social, político y económico. Por ejemplo, estaba la idea del «Derecho Divino de los Reyes», que fue teorizada por filósofos como Thomas Hobbes. Si alguien tenía pensamientos revolucionarios con respecto a Jorge III, por poner un ejemplo, entonces era condenado por los delitos religiosos de blasfemia e impiedad, así como por otros delitos políticos más vulgares, como la traición.

---



(\*)Los teólogos han hecho muchas afirmaciones sobre Dios en materias que hoy nos parecen, como poco, engañosas. Tomás de Aquino pretendía demostrar que Dios no puede crear otro Dios, o suicidarse, o fabricar un hombre sin alma, o incluso fabricar un triángulo cuyos ángulos interiores no sumen 180 grados. Pero Bolyai y Lobachevsky fueron capaces de hacer esto último (sobre una superficie curva) en el siglo XIX y ni siquiera se acercaban a ser dioses. Curioso concepto éste, el de un Dios omnipotente con una larga lista de cosas que le está prohibido hacer por mandato de los teólogos...

---

Hay muchos debates científicos legítimos relacionados con orígenes y finales. ¿Cuál es el origen de la especie humana? ¿De dónde vienen las plantas y los animales? ¿Cómo surgió la vida? ¿Y la Tierra y los planetas, el Sol y las estrellas? ¿Tiene origen el Universo y, en ese caso, cuál? Y también una pregunta más fundamental y poco frecuente, de la que muchos científicos opinan que carece de sentido por no poderse comprobar: ¿Por qué las leyes de la Naturaleza son como son? La idea de que es necesario un Dios (o varios) para producir esos orígenes ha sido atacada en repetidas ocasiones en los últimos mil años. Gracias a nuestros conocimientos acerca del fototropismo y de las hormonas vegetales, podemos explicar hoy la eclosión la flor sin recurrir a una microintervención divina. Lo mismo pasa con la causalidad en el origen de las cosas. A medida que vamos comprendiendo mejor el universo, van quedando menos cosas para Dios. La visión que tenía Aristóteles de Dios era la de un ser capaz de producir el primer movimiento sin moverse, un *roi faineant*, un rey perezoso que crea primero el universo y se sienta luego para observar cómo van tejiéndose las intrincadas y entremezcladas cadenas de la causalidad a lo largo de los tiempos. Pero esa idea parece abstracta y alejada de la experiencia cotidiana. Es un tanto perturbadora y aviva la vanidad humana.

Los seres humanos parecen tener una aversión natural hacia la progresión infinita de las causas, y ese desagrado es precisamente el fundamento de las demostraciones más famosas y más efectivas de la existencia de Dios, formuladas por Aristóteles y Tomás de Aquino. Pero esos pensadores vivieron mucho antes de que las series infinitas se convirtiesen en un lugar común de las matemáticas. Si en la Grecia del siglo v a. J.C. se hubiese inventado el cálculo diferencial e integral o la aritmética transfinita, y no hubiesen sido desestimados posteriormente, la historia de la religión en Occidente hubiese podido ser muy distinta, o por lo menos no hubiera existido la pretensión de que la doctrina teológica puede demostrarse mediante argumentos racionales a quienes rechazan la revelación divina, como intentó Tomás de Aquino en su *Summa Contra Gentiles*.

Cuando Newton explicó el movimiento de los planetas recurriendo a la teoría de la gravitación universal, dejó de necesitarse que los ángeles empujasen los planetas. Cuando Pierre Simon, marqués de Laplace, propuso explicar el origen del sistema solar —aunque no el origen de la materia— también mediante leyes físicas, la necesidad de un dios para los orígenes de las cosas empezó a ser profundamente cuestionada. Se cuenta que Laplace presentó una edición de su trabajo matemático *Mecanique céleste* a Napoleón, a bordo del barco que a través del Mediterráneo los llevaba a Egipto en su famosa expedición de 1798. Unos días más tarde, siempre según la misma versión, Napoleón se quejó a Laplace de que en el texto no apareciese ninguna referencia a Dios.(\*). La respuesta fue: «Señor, no necesito esa hipótesis». La idea de que Dios es una hipótesis en lugar de una verdad evidente es una idea moderna en Occidente, aunque ya fue discutida seria y torcidamente por los filósofos jónicos hace unos 2.400 años.

--

(\*)Resulta encantadora la idea de que Napoleón se pasase realmente unos cuantos días a bordo repasando un texto de matemáticas avanzadas como *Mecanique céleste*. Se interesaba verdaderamente por la ciencia e hizo un intento serio por conocer los últimos descubrimientos (ver *The Society of Arcueil: A view of French Science at the Time of Napoleon I*, de Maurice de Laplace; Crosland, Cambridge, Harvard University Press, 1967). Napoleón no tuvo la intención de leer toda la *Mecanique céleste* y escribió a Laplace en otra

ocasión: «Los primeros seis meses que pueda, los dedicaré a leerlo». Pero también hizo la siguiente observación, con motivo de otro libro de Laplace: «Sus libros contribuyen a la gloria de la nación. El progreso y la perfección de las matemáticas están íntimamente ligados a la prosperidad del estado».

--

Normalmente se cree que al menos el origen del universo necesita de un Dios, según la idea aristotélica.(\*). Vale la pena detenemos un poco más sobre este punto. En primer lugar, es perfectamente posible que el universo sea infinitamente viejo, eterno, y por tanto no requiera ningún Creador. Esta idea concuerda con nuestros conocimientos cosmológicos actuales, los que permitirían un universo oscilante en el que los acontecimientos desde el Big Bang no serían sino la última encarnación de una serie infinita de creaciones y destrucciones del universo. Pero, en segundo lugar, consideremos la idea de un universo creado de la nada por Dios. La pregunta que aparece inmediatamente (de hecho, muchos críos de diez años piensan espontáneamente en ella antes de ser disuadidos por los mayores) es: ¿de dónde viene Dios? Si la respuesta es que Dios es infinitamente viejo y ha estado presente en cualquier época, no hemos resuelto nada. Con ello nos habremos limitado a retrasar un poco más el afrontar el problema. Un universo infinitamente viejo y un Dios infinitamente viejo son, a mi entender, misterios igualmente profundos. No hay evidencia de que uno de ellos esté más solidamente establecido que el otro. Spinoza pudo haber dicho que las dos posibilidades no se diferencian en nada en absoluto.

--

(\*)Sin embargo, a partir de consideraciones astronómicas, Aristóteles dedujo que en el universo existían varias docenas de seres capaces de producir el primer movimiento sin necesidad de moverse. Esos argumentos de Aristóteles parecen tener consecuencias politeístas que algunos teólogos occidentales pueden considerar peligrosas.

--

Cuando se trata de afrontar misterios tan profundos, considero prudente adoptar una actitud humilde. La idea de que los científicos y los teólogos, con el bagaje actual de conocimientos, todavía raquítico, acerca de este cosmos tan amplio y aterrador, pueden comprender los orígenes del universo es casi tan absurda como la idea de que los astrónomos mesopotámicos de hace 3.000 años —en quienes se inspiraron los antiguos Hebreos, durante la invasión babilónica, para explicar los acontecimientos cosmológicos en el primer capítulo del Génesis— hubiesen comprendido los orígenes del universo. Sencillamente no lo sabemos. El libro sagrado Hindú, el *Rig Veda* (x: 129) presenta una visión mucho más realista sobre este asunto:

*¿Quién sabe con certeza? ¿Quién puede declararlo aquí?*

*¿Desde cuándo ha nacido, desde cuándo se produjo la creación?*

*Los dioses son posteriores a la creación de este mundo;*

*¿Quién puede saber entonces los orígenes del mundo? Nadie sabe desde cuando surgió la creación;*

*Ni si la hizo o no;*

*Aquel que vigila desde lo alto de los cielos, Solo él sabe —o tal vez no lo sabe.*

Pero la época en la que vivimos es muy interesante. Algunas preguntas sobre los orígenes, incluso algunas preguntas relacionadas con el origen del universo, pueden llegar a tener una comprobación experimental en las próximas décadas. No existe una posible respuesta para las grandes preguntas cosmológicas que no choque con la sensibilidad religiosa de los seres humanos. Pero existe la posibilidad de que las respuestas desconcierten a muchas religiones doctrinales y burocráticas. La idea de una religión como cuerpo de doctrina, inmune a la crítica y determinado para siempre por algunos de sus fundadores, es a mi criterio la mejor receta para una larga desintegración de esa religión, especialmente en los últimos tiempos. En cuestiones de orígenes y principios, la sensibilidad religiosa y la científica tienen objetivos muy parecidos. Los seres humanos somos de tal forma que deseamos ardientemente conocer las respuestas a esas preguntas —a causa quizá del misterio de nuestros propios orígenes individuales. Pero nuestros conocimientos científicos actuales, aún siendo limitados, son mucho más profundos que los de nuestros antecesores babilonios del año 1000 a. J.C. Las religiones que no muestran predisposición por acomodarse a los cambios, tanto científicos como sociales, están sentenciadas de muerte. Un cuerpo de creencias no puede ser vivo y consistente, vibrante y creciente, a menos de ser sensible a las críticas más serias que le puedan ser formuladas.

La Primera Enmienda a la Constitución de los Estados Unidos contempla la diversidad de religiones, pero no prohíbe la crítica religiosa. De hecho, protege y alienta la crítica religiosa. Las religiones tienen que estar sujetas, por lo menos, al mismo grado de escepticismo que, por ejemplo, las opiniones sobre visitas de OVNI o sobre el catastrofismo de Velikovsky. Creo aconsejable que sean las propias religiones las que fomenten el escepticismo sobre los puntales fundamentales de sus propias bases. No se cuestiona que la religión proporcione alivio y ayuda, que sea un baluarte siempre presente para las necesidades emocionales y que pueda tener un papel social extremadamente útil. Pero eso no significa en absoluto que la religión tenga que ser inmune a la comprobación, al escrutinio crítico, al escepticismo. Resulta sorprendente el bajo nivel de discusión escéptica de la religión que se da en el país que Tom Paine, el autor de *The Age of Reason*, contribuyó a fundar. Sostengo que los sistemas de creencias que no son capaces de aceptar la crítica no merecen ser. Aquellos que son capaces de hacerlo posiblemente tengan en su interior importantes parcelas de verdad.

La religión solía proporcionar una visión, normalmente aceptada, de nuestro lugar en el universo. Ese ha sido, con toda seguridad, uno de los objetivos principales de los mitos y las leyendas, de la filosofía y la religión, desde que han existido los seres humanos. Pero la confrontación entre las distintas religiones y de la religión con la ciencia ha desgastado esos puntos de vista tradicionales, por lo menos en la mente de muchos.(\*). La forma de encontrar nuestro lugar en el universo se consigue examinando el universo y examinándonos a nosotros mismos —sin ideas preconcebidas, con la mente lo más abierta que podamos. No podemos empezar totalmente de cero, ya que afrontamos el problema con ciertas inclinaciones, debidas a nuestro origen hereditario y ambiental; pero, una vez comprendidos esos prejuicios artificiales, ¿no es posible arrancar de la Naturaleza nuestros conocimientos?

--

(\*)El tema no deja de tener su ironía. Agustín nació en África en el año 354 a. J.C. y en su juventud fue maniqueo, un adepto de la visión dualista del universo según la cual el bien y el mal están en conflicto en términos de igualdad, visión que más tarde fue condenada por herética por la ortodoxia cristiana. La posibilidad de que el maniqueísmo no estuviese acertado se le ocultó a Agustín cuando estudiaba astronomía. Descubrió que incluso las figuras principales de la fe no podían justificar sus misteriosas nociones astronómicas. La contradicción entre teología y ciencia en materia astronómica constituyó el impulso inicial que le condujo hacia el catolicismo, la religión de su madre, la misma religión que siglos más tarde persiguió a científicos como Galileo por mejorar nuestros conocimientos astronómicos. Agustín se convirtió posteriormente en San Agustín, una de las principales figuras de la historia de la Iglesia católica y su madre se convirtió en Santa Mónica, en honor de la cual recibió su nombre uno de los suburbios de Los Angeles. Bertrand Russell se

preguntó cuál hubiese sido el punto de vista de Agustín en cuanto al conflicto entre astronomía y teología si hubiese vivido en tiempos de Galileo.

--

Los que propugnan religiones doctrinales —aquellas que priman un determinado cuerpo de creencias y que desprecian a los infieles— están amenazados por el valiente afán de adquirir conocimientos. Dicen que puede ser peligroso profundizar demasiado. Mucha gente ha heredado su religión al igual que el color de sus ojos: la consideran algo sobre lo que no hay que pensar con detenimiento y, en cualquier caso, algo que escapa a nuestro control. Pero aquellos que sienten en lo más profundo de su ser una serie de creencias, que han ido seleccionando, sin excesivos prejuicios, de entre los hechos y las alternativas, han de sentirse atraídos por los interrogantes. El disgusto hacia las dudas relativas a nuestras creencias es la señal de alerta del cuerpo: ahí se encuentra un bagaje doctrinal no examinado y posiblemente peligroso.

Christian Huygens escribió en 1670 un interesante libro en el que hacía una serie de especulaciones atrevidas y premonitorias sobre la naturaleza de los demás planetas del sistema solar. Huygens era muy consciente de que muchos consideraban objetables sus especulaciones, así como sus observaciones astronómicas. «Pero tal vez dirán», pensaba Huygens, «que no nos corresponde a nosotros ser tan curiosos e inquisitivos en esas Cosas que el Supremo Creador parece haber conservado para su propio Conocimiento: Ya que al no haber deseado llevar más allá el Descubrimiento o Revelación de ellas, no parece sino presunción investigar en aquello que ha considerado oportuno esconder. Pero hay que decir a esos caballeros», proseguía atronadamente Huygens, «que es mucha su pretensión de determinar hasta que punto, y no más allá, debe caminar el Hombre en sus Búsquedas y la de imponer límites a la Actividad de los demás Hombres; como si conociesen los Límites que Dios ha impuesto al Conocimiento; o como si los Hombres fuesen capaces de superar esos Límites. Si nuestros Antecesores hubiesen sido hasta ese punto escrupulosos, todavía seríamos ignorantes de la Magnitud y la Figura de la Tierra, o de que existe un sitio llamado América.

Si consideramos el universo como un todo, encontraremos algo sorprendente. En primer lugar, encontramos un universo que es excepcionalmente bello, construido de forma intrincada y sutil. Sobre si nuestra apreciación del universo se debe o no a que formamos parte de él —sobre si lo encontraríamos bello, independientemente de como estuviese constituido el universo— no pretendo dar una respuesta. Pero no existe la menor duda de que la elegancia del universo es una de sus propiedades más notables. Al mismo tiempo, no puede cuestionarse que existen cataclismos y catástrofes que se repiten periódicamente en el universo y a la escala más temible. Se dan, por ejemplo, explosiones de quásares que posiblemente arrasen los núcleos de las galaxias. Parece probado que cada vez que explota un quásar, saltan por los aires más de un millón de mundos y que innumerables formas de vida, algunas de ellas inteligentes, quedan brutalmente destruidas. No es ese el universo tradicionalmente benigno de la religiosidad convencional de Occidente, construido para el provecho de los seres vivos y, en particular, de los hombres. De hecho, las enormes dimensiones del universo —mas de cien mil millones de galaxias, cada una de las cuales contiene más de cien mil millones de estrellas— ponen de manifiesto la inconsecuencia de los acontecimientos humanos en el contexto cósmico. Vemos al mismo tiempo un universo muy bello y muy violento. Vemos un universo que no excluye al dios tradicional de Oriente u Occidente, pero que tampoco requiere uno.

Creo intensamente que si existe un dios o algo por el estilo, nuestra curiosidad y nuestra inteligencia han de ser proporcionadas por ese dios. Seríamos desagradecidos para con esos dones (así como incapaces de emprender ese tipo de acción) si suprimiésemos nuestra pasión por explorar el universo y a nosotros mismos. Por otro lado, si ese dios tradicional no existe, nuestra curiosidad y nuestra inteligencia son las herramientas fundamentales para procurarnos la supervivencia. En ambos casos la empresa del conocimiento es coherente tanto con la ciencia como con la religión y resulta esencial para el bienestar de la especie humana.



## 24. COTT Y LAS TORTUGAS

*Imaginaos ahora este instante*

*en que los murmullos se arrastran discretamente y  
las espesas tinieblas*

*llenen el gran navío del Universo.*

WILLIAM SHAKESPEARE. *Enrique V*, acto IV, prólogo

En los primeros mitos y leyendas de nuestra especie aparece una misma y comprensible visión del mundo: es antropocéntrica. También existían dioses, pero estos tenían sentimientos y debilidades y resultaban muy humanos. Su comportamiento se nos presentaba caprichoso. Podían resultar propicios a través del sacrificio y la oración. Intervenían normalmente en los asuntos humanos. Diversas facciones de dioses prestaban su apoyo a los distintos bandos contendientes en una guerra. La *Odisea* expresa la idea generalmente aceptada de que es prudente ser amable con los extranjeros; pueden ser dioses disfrazados. Los dioses desposan seres humanos y sus descendientes son indistinguibles, por lo menos en apariencia, de los mortales. Los dioses viven en montañas o en el cielo, o en algún reino subterráneo o submarino; en cualquier caso, lejos de nosotros. Resultaba difícil acercarse a un dios y, por lo tanto, arduo comprobar las historias que se relataban sobre ellos. Algunas veces, sus acciones estaban controladas por seres todavía más poderosos, como las Parcas controlaban a los dioses del Olimpo. La naturaleza del universo como un todo, su origen y su destino, no se consideraban bien comprendidos. En los mitos védicos, aparece la duda, no sólo de si los dioses crearon el mundo, sino también de si sabían quién o qué lo creó. Hesíodo en su *Cosmogonía* apunta que el universo fue creado a partir del (o tal vez por el) Caos, aunque posiblemente se trate sólo de una metáfora que oculte la dificultad en hallar una solución al problema.

Algunas antiguas visiones cosmológicas asiáticas se acercan mucho a la idea de una regresión infinita de las causas, como puede servir de ejemplo la siguiente historia apócrifa. Un viajante occidental se encuentra con un filósofo oriental y le pide que le describa la naturaleza del mundo:

—Es una gran bola que reposa sobre la espalda de la tortuga del mundo.

—Muy bien, pero, ¿sobre qué se apoya la tortuga del mundo?

—Sobre la espalda de una tortuga todavía mayor.

—Bueno, pero, ¿sobre qué se apoya esta?

—Una pregunta muy sagaz. Pero no hace al caso, señor; siempre hay una tortuga debajo.

En la actualidad sabemos que vivimos en una diminuta mota de polvo inmersa en un universo inmenso y que nos disminuye. Caso de existir, los dioses no intervienen ya en los asuntos de los hombres. No vivimos en un universo antropocéntrico. Y la naturaleza, el origen y el destino del cosmos parecen ser misterios mucho menos profundos de lo que creían nuestros antepasados remotos.

Pero la situación esta cambiando nuevamente. La cosmología (el estudio del universo como un todo) se está convirtiendo en una ciencia experimental. La información obtenida a través de radiotelescopios y telescopios ópticos basados en tierra, telescopios de rayos X y ultravioleta en órbita alrededor de la Tierra, mediciones de reacciones nucleares en el laboratorio y determinaciones de la abundancia de los elementos químicos en los meteoritos, está estrechando el campo de las posibles hipótesis cosmológicas; y no parece excesivo esperar que pronto podamos disponer de respuestas a preguntas que antaño se consideraban del dominio exclusivo de la especulación filosófica y teológica.

Esta revolución observacional tiene su punto de partida en una fuente poco frecuente. En la segunda década del presente siglo hubo —y sigue habiendo— en Flagstaff, Arizona, un medio astronómico llamado Observatorio Lowell, fundado por Percival Lowell, como no podía ser de otra manera. Para Lowell, la búsqueda de vida en otros planetas era una pasión que le consumía; fue también quien popularizó y promovió la idea de que Marte estaba cruzado por canales, que creía contruidos por una raza de seres enamorados de la ingeniería hidráulica. Ahora sabemos que los canales no existen en absoluto; fueron el producto de un pensamiento deseoso de que así fuera y de las limitaciones de observación impuestas por la turbulenta atmósfera terrestre.

Entre otras cuestiones, Lowell estaba muy interesado por las nebulosas espirales, exquisitos objetos celestes luminosos en forma de molinete, de los que hoy sabemos que son conjuntos muy alejados de centenares de miles de millones de estrellas individuales. Un ejemplo cercano es la galaxia de la Vía Láctea, de la que forma parte nuestro Sol. Pero por aquella época no había forma de determinar la distancia a esas nebulosas, y Lowell se interesó por una hipótesis alternativa: la de que las nebulosas espirales no eran entidades multiestelares, enormes y distantes, sino objetos más próximos y bastante pequeños, que serían los primeros estadios de la condensación de una estrella individual a partir del gas y el polvo interestelar. A medida que esas nubes de gas se contraían por autogravitación, la conservación del momento angular exigía que aumentaran su velocidad hasta adquirir una rotación rápida, convirtiéndolas en un disco plano. La rotación rápida puede detectarse astronómicamente mediante espectroscopía, dejando que la luz procedente de un objeto alejado pase consecutivamente por un telescopio, una rendija y un prisma de vidrio o cualquier otro instrumento que descomponga la luz blanca dando un arco iris de colores. El espectro de la luz estelar contiene rayas brillantes y oscuras diseminadas por el arco iris, que son las imágenes de la rendija del espectrómetro. Un ejemplo de ello lo constituyen las brillantes rayas amarillas emitidas por el sodio, que aparecen cuando sumergimos un trozo de sodio en la llama. Si la materia está constituída por elementos químicos muy diversos presentará rayas espectrales muy diversas. Cuando la fuente luminosa está en reposo, el desplazamiento de estas rayas espectrales desde sus longitudes de onda habituales nos proporciona información acerca de la velocidad de la fuente al separarse de nosotros o acercarse. Este fenómeno es llamado efecto Doppler, y en la física del sonido se presenta en forma de incremento o disminución de la tonalidad del ruido del motor de un automóvil según éste se acerca o se aleja rápidamente de nosotros.

Se dice que Lowell pidió a uno de sus jóvenes ayudantes, V. M. Slipher, que comprobase si uno de los bordes de la mayor nebulosa espiral presentaba rayas espectrales desplazadas hacia el rojo y el otro hacia el azul, con lo cual podría deducirse la velocidad de rotación de la nebulosa. Slipher investigó los espectros de las nebulosas espirales más próximas y encontró con sorpresa que casi todos ellos presentaban un desplazamiento hacia el rojo, sin presencia de desplazamientos hacia el azul en ninguna de ellas. No encontró rotación sino recesión. Era como si todas las nebulosas espirales se alejasen de *nosotros*.

Edwin Hubbell y Milton Humason realizaron una serie mucho más completa de observaciones en los años '20 desde el Observatorio de Mount Wilson, e idearon un método para determinar la distancia de las nebulosas espirales; quedó patente entonces que no eran nubes de gas en condensación relativamente próximas a la Galaxia de la Vía Láctea, sino grandes galaxias a millones de años luz o más. Con sorpresa descubrieron que, cuanto más lejos estaba la galaxia, más se alejaba de nosotros. Como es muy improbable que nuestra posición en el cosmos tenga algo de especial, esa situación sólo puede entenderse

en función de una expansión general del universo: todas las galaxias se alejan entre sí, de forma que un astrónomo situado en cualquier galaxia observará que todas las demás siempre se alejan de él.

Si extrapolamos al pasado esa recesión mutua, encontramos que debió haber habido una época —hace unos 15 ó 20 mil millones de años— en que todas las galaxias tendrían que haber estado «tocándose», es decir, confinadas en un volumen del espacio extremadamente pequeño. La materia en su forma actual no sería capaz de soportar una compresión tan fuerte. Las primeras etapas de ese universo en expansión habrán estado dominadas por la radiación y no por la materia. Ya se ha generalizado la utilización del término *Big Bang* para designar ese período.

Se han propuesto tres explicaciones para esa expansión del universo: las cosmologías del Estado Estable, del Big Bang y del Universo Oscilante. En la hipótesis del Estado Estable, las galaxias se alejan entre sí y las más alejadas se desplazan a velocidades aparentes muy elevadas, desplazándose su luz por efecto Doppler hacia longitudes de onda cada vez mayores. Habrá una distancia en la que una galaxia se desplazará tan deprisa que alcanzará su horizonte de acontecimientos y desde nuestro punto de vista, desaparecerá. Existe una distancia tan grande que, en un universo en expansión, no existe la posibilidad de obtener información de más allá. A medida que transcurre el tiempo, si no ocurre nada más, irán desapareciendo cada vez más galaxias por el borde. Pero en la cosmología del Estado Estable, la materia que se pierde por el borde queda compensada exactamente por nueva materia que se va creando continuamente en cualquier punto, materia que puede llegar a condensarse en galaxias. Con un grado de desaparición de galaxias por el horizonte de acontecimientos contrarrestado por el de creación de nuevas galaxias, el universo siempre parece prácticamente el mismo desde cualquier lugar y en cualquier época. En la cosmología del Estado Estable, no hay Big Bang. Hace cien mil millones de años, el universo debía parecerse mucho al de ahora y así será dentro de cien mil millones de años más. Pero, ¿de dónde viene la materia nueva? ¿Cómo puede crearse materia de la nada? Los adeptos de la cosmología del Estado Estable responden que del mismo sitio en el que los adeptos del Big Bang encuentran su «Bang». Si podemos concebir que toda la materia se crease discontinuamente de la nada hace 15 ó 20 mil millones de años, ¿por qué somos reticentes a imaginar que se crea constantemente, en cualquier lugar y para siempre, de forma paulatina? Si la hipótesis del Estado Estable es verdadera, nunca las galaxias han estado más juntas. Por tanto, el universo es inimitable e infinitamente viejo.

Pero aún a pesar de lo plácida y, cosa curiosa, lo satisfactoria que es la cosmología del Estado Estable, existen fuertes indicios en su contra. Cuando se apunta un radiotelescopio sensible a cualquier punto del cielo, puede detectarse un ruido cósmico constante. Las características de ese ruido de radio corresponden casi plenamente a lo que cabría esperar si el universo primitivo fuese caliente y estuviese repleto de radiación además de materia. La radiación cósmica del cuerpo negro es prácticamente la misma en cualquier lugar del cielo y se parece mucho al lejano retumbar del Big Bang, enfriado y atenuado por la expansión del universo, pero todavía en circulación por los pasillos del tiempo. La bola de fuego primigenia, el acontecimiento explosivo que dio inicio al universo en expansión, puede ser observado. Los adeptos de la cosmología del Estado Estable se ven reducidos, en la actualidad, a situar un gran número de fuentes especiales de radiación que globalmente puedan reproducir con fidelidad la bola de fuego primigenia enfriada. O incluso a proponer que el universo, mas allá del horizonte de acontecimientos, se encuentra en estado estable; pero que, por un accidente singular, vivimos en una especie de pompa en expansión, un grano violento en un universo mucho más amplio, pero mucho más plácido. Esta idea tiene la ventaja o la desventaja, según el punto de vista, de ser imposible de refutar mediante cualquiera de los experimentos que podamos imaginar. Pero de hecho, prácticamente todos los cosmólogos han abandonado la hipótesis del Estado estable.

Si el universo no se encuentra en estado estable, entonces está cambiando. Las cosmologías evolutivas describen esos universos cambiantes: empiezan en un estado y acaban en otro. ¿Cuáles son los posibles destinos del universo en las cosmologías evolutivas? Si el universo continúa expandiéndose a su ritmo actual y las galaxias continúan



desapareciendo por el horizonte de acontecimientos, cada vez habrá menos materia en el universo visible. Las distancias entre las galaxias aumentarán y cada vez habrá menos galaxias espirales que puedan ser observadas por los sucesores de Slipher, Hubble y Humason. Eventualmente, hasta la más próxima llegará a superar el horizonte de acontecimientos y los astrónomos dejarán de poder verla, excepto en fotografías y libros (muy) viejos. Debido a la gravedad que mantiene unidas las estrellas de nuestra galaxia, el universo en expansión no va a disiparla, pero también aquí nos aguarda una suerte extraña y desoladora. Las estrellas irán evolucionando, y dentro de centenares o miles de millones de años la mayoría de las estrellas comunes se habrán convertido en pequeñas enanas negras. El resto, las más grandes, habrán colapsado en estrellas de neutrones o en agujeros negros. No habrá nueva materia para una vigorosa generación de jóvenes estrellas. El Sol, las estrellas, en suma toda la Galaxia de la Vía Láctea se irá apagando lentamente. Las luces nocturnas del cielo dejarán de ser.

Pero en ese universo todavía hay una evolución posible. Todo el mundo ha oído hablar de elementos radiactivos; son ciertos tipos de átomos que se desintegran espontáneamente. El uranio es uno de ellos. Pero no todo el mundo sabe que *cualquier* átomo, excepto el hierro, es radiactivo, dado un periodo de tiempo lo suficientemente largo. Incluso los átomos más estables se desintegrarán radiactivamente, si esperamos lo suficiente. Pero, ¿cuánto tiempo? El físico norteamericano Freeman Dyson, del *Institute for Advanced Study*, ha calculado que la vida media del hierro es de unos  $10^{500}$  años, un uno seguido de quinientos ceros (un número tan grande que un experto en números tardará casi diez minutos en escribirlo). Pues bien, si esperamos un poco más —para el caso, bastaría con  $10^{600}$  años— no sólo habrán desaparecido las estrellas, sino que toda la materia del universo que no estuviese en estrellas de neutrones o agujeros negros se habrá desintegrado en polvo nuclear. Eventualmente, las galaxias también habrán desaparecido. Los soles se habrán oscurecido, la materia desintegrada y no quedará ningún resquicio para la supervivencia de la vida o la inteligencia, o la civilización. Una muerte fría, oscura y desoladora del universo.

Pero, ¿necesita expandirse siempre el universo? Si estoy en un pequeño asteroide y lanzo una piedra hacia arriba, ésta podría abandonar el asteroide si en ese mundo no hay la suficiente gravedad como para hacer regresar la roca. Si lanzamos la misma roca a la misma velocidad desde la superficie de la Tierra, obviamente volverá a caer debido a la intensa gravedad existente en nuestro planeta. Pero la misma ley física sirve para todo el conjunto del universo. Si hay menos de una cierta cantidad de materia, cada galaxia experimentará una atracción gravitatoria insuficiente desde las demás galaxias como para frenarla, y la expansión del universo proseguirá indefinidamente. Por otro lado, si existe masa por encima de ese valor crítico, la expansión irá atenuándose eventualmente y nos salvaremos de la desoladora teleología de un universo en continua expansión.

¿Cuál sería en este caso el destino del universo? Un observador eterno podría ver que la expansión se va deteniendo y convirtiendo gradualmente en contracción, mientras las galaxias se van acercando entre sí a un ritmo cada vez mayor, haciendo pedazos galaxias, mundos, vida, civilizaciones y materia, hasta que cualquier estructura del universo sea totalmente destruida y toda la materia del cosmos convertida en energía: en lugar de un universo que culmine en una tenue y fría desolación, tenemos aquí un universo que se acaba en una densa y caliente bola de fuego. Es muy probable que esa bola de fuego rebote de nuevo hacia afuera, produciendo una nueva expansión del universo y una nueva encarnación de la materia, una nueva serie de condensaciones de galaxias y estrellas y planetas, una nueva evolución de la vida y la inteligencia. Pero la información de nuestro universo no penetrará en el siguiente, por lo que desde nuestra perspectiva esta cosmología oscilante proporciona un final tan definitivo y deprimente como la expansión que nunca acaba.

La diferencia entre un Big Bang con expansión indefinida y un Universo Oscilante estriba en la cantidad de materia existente. Si se supera la cantidad crítica, vivimos en un Universo Oscilante. Y si no, vivimos en un universo que se expande indefinidamente. Los tiempos de expansión, medidos en decenas de miles de millones de años, son tan largos que no afectan a ninguna preocupación humana inmediata. Pero son de la mayor importancia para nuestra

visión de la naturaleza, del destino del universo y —sólo un poco mas remotamente— de nosotros mismos.

Un importante artículo científico publicado el 15 de diciembre de 1974 en *Astrophysical Journal* aporta datos observacionales que aclaran la cuestión de si el universo continuará expansionándose indefinidamente (un universo «abierto») o si irá desacelerándose progresivamente hasta volver a contraerse (un universo «cerrado»), posiblemente formando parte de una serie infinita de oscilaciones. El trabajo fue realizado por J. Richard Gott III y James E. Gunn, ambos por entonces en el *California Institute of Technology* y David N. Schramm y Beatrice M. Tinsley, por entonces en la Universidad de Texas. En uno de sus argumentos, revisaron los cálculos de la cantidad de masa en las galaxias y en el espacio interestelar en regiones del espacio «cerca» y bien observadas, y extrapolaron los datos al resto del universo: encontraron que no habría materia suficiente como para atenuar la expansión.

El hidrógeno normal posee un núcleo con un único protón. El hidrógeno pesado, llamado deuterio, posee un núcleo con un protón y un neutrón. El telescopio astronómico *Copernicus*, en órbita, ha medido por primera vez la cantidad de deuterio entre las estrellas. El deuterio debe haberse fabricado en el Big Bang en una cantidad que depende de la densidad primitiva del universo. Esta densidad primitiva guarda relación con la densidad actual del universo. La cantidad de deuterio determinada por el *Copernicus* supone un valor de la densidad inicial del universo que es insuficiente para evitar que siga expandiéndose para siempre.(\*). Y lo que se considera el mejor valor de la constante de Hubble —que especifica la mayor velocidad de alejamiento de las galaxias más alejadas respecto de las más próximas— es coherente con todo ello.

--

(\*) Pero todavía se mantiene vivo el debate sobre la cantidad de deuterio que puede elaborarse en los interiores estelares y arrojarse posteriormente al gas interestelar. Si esa cantidad es significativa, la abundancia actual de deuterio tendría un papel menos importante en la densidad del universo primitivo.

--

Gott y sus colegas hicieron mucho hincapié en la existencia de numerosas lagunas en su argumento. Podría ocurrir que la materia intergaláctica estuviese escondida de forma tal que no pudiésemos detectarla. De hecho, ya empezamos a disponer de indicios sobre la presencia de esa masa escondida. Los Observatorios Astronómicos de Alta Energía (HEAO) son un conjunto de satélites en órbita alrededor de la Tierra que barren el universo buscando las partículas y la radiación que no podemos leer desde aquí, bajo nuestra espesa manta de aire. Los satélites de ese tipo han detectado una intensa emisión de rayos X procedente de cúmulos galácticos y de los espacios intergalácticos en los que, hasta ahora, no existían indicios de materia. Un gas extraordinariamente caliente situado entre las galaxias resultaría invisible por cualquier otro método experimental, y por ende no figuraría en el inventario de materia cósmica elaborado por Gott y sus colegas. Pero aún más: los estudios radioastronómicos llevados a cabo desde el Observatorio de Arecibo en Puerto Rico han demostrado que la materia de las galaxias se extiende mucho más allá de la luz óptica procedente de los bordes aparentes de las galaxias. Cuando miramos la fotografía de una galaxia, vemos un borde mas allá del cual no parece haber más materia. El radiotelescopio de Arecibo ha encontrado que la materia pierde el brillo muy lentamente y que existe una cantidad importante de materia oscura en la vecindad y en el exterior de las galaxias, materia que no había sido contabilizada en los registros previos.

La cantidad de materia extra que se necesita para que el universo revierta su expansión es muy importante; viene a equivaler a unas treinta veces la cantidad de materia contabilizada en los inventarios habituales, como el realizado por Gott. Pero puede ocurrir que el gas y el polvo oscuros que se encuentran en las proximidades de las galaxias, y el gas sorprendentemente caliente que emite rayos X entre las galaxias constituyan entre ellos un

volumen de materia suficiente como para frenar el universo y evitar que éste se expanda indefinidamente. Todavía no puede decirse nada definitivo. Las observaciones de deuterio parecen apuntar en el otro sentido. Nuestras recopilaciones de masa distan mucho de ser completas, pero a medida que se desarrollen las técnicas de observación, iremos adquiriendo una capacidad creciente para detectar la masa ausente, y entonces el péndulo podría oscilar hacia un universo cerrado.

Me parece aconsejable que no nos formemos un criterio definitivo al respecto de forma demasiado prematura. Posiblemente resulte mejor evitar que nuestras preferencias personales influyan en la decisión. En lugar de ello, y en la mejor tradición de aquella ciencia que ha conseguido grandes éxitos, deberíamos potenciar que fuese la propia Naturaleza la que nos revelase la verdad. Pero el ritmo de los descubrimientos se va acelerando. La naturaleza del universo que va surgiendo de la cosmología experimental moderna es muy distinta de la que conocían los griegos, que especulaban con el universo y los dioses. Al haber evitado el antropocentrismo, al haber tenido en cuenta de forma real y desapasionada todas las posibilidades, podría ocurrir que en las próximas décadas determinásemos rigurosamente, por primera vez, la naturaleza y el destino del universo. Y entonces veremos si Gott sabe o no. (\*)

--

(\*) Juego de palabras entre Gott, el astrónomo, y *God*, que en inglés significa Dios. (N. del T.)

--

## 25. EL UNIVERSO AMNIÓTICO

*Para un hombre es tan natural morir como nacer; y para un niño pequeño, tal vez, lo uno es tan penoso como lo otro.*

FRANCIS BACON, *Of Death* (1612)

*La cosa más bella que podemos experimentar es lo misterioso. Es la fuente de toda verdad y ciencia. Aquel para quien esa emoción es ajena, aquel que ya no puede maravillarse y extasiarse ante el miedo, vale tanto como un muerto: sus ojos están cerrados... Saber que lo impenetrable para nosotros existe realmente, manifestándose como la prudencia máxima y la belleza más radiante que nuestras torpes capacidades pueden comprender tan solo en sus formas más primitivas... este conocimiento, este sentimiento, se encuentra en el centro de la verdadera religiosidad. En ese sentido, y sólo en ese sentido, pertenezco a las filas de los hombres religiosos devotos.*

ALBERT EINSTEIN, *Lo que creo* (1930)

William Wolcott murió y subió al cielo. O eso parecía. Antes de que le llevaran al quirófano, le hicieron saber que la intervención quirúrgica comportaba un cierto riesgo. La operación fue un éxito, pero cuando la anestesia dejaba de producir sus efectos, su corazón entró en fibrilación y murió. Le pareció que, de alguna manera, había dejado su cuerpo y era capaz de situarse por encima de él... Lo vio debajo suyo, marchito y patético, cubierto tan sólo por una sábana, tumbado sobre una superficie dura e implacable. Se puso algo triste; miró su cuerpo por última vez —desde una gran altura, según le pareció— y prosiguió su viaje hacia arriba. Su entorno estaba sumido en una extraña oscuridad penetrante, pero se dio cuenta de que todo se estaba volviendo más brillante a medida que subía. Luego divisó una luz en la lejanía, una luz muy intensa. Penetró en una especie de reino radiante y allí mismo, justo por encima de él, pudo percibir una silueta, magníficamente iluminada desde atrás, una gran figura venerable a la que se iba aproximando sin esfuerzo. Wolcott se esforzó por ver Su cara...

Y entonces despertó. En el hospital le habían aplicado a toda velocidad el desfibrilador y acababa de resucitar en el último instante. En realidad, su corazón había dejado de latir y, según algunas definiciones de un proceso poco comprendido, había muerto. Wolcott quedó convencido de haber muerto verdaderamente, de que se le había otorgado permiso para dar una ojeada a la vida después de la muerte para tener una confirmación de la teología judeocristiana.

A lo largo y ancho del mundo se han producido experiencias parecidas, hoy en día muy documentadas por médicos y otros. Estas Epifanías peritanáticas (próximas a la muerte) han sido experimentadas no sólo por personas de religiosidad occidental sino también por hindúes, budistas y escépticos. Es posible que muchas de nuestras ideas convencionales acerca del cielo procedan de experiencias próximas a la muerte de ese tipo, que habrán ido

produciéndose a lo largo de los milenios. Ninguna noticia podía ser más interesante o más esperanzadora que la relatada por un muerto regresado: la explicación de que hay un viaje y una vida después de la muerte, de que hay un Dios que nos espera y de que al morir nos sentimos agradecidos y elevados, aterrados y anonadados.

Por lo que yo sé, estas experiencias pueden ser exactamente lo que representan, así como una justificación de la piadosa fe que tantas veces ha sufrido los embates de la ciencia en los últimos siglos. A mí personalmente me gustaría mucho que existiese una vida después de la muerte, en especial si eso fuera a permitirme seguir aprendiendo sobre este mundo y otros, si me proporcionara la posibilidad de descubrir cómo se desarrolla la historia. Pero también soy un científico y, por lo tanto, pienso también en otras explicaciones posibles. ¿Cómo puede ser que personas de todas las edades, culturas y predisposiciones escatológicas, experimenten las mismas experiencias estando próximos a la muerte?

Sabemos que esas experiencias pueden inducirse con bastante regularidad, de forma contracultural, a través de las drogas psicodélicas.(\*). Las experiencias de abandono del cuerpo son inducidas por sustancias anestésicas disociativas como las cetaminas [2-(o-clorofenil)-2-(metila-mino)ciclohexanonas]. La ilusión de volar es inducida por la atropina y otros alcaloides extraídos de la belladona, y esas moléculas obtenidas de la mandrágora o del estramonio han sido utilizadas normalmente por las brujas europeas y los *curanderos(\*\*)* norteamericanos para gozar, en el trance del éxtasis religioso, de un vuelo placentero y glorioso. La MDA [2,4-metilendioxiánfetamina] tiende a provocar una regresión de edad, un acceso a experiencias juveniles e infantiles que considerábamos totalmente olvidadas. La DMT [N,N-dimetiltriptamina] provoca *micropsia* y *macropsia*, las sensaciones de que el mundo se encoge o se expande, respectivamente; algo parecido a lo que le pasa a Alicia después de obedecer las instrucciones escritas sobre los pequeños recipientes que dicen: «Cómeme» o «Bébe». El LSD [dietilamida del ácido lisérgico] provoca una sensación de unión con el universo, como en la identificación de Brahma con Atman en el sistema de creencias hindú.

--

(\*)Resulta interesante preguntarse por qué existen moléculas psicodélicas, y en gran abundancia, en plantas muy diversas. Dichas moléculas no parecen proporcionar ningún beneficio inmediato a las plantas. No es probable que la planta del *cannabis* se «eleve» por su complemento de la tetra-hidrocannabinol. Pero los seres humanos cultivan el *cannabis* porque las propiedades alucinógenas de la marihuana resultan muy apreciadas. Es bien conocido que en algunas culturas, las plantas psicodélicas constituyen la única vegetación doméstica. Es posible que en esa etnobotánica se haya desarrollado una relación simbiótica entre las plantas y los seres humanos. Se cultivan preferentemente aquellas plantas que por accidente proporcionan las sustancias psicodélicas deseadas. Esta selección artificial puede influir poderosamente en la evolución subsiguiente, y en periodos de tiempo relativamente cortos —por ejemplo, decenas de miles de años—, como queda patente al comparar muchos animales domesticados con sus antepasados. Estudios recientes también ponen de manifiesto la posibilidad de que las sustancias psicodélicas actúen por el hecho de ser químicos parecidos a sustancias naturalmente producidas por el cerebro, que inhiben o amortiguan la transmisión nerviosa y que pueden contar entre sus funciones con la inducción de cambios endógenos en la percepción o el humor.

(\*\*)En castellano en el original. (N. del T.)

--

¿Es posible que dispongamos previamente en nuestra psíquis de la experiencia mística hindú y que sólo necesitemos 200 microgramos de LSD para ponerla de manifiesto? Si se segrega algo parecido a la cetamina en momentos de peligro mortal y los que regresan de una experiencia de ese tipo siempre cuentan el mismo relato del cielo y de Dios, ¿no debe haber acaso una forma en que las religiones occidentales, así como las orientales, estén grabadas en la arquitectura neuronal de nuestros cerebros?

Resulta difícil pensar que la evolución haya buscado seleccionar algunos cerebros predispuestos a tales experiencias, ya que parece ser que nadie muere ni deja de reproducir un deseo de fervor místico. ¿Pueden deberse esas experiencias inducidas por drogas únicamente a algún defecto evolutivo de conexiones cerebrales que, ocasionalmente, hace aparecer percepciones alteradas del mundo? A mi criterio, esa posibilidad es extremadamente poco plausible y tal vez no sea sino un desesperado intento racionalista de evitar un encuentro frontal con lo místico.

La única alternativa que se me ocurre es la de que todo ser humano sin excepción ya debe haber sufrido una experiencia similar a la de los viajeros que regresan de la tierra de la muerte, la sensación de vuelo, el paso de la oscuridad a la luz. Una experiencia en la que, al menos en algunas ocasiones, puede entereverse una figura heroica, bañada en resplandor y gloria. Esa experiencia común a todos es el *nacimiento*.

Stanislav Grof, médico y psiquiatra, fue el primero en utilizar LSD y otras drogas psicodélicas en estudios de psicoterapia. Su trabajo es bastante anterior a la cultura de la droga en Norteamérica; se inició en Praga, Checoslovaquia en 1956, prosiguiendo años más tarde en Baltimore, Maryland. Es probable que Grof posea más experiencia científica continuada sobre los efectos de las drogas psicodélicas en pacientes que ningún otro terapeuta.(\*). Sostiene que, así como el LSD puede utilizarse con fines recreativos y estéticos, también puede tener otros efectos más profundos, uno de los cuales es el recuerdo preciso de experiencias perinatales. «Perinatal» es un neologismo que significa «próximo al nacimiento», y no se refiere sólo a los momentos posteriores al nacimiento, sino también a los anteriores. Es del mismo tipo que peritánico, próximo a la muerte. Grof dispone de historias clínicas de muchos pacientes que, tras una serie adecuada de sesiones, vuelven a experimentar realmente experiencias profundas de los tiempos perinatales, ocurridas hace mucho tiempo y previamente consideradas imposibles de refrescar por nuestra imperfecta memoria. De hecho es una experiencia bastante habitual con LSD, no limitada a los pacientes de Grof.

--

(\*)Una fascinante descripción del trabajo de Grof y del mundo de los fármacos psicodélicos puede encontrarse en la obra *Psychodelic Drugs Reconsidered* de Lester Grinspoon y James Bakalar (Basic Books, Nueva York, 1979). La descripción de sus descubrimientos hecha por el propio Grof aparece en *Realms of Human Unconscious* por S. Grof (E. P. Dutton, Nueva York, 1976) y *The Human Encounter with Death* por S. Grof y J. Halifax (E. P. Dutton, Nueva York, 1977).

--

Grof distingue cuatro estadios perinatales, cubiertos por la terapia con fármacos psicodélicos. El Estadio 1 es el de la complacencia dichosa del niño en el seno, libre de cualquier ansiedad y centro de un pequeño universo oscuro y caliente —un cosmos en una bolsa amniótica—. En ese estado intrauterino, parece ser que el feto experimenta algo muy parecido al éxtasis oceánico descrito por Freud como una de las fuentes de la sensibilidad religiosa. Evidentemente, el feto se mueve. Posiblemente justo antes de nacer esté bien alerta, tal vez más incluso que justo después de nacer. No parece imposible que podamos recordar de manera imperfecta ese edén, esa edad de oro cuando cualquier necesidad —de alimentos, oxígeno, calor y expulsión de restos— quedaba cubierta automáticamente por un sistema de apoyo a la vida soberbiamente diseñado. Un estado que, en una reposición más o menos precisa, se describe como «estar fundido con el universo».

En el Estadio 2 se inician las contracciones uterinas. La base del estable ambiente intrauterino, las paredes a las que se fija la bolsa amniótica, se vuelven traidoras. El feto es comprimido terriblemente. El universo parece pulsar; un mundo benigno se convierte de repente en una cámara de tortura. Las contracciones pueden durar horas, y se presentan en forma intermitente. A medida que pasa el tiempo, aumenta su intensidad. No hay posibilidad de que cesen. El feto no ha hecho nada para merecer esa suerte; es un inocente

cuyo cosmos se le ha vuelto en contra, proporcionándole una agonía en apariencia sin fin. La dureza de esa experiencia es evidente para cualquiera que haya visto una distorsión craneal neonatal, la que sigue apreciándose bastantes días después del nacimiento. Así como es fácil comprender una fuerte motivación por borrar decididamente toda traza de esa agonía, ¿no es posible admitir que resurja acaso, bajo determinadas condiciones? Acaso, sugiere Grof, el vago y reprimido momento de esa lejana experiencia puede incitar fantasías paranoicas. Incluso puede explicar nuestras humanas predilecciones por el sadismo y el masoquismo, por la identificación entre asaltante y víctima, por ese gusto infantil por la destrucción. Grof indica que las reposiciones en el siguiente estadio están relacionadas con imágenes de mareas y terremotos, las imágenes análogas en el mundo físico a la traición intrauterina.

El Estadio 3 es el final del proceso del nacimiento, cuando la cabeza de la criatura se ha introducido en la cervix y, a través de sus párpados cerrados, percibe un túnel iluminado en su extremo por el radiante esplendor del mundo extrauterino. El descubrimiento de la luz realizado por una criatura que ha vivido toda su existencia en la oscuridad debe constituir una experiencia profunda e inolvidable. Y allí se entrevé confusamente, por la poca resolución de los ojos del recién nacido, una figura enorme parecida a un dios, rodeada de un halo de luz (la comadrona, el médico o el padre). Al término de un trabajo monstruoso, el bebé vuela desde el universo intrauterino y se eleva hacia las luces y los dioses.

El Estadio 4 es la época inmediatamente posterior al nacimiento, cuando ya se ha disipado la apnea perinatal, cuando la criatura es fajada y cubierta, acariciada y alimentada. Si estos supuestos de Grof son acertados, el contraste entre los Estadios 1 y 2 y los Estadios 2 y 4, en una criatura totalmente desprovista de otras experiencias, debe ser profundo y sorprendente; y la importancia del Estadio 3, como tránsito entre la agonía y, cuando menos, un tierno simulacro de la unidad cósmica del Estadio 1, debe ejercer una poderosa influencia en la visión posterior del mundo que tendrá esa criatura.

Evidentemente, cabe todo el escepticismo que se quiera en la explicación de Grof y en mi versión de ella. Hay muchas preguntas que responder. ¿Son capaces de acordarse del Estadio 2 las criaturas nacidas por cesárea? Al ser sometidas a tratamiento con fármacos psicodélicos, ¿reproducen menos imágenes de terremotos y mareas catastróficas que las nacidas en partos normales? Y contrariamente, ¿son más propensas a contraer el peso psicológico del Estadio 2 las criaturas nacidas tras contracciones uterinas especialmente dolorosas inducidas al «trabajo electivo» por la hormona oxitocina? <sup>4</sup> Si a la madre se le proporciona un fuerte sedante, ¿recordará la criatura, al alcanzar la madurez, una transición muy distinta desde el Estadio 1 directamente al Estadio 4, sin hacer nunca un relato radiante en una experiencia peritánica? ¿Pueden los neonatos resolver una imagen en el momento del nacimiento o son tan sólo sensibles a la luz y a la oscuridad? ¿Puede ser que la descripción, en una experiencia próxima a la muerte, de un dios brillante y cubierto de pelo sea una reposición perfeccionada de una imagen neonatal imperfecta? ¿Se seleccionaron los pacientes de Grof entre la más amplia serie posible de seres humanos, o están restringidos los relatos a un subconjunto no representativo de la comunidad humana?

Es fácil comprender que puede haber más objeciones personales a esas ideas. Una resistencia parecida tal vez a ese tipo de chauvinismo que se detecta en algunas justificaciones de las costumbres gastronómicas de los carnívoros: las langostas marinas no tienen sistema nervioso central; no les sabe mal que las dejen caer vivas en el agua hirviendo. Bien, es posible. Pero los aficionados a las langostas tienen evidente interés en favor de esa hipótesis concreta sobre la neurofisiología del dolor. De igual forma, me pregunto si los adultos no tienen un marcado interés por creer que las criaturas sólo poseen poderes de percepción y memoria muy limitados, que no existe forma en que la experiencia del nacimiento pueda ejercer una influencia profunda y, en particular, una influencia profundamente negativa.

Si Grof está efectivamente en lo cierto, debemos preguntarnos por qué son posibles esos recuerdos. Por qué, si la experiencia perinatal ha producido una enorme desdicha, la evolución no ha descartado las consecuencias psicológicas negativas. Hay algunos

parámetros que los recién nacidos tienen que cumplir: tienen que ser buenos chupadores; si no, morirían. Deben ser bellos, porque por lo menos en épocas anteriores de la historia humana, las criaturas que de alguna manera parecían atrayentes eran cuidadas con mayor esmero. Pero, ¿deben ver imágenes de su entorno los recién nacidos? ¿Deben recordar los horrores de la experiencia perinatal? ¿En qué sentido hay un valor de supervivencia en ello? La respuesta puede ser la de que los pros superan a las contras; tal vez la pérdida de un universo al que estamos perfectamente ajustados nos estimula poderosamente a cambiar el mundo y a mejorar las condiciones del hombre. Tal vez esta voluntad de esfuerzo y búsqueda que posee el espíritu humano no existiría si no fuese por los horrores del nacimiento.

Me fascina —y así lo puse de manifiesto en mi obra *Los dragones del Edén*— el hecho de que el dolor del trabajo de parto sea especialmente importante en las madres humanas, debido al enorme crecimiento del cerebro en los últimos millones de años. Pareciera que nuestra creciente inteligencia fuese la fuente de nuestra desdicha; pero también indicaría que nuestra desdicha es la fuente de nuestra fuerza como especie.

Estas ideas pueden arrojar alguna luz sobre el origen y la naturaleza de la religión. La mayoría de las religiones occidentales defienden la existencia de una vida después de la muerte; las orientales hablan de un alivio gracias a un amplio ciclo de muertes y nacimientos. Pero ambas prometen un cielo o un *satori*, una reunión idílica del individuo con el universo, un retorno al Estadio 1. Cada nacimiento es una muerte, cuando la criatura abandona el mundo amniótico. Pero los devotos de la reencarnación sostienen que toda muerte es un nacimiento: una proposición que hubiese podido surgir de experiencias peritanáticas en las que la memoria perinatal fuese identificada como una reposición del nacimiento. («Oímos un golpe seco en el ataúd. Lo abrimos y resultó que Abdul no había muerto. Se había despertado tras una larga enfermedad que había arrojado sobre él su hechizo, y explicó una extraña historia acerca de haber nacido de nuevo».)

¿Acaso la fascinación occidental por el castigo y la redención no podría ser un intento de dar algún sentido al Estadio 2 perinatal? ¿No es mejor ser castigado por algo —por muy inverosímil que sea, como el pecado original— que serlo por nada? Y el Estadio 3 se parece mucho a lo que debía ser aquella experiencia común, compartida por todos los seres humanos, implantada en nuestras más tempranas memorias y recuperada en ocasiones, como en las epifanías religiosas, como en esas experiencias próximas a la muerte. Es tentador intentar explicar otros complejos motivos religiosos en esos términos. *In útero* no sabemos prácticamente nada. En el Estadio 2, el feto acumula experiencia sobre lo que muy bien puede llamarse posteriormente el mal (y entonces es empujado a abandonar el útero). Es fascinantemente parecido a comer la fruta del conocimiento del bien y el mal y luego ser «expulsado» del Edén.<sup>5</sup> En la famosa pintura de Miguel Ángel que se encuentra en la bóveda de la Capilla Sixtina, ¿es el dedo de Dios el dedo de un obstetra? ¿Por qué el bautismo, especialmente el antiguo bautismo por inmersión total, se considera generalmente como un nuevo y simbólico nacimiento? ¿Es el agua sagrada una metáfora del líquido amniótico? ¿No es acaso todo el concepto del bautismo y la experiencia de «volver a nacer» un reconocimiento explícito de la relación entre el nacimiento y la religiosidad mística?

Si estudiamos las religiones, que se cuentan por miles en el planeta Tierra, quedaremos impresionados por su enorme diversidad. Y comprobaremos con estupor que algunas de ellas son solemnes tonterías. En los detalles doctrinales, es muy raro el acuerdo. Pero muchos buenos y grandes hombres y mujeres han afirmado que tras las aparentes divergencias existe una unidad fundamental e importante; debajo de las idioteces doctrinales existe una verdad básica y esencial. Hay dos tipos muy distintos de actitudes ante los principios religiosos. Por un lado están los creyentes —a menudo crédulos— que aceptan a pies juntillas una religión recibida, aun cuando pueda tener inconsistencias internas o estar en grave contradicción con lo que sabemos acerca del mundo externo y de nosotros mismos. Por otro lado están los escépticos estrictos, quienes consideran que todo este sistema es un fárrago de tonterías propias de débiles mentales. Algunos de los que se consideran sobrios racionalistas se resisten a considerar incluso el enorme volumen de



experiencias religiosas registradas. Estos conocimientos místicos deben significar algo, pero ¿qué? En conjunto, los seres humanos son inteligentes y creativos, capaces de desentrañar misterios. Si las religiones son fundamentalmente estúpidas, ¿por qué tanta gente cree en ellas?

A lo largo de la historia del hombre las religiones burocráticas se han aliado con las autoridades seculares, y normalmente la tarea de inculcar la fe ha reportado beneficios a los gobernantes de turno. En la India, cuando los brahmanes desearon mantener en la esclavitud a los «intocables», propusieron una justificación divina. Argumentos del mismo tipo fueron utilizados por blancos que se hacían llamar *cristianos* para justificar la esclavitud de los negros en la época previa a la guerra civil en el Sur de Norteamérica. Los antiguos hebreos citaban las directrices y el estímulo de Dios para explicar el pillaje y el asesinato al azar que en algunas ocasiones cometieron sobre pueblos inocentes. En la Edad Media, la Iglesia mantenía viva la esperanza de una vida gloriosa después de la muerte entre aquellos que exigían satisfacción por su situación mísera y baja. Los ejemplos pueden multiplicarse hasta el infinito, hasta incluir a casi todas las religiones del mundo. Puede entenderse fácilmente por qué la oligarquía ha favorecido la religión cuando, como ocurre a menudo, la religión justifica la opresión (como hizo Platón, un decidido defensor de la quema de libros, en *La República*). Pero, ¿por qué los oprimidos se apuntan igualmente a esas doctrinas teocráticas?

Me parece que la aceptación general de las ideas religiosas sólo puede explicarse pensando que hay algo en ellas que sintoniza con un cierto conocimiento nuestro, algo profundo y melancólico, algo que todos consideramos central para nuestro ser. Mi propuesta es que ese miedo común es el nacimiento. La religión es fundamentalmente mística: los dioses son inescrutables. Los principios religiosos son atractivos y poco firmes porque, en mi opinión, las percepciones borrosas y las premoniciones vagas son lo más que pueden alcanzar los recién nacidos. Considero que el núcleo místico de la experiencia religiosa no es ni verdadero al pie de la letra, ni perniciosamente equivocado. Es más bien un intento atrevido y defectuoso de tomar contacto con la experiencia más temprana y profunda de nuestras vidas. La doctrina religiosa es difusa en lo fundamental, ya que ninguna persona en el momento de su nacimiento posee la necesaria capacidad para fijar ideas y volverlas a contar para dar una versión coherente del acontecimiento. Todas las religiones que se han mantenido han debido poseer en sus núcleos algo que entrase en resonancia, no explícita y quizá incluso inconsciente, con la experiencia perinatal. Acaso cuando se desvelen las influencias seculares aparecerá que las religiones que más éxito tienen son aquellas que mejor logran esa resonancia.

Las creencias religiosas han resistido con vigor cualquier intento de explicación racional. Voltaire afirmaba que, de no existir Dios, el hombre se vería obligado a inventarlo; y fue denostado por esa afirmación. Freud propuso que un Dios paternalista es en parte nuestra proyección como adultos de nuestras percepciones natales hacia nuestros padres; a su libro sobre la religión le dio el título de *El porvenir de una ilusión*. No fue tan desdeñado como podríamos pensar por sus opiniones, pero tal vez sólo porque ya había demostrado su capacidad al sobrevivir cuando fue desacreditado por introducir ideas tan escandalosas como la sexualidad infantil.

¿Por qué es tan poderosa en la religión la constante oposición a un discurso racional y al argumento razonado? Creo que se debe, en parte, a que nuestras experiencias perinatales habituales son reales, aunque se resisten a un recuerdo preciso. Los seres humanos, y nuestros antepasados y parientes colaterales, como los hombres de Neanderthal, posiblemente sean los primeros organismos de este planeta que han tenido clara conciencia de la inevitabilidad de nuestro propio final. Moriremos, y tenemos miedo de la muerte. Este miedo es de ámbito mundial y transcultural; posiblemente tenga un considerable valor de supervivencia. Los que desean posponer o evitar la muerte pueden lograrlo mejorando el mundo, reduciendo sus peligros, haciendo hijos que vivan una vez estemos muertos, y creando grandes obras por las que ser recordados. Los que proponen un discurso racional y escéptico sobre temas religiosos aparecen como los contestatarios de la tradicional solución al miedo humano ante la muerte, la hipótesis de que el alma vive tras el fallecimiento del

cuerpo.(\*). Como la mayoría de nosotros sentimos fuertemente el deseo de no morir, no hacen que nos sintamos cómodos quienes sugieren que la muerte es el final de todo y que la personalidad y el alma de cada uno de nosotros no ha de sobrevivir. Pero la hipótesis del alma y la de Dios son separables; de hecho, existen culturas en las que puede encontrarse una y no la otra. En cualquier caso, no haremos avanzar la causa humana si nos negamos a considerar las ideas que nos inspiran miedo.

--

(\*)Una variante curiosa aparece en el libro de Arthur Schnitzler, *Flight into Darkness*: «...en todos los momentos de la muerte de cualquier ser, éste revive su pasado a una velocidad inconcebible para los demás. Esta vida recordada debe tener también su último momento, y este su propio último momento, y así sucesivamente y, por tanto, morir es en sí la eternidad y, por tanto, según la teoría de los límites, uno puede acercarse a la muerte sin alcanzarla nunca». De hecho, la suma de una serie infinita de ese tipo es finita y el argumento falla por razones matemáticas, así como por otras, Pero constituye un recordatorio eficaz de que, en ocasiones, nos sentimos predispuestos a aceptar medidas desesperadas que nos eviten afrontar la inevitabilidad de la muerte.

--

No todos los que se plantean preguntas sobre la hipótesis de Dios y la hipótesis del alma son ateos. Un ateo es aquel que tiene la seguridad de que Dios no existe, alguien que dispone de pruebas convincentes en contra de la existencia de Dios. Yo no conozco esas pruebas convincentes. Dado que Dios puede relegarse a tiempos y lugares remotos y a las últimas causas, tendríamos que saber mucho más acerca del universo de lo que hoy sabemos para estar seguros de que no existe ese Dios. Estar seguros de la existencia de Dios, y estar seguros de la inexistencia de Dios me parecen los extremos definitivos de un tema tan repleto de dudas e incertidumbres, que inspira poca confianza pensar en nada definitivo. Podrán admitirse muchas posiciones intermedias y, teniendo en cuenta la enorme carga emocional que pesa sobre el tema, la herramienta esencial para ir cubriendo nuestra ignorancia colectiva sobre la existencia de Dios es una mente abierta, valiente e indagadora.

Cuando doy conferencias sobre ciencia popular o pseudociencia (como las que menciono en los capítulos 5 al 8 de este libro) me preguntan a veces si no debería aplicarse el mismo tipo de crítica a la doctrina religiosa. Evidentemente, mi respuesta es sí. La libertad religiosa, uno de los pilares sobre los que se fundaron los Estados Unidos, es esencial para la libertad de investigación. Pero no conlleva ninguna inmunidad ante la crítica o la reinterpretación para las propias religiones. Sólo aquellos que formulan preguntas pueden descubrir la verdad. No quiero volver a insistir en si estas relaciones entre la religión y la experiencia perinatal son correctas u originales. Muchas de ellas están, por lo menos, implícitas en las ideas de Stanislav Grof y de las escuelas de psiquiatría, especialmente las de Otto Rank, Sandor Ferenczi y Sigmund Freud. Pero vale la pena pensar un poco en ello.

Es obvio que existen muchas más cosas sobre el origen de la religión que las que sugieren estas sencillas ideas. No propongo que la teología sea simplemente fisiología. Pero, suponiendo que seamos efectivamente capaces de recordar nuestras experiencias perinatales, resultaría sorprendente que no afectasen a lo más profundo de nuestras actitudes ante el nacimiento y la muerte, el sexo y la infancia, los medios y los fines, la causalidad y Dios.

Y la cosmología. Los astrónomos estudiosos de la naturaleza del origen y el destino del universo llevan a cabo observaciones complicadas, describen el cosmos en términos de ecuaciones diferenciales y de cálculo tensorial, examinan el universo barriendo desde los rayos X a las ondas de radio, cuentan las galaxias y determinan sus movimientos y distancias... y cuando todo eso ya está, entonces hay que elegir entre tres puntos de vista distintos: una cosmología de Estado Estable, bienaventurado y quieto; un Universo Oscilante, en expansión y contracción, indefinidamente; y un universo en expansión por *Big*

*Bang*, en el que el cosmos se crea en un acontecimiento violento, bañado en radiación («Hágase la luz») y luego crece y se enfría, evoluciona y se hace inactivo, como vimos en el capítulo anterior. Es llamativo que esas tres cosmologías se parezcan con una precisión torpe y casi embarazosa a las experiencias perinatales humanas de los Estadios 1, 2 y 3 más 4, respectivamente.

Resulta muy sencillo para los astrónomos modernos reírse de las cosmologías de otras culturas, por ejemplo, de la idea *dogon* de que el universo era incubado en un huevo cósmico (capítulo 6). Pero a la luz de las ideas que acabo de presentar, voy a ser mucho más prudente en mi actitud con respecto a las cosmologías populares: su antropocentrismo es tan sólo algo más sencillo de discernir que el nuestro. ¿No podrían ser una metáfora amniótica las intrigantes referencias babilonias y bíblicas a aguas "por encima y por debajo del firmamento", que Tomás de Aquino se esforzó tan obstinadamente por reconciliar con la física aristotélica? ¿Somos incapaces de construir una cosmología que no sea una críptica descripción matemática de nuestros orígenes personales?

Las ecuaciones de la relatividad general de Einstein admiten una solución en la que el universo se expande. Pero Einstein, inexplicablemente, desestimó esa solución y optó por un cosmos absolutamente estático, incapaz de evolucionar. ¿Es demasiado obtuso preguntarse si ese descuido tenía orígenes perinatales y no matemáticos? Los físicos y astrónomos mantienen una probada resistencia a aceptar las cosmologías *Big Bang* en las que el universo se expande indefinidamente, aunque los teólogos occidentales convencionales están más o menos satisfechos con la perspectiva. ¿Puede entenderse ese debate, basado casi con toda certeza en predisposiciones psicológicas, en términos «grofianos»?

No sé hasta qué punto se parecen las experiencias perinatales personales y los modelos cosmológicos particulares. Supongo que es excesivo esperar que los inventores de la hipótesis del Estado Estable hayan nacido todos por cesárea. Pero las analogías son muchas y la posible conexión entre la psiquiatría y la cosmología parece ser muy real. ¿Puede ocurrir que cualquier forma posible de origen y evolución del universo corresponda a una experiencia perinatal humana? ¿Somos criaturas tan limitadas que nos vemos incapaces de construir una cosmología que difiera sustancialmente de alguno de los estadios perinatales? (\*) ¿Está nuestra capacidad por conocer el universo encenagada y atascada sin esperanza en las experiencias del nacimiento y la infancia? ¿Estamos predestinados a recapitular nuestros orígenes al pretender comprender el universo? ¿O acaso las observaciones que vamos realizando nos obligaran gradualmente a acomodarnos y a comprender ese amplio y temible universo en el que flotamos, perdidos y valientes, siempre indagando?

--

(\*) Los canguros nacen cuando no son sino embriones y deben emprender, por sí solos, un viaje heroico desde el canal de la vida hasta la bolsa. Muchos no consiguen llegar. Los que lo consiguen vuelven a encontrar un entorno caliente, oscuro y protector, dotado de mamas, invocara la religión de una especie de marsupiales inteligentes a un dios severo e implacable que vigila estrictamente la marsupialidad? ¿Requerirá la cosmología marsupial un breve interludio de radiación en un Big Bang prematuro seguido de una «Segunda Oscuridad» y luego una salida al universo mucho más placida que la que conocemos?

--

Es común que las religiones del mundo atribuyan a la Tierra el carácter de nuestra madre y al cielo el de nuestro padre. Así es con Urano y Gea en la mitología griega, y también entre los nativos americanos, los africanos, los polinesios y, de hecho, entre la mayoría de los pueblos del planeta. Sin embargo, el punto culminante de la experiencia perinatal es el de que *dejamos a nuestras madres*. Lo hacemos primero en el parto y luego cuando nos establecemos en el mundo por nuestra propia cuenta. Por muy penosos que sean esos abandonos, resultan esenciales para la continuidad de la especie humana. ¿Puede tener

algo que ver ese hecho con la atracción casi mística que ejercen los vuelos espaciales, por lo menos en muchos de nosotros? ¿No se trata acaso de un abandono de la Madre Tierra, el mundo de nuestros orígenes, para ir en busca de fortuna entre las estrellas? Esa es precisamente la metáfora visual final de la película *2001: Odisea del espacio*. Konstantin Tsiolkovsky era un maestro de escuela ruso que formuló muchos de los pasos teóricos que se han dado desde entonces en el desarrollo de la propulsión por cohetes y de los vuelos espaciales. Tsiolkovsky escribió: «*La Tierra es la cuna de la humanidad. Pero uno no vive para siempre en la cuna*».

Estamos abocados irremediabilmente, en mi opinión, a recorrer un camino que nos lleva a las estrellas (a menos que, en una monstruosa capitulación ante la estupidez y la codicia, nos autodestruyamos primero). Y allí, en las profundidades del espacio, parece muy probable que, antes o después, encontremos otros seres inteligentes. Algunos de ellos estarán menos adelantados que nosotros; otros, posiblemente la mayoría, lo estarán más. Me pregunto si todos esos seres espaciales tendrán nacimientos dolorosos. Los seres más avanzados tendrán aptitudes muy superiores a nuestra capacidad de comprensión. En un sentido muy real, nos parecerán algún tipo de dios. La especie humana tendrá que esforzarse mucho para crecer. Quizá nuestros descendientes en aquellos tiempos remotos volverán hacia atrás sus ojos, hacia el largo y errante viaje que recorriera la raza humana desde sus orígenes vagamente recordados en el lejano planeta Tierra, y recopilarán nuestras historias personales y colectivas, nuestro idilio con la ciencia y la religión, con claridad, comprensión y amor.