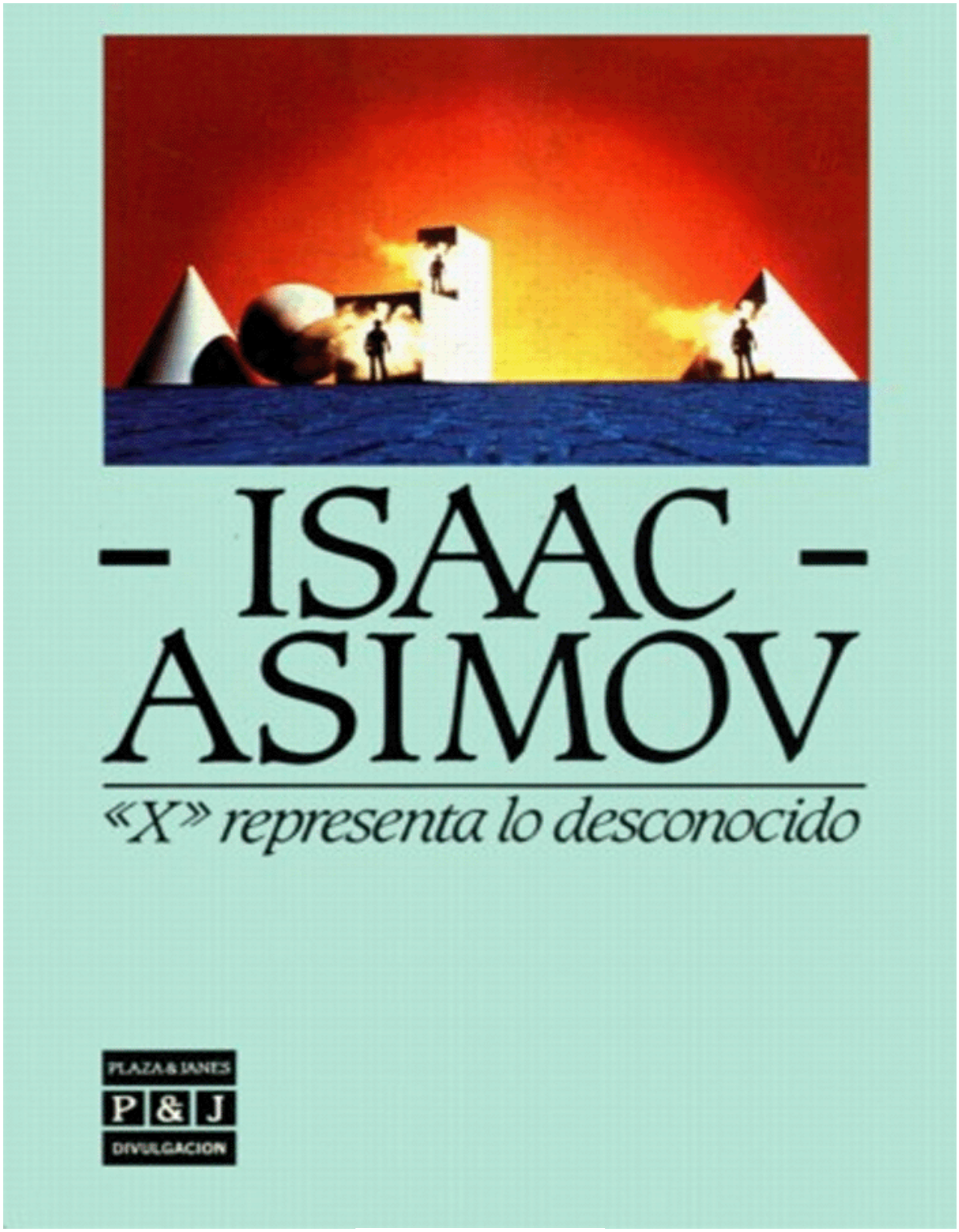
X representa lo desconocido
Isaac Asimov



LIBROdot.com
http://www.librodot.com

DEDICADO A

Doubleday & Company Inc., que trabajó paciente y amablemente conmigo durante 32 años y 84 libros con el fin de producir mi primer «best seller»

INTRODUCCIÓN

Cuando me hallaba aún en mi primera adolescencia y estudiaba en la escuela secundaria, el farmacéutico local (al recordarle ahora, comprendo que no era muy inteligente) se empeñó en demostrarme, mediante una prueba muy sencilla, la presencia de un poder divino.

Me comentó:

—Los científicos no pueden siquiera sintetizar la sacarosa, algo que casi todas las plantas pueden hacer.

Esto me sorprendió.

—¿Y qué? -dije-. Hay millones de cosas que los científicos ignoran y no pueden hacer. ¿Qué tiene que ver eso?

Sin embargo, el farmacéutico me apabulló e insistió en que la incapacidad de sintetizar la sacarosa -que, dicho sea de pasada, me imagino que los químicos sí pueden hacer- demostraba la existencia de un ente sobrenatural. Yo era demasiado joven para estar seguro de mí mismo y no sonrojarme en presencia de un adulto; por consiguiente, no quise continuar la discusión, aunque en modo alguno estaba convencido, ni mi propia opinión había variado en lo más mínimo.

Es un error común. Parece existir la vaga noción de que algo omnisciente y omnipotente *tiene* que existir. Si se puede demostrar que los científicos no lo saben todo ni lo pueden todo, ello prueba que *existe* otra cosa que *es* omnisciente y omnipotente. Dicho en otras palabras: si los científicos no pueden sintetizar la sacarosa, Dios existe.

Bueno, Dios puede existir; no voy a discutir aquí esta cuestión, pero esta clase de argumento no es suficiente para demostrar lo que se pretende. En realidad, un argumento semejante sólo puede ser formulado por personas que no comprenden lo que la Ciencia significa en su totalidad.

La Ciencia *no* es una colección de resultados, de capacidades o incluso de explicaciones. Eso son productos de la Ciencia, pero no la Ciencia misma, de la misma manera que una mesa no es la carpintería, ni plantarse en la meta es una carrera.

Los resultados, capacidades y explicaciones producidos por la Ciencia son experimentales y, posiblemente, equivocados en todo o en parte. Casi con toda seguridad, son incompletos. Pero nada de esto implica fallos o insuficiencias de la Ciencia misma.

La Ciencia es un *proceso*; es una manera de pensar; una manera de enfocar y, posiblemente, resolver problemas; un camino por el cual se pueden deducir un orden y un sentido a partir de observaciones desorganizadas y caóticas. Por medio de él podemos llegar a conclusiones útiles y a resultados convincentes y sobre los cuales existe una tendencia a estar de acuerdo. Estas conclusiones científicas son comúnmente consideradas como un acercamiento razonable a la «verdad», sujeto a ulteriores correcciones.

La Ciencia no promete la verdad absoluta, ni considera que ésta deba existir necesariamente. La Ciencia no promete siquiera que todo lo referente al Universo pueda someterse al proceso científico.

La Ciencia trata sólo de aquellas porciones y condiciones del Universo que pueden ser razonablemente observadas y para las que son adecuados los instrumentos que emplea. Los instrumentos (incluidos los inmateriales, como las Matemáticas y la Lógica) pueden mejorarse con el tiempo, pero no existe garantía de que puedan perfeccionarse indefinidamente hasta el punto de superar todos los límites.

Más aún, incluso cuando trata de cuestiones susceptibles de observación y de análisis, la Ciencia no puede garantizar que se obtenga una solución razonable en un tiempo determinado. Se puede sufrir un largo retraso por falta de una observación clave o de una oportuna chispa de inspiración.

Por consiguiente, el proceso de la Ciencia presupone un lento movimiento de avance a través de las porciones alcanzables del Universo; una revelación gradual de partes del misterio.

El proceso puede no terminar nunca. Es posible que nunca llegue el momento en que todos los misterios estén resueltos, en que no quede nada que hacer dentro del campo en el que puede actuar el proceso científico. En consecuencia, en todo momento -por ejemplo, ahora- existen problemas sin resolver, pero ello no demuestra nada con respecto a Dios, ni en uno ni en otro sentido.

Y yo diría que esta perpetuación eterna del misterio no debe ser causa de inquietud. Antes bien, debe producir un tremendo alivio. Si se hubiesen contestado todas las preguntas, resuelto todos los enigmas, desdoblados todos los pliegues, alisadas todas las arrugas del tejido del Universo, habría terminado el juego universal más grande y más noble, y la mente no tendría ya nada que hacer, salvo consolarse con trivialidades.

Insoportable.

Si presumimos la existencia de un ser omnisciente y omnipotente, un ser que sabe y puede hacer absolutamente todo, yo, en mi propia limitación, diría que su existencia sería por ello insoportable. ¿Nada sobre lo que preguntarse? ¿Nada sobre lo que reflexionar? ¿Nada que descubrir? La eternidad en un cielo semejante sería, sin duda, indistinguible del infierno.

Hace unos años escribí un cuento sobre un ser omnisciente y omnipotente (y, por ende, eterno) que había creado un universo concebido de manera que diese origen a formas innumerables de vida inteligente. Entonces reunió grandes cantidades de estas formas de vida y les encargó la tarea de hacer nuevos descubrimientos, en la quizás inútil esperanza de que una de ellas pudiese descubrir que el ser no era *del todo* omnisciente, y pudiese inventar un método (desconocido para el ser) de descargar de sus hombros el insoportable peso de la inmortalidad.

Así, pues, dada mi creencia de que lo verdaderamente delicioso se halla en el descubrimiento más que en el conocimiento, tiendo a escribir mis ensayos científicos no describiendo lisa y llanamente el conocimiento, como si bebiera de alguna fuente de todo saber, sino que, siempre que puedo, describo la manera en que ha llegado a saberse lo que se sabe; cómo ha sido descubierto, paso a paso.

Y también he encontrado un título para esta colección particular.

En el curso de los últimos diecisiete meses, escribí una serie de ensayos divididos en cuatro partes sobre el espectro electromagnético. (Como suele ocurrir en tales casos, había acariciado la presunción de que sería capaz de tratar la cuestión en un solo ensayo; pero estos ensayos se escriben ellos mismos, y poca cosa puedo yo hacer.)

Titulé el cuarto de estos ensayos *X representa lo desconocido*, por razones que veréis claramente cuando lo hayáis leído. Sin embargo, al meditar sobre las virtudes de lo desconocido y las delicias de forcejear con ello, y el alivio de descubrir que no desaparecerá por mucho éxito que tengamos en el forcejeo, decidí aplicar el título al libro en su totalidad.

Que la X esté siempre con nosotros para darnos satisfacción.

FÍSICA
I
LEE TU BUEN LIBRO EN VERSO

La primera frase mnemotécnica que aprendí cuando era muy pequeño fue: *Read Out Your Good Book In Verse* («Lee tu buen libro en verso»).

Si tomáis las iniciales de estas palabras -ROYGBIV-, obtendréis las de los siete colores, por su orden, que Isaac Newton (1642-1727) registró en el espectro óptico: *Red, Orange, Yellow, Green, Blue, Indigo y Violet* (rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil y violeta).

Me entusiasmó de modo indecible este descubrimiento; no tanto por el espectro en sí, que me parecía perfectamente claro, como por la existencia de frases mnemotécnicas. Nunca se me había ocurrido que una cosa así fuese posible, y, durante un tiempo, creí tener la clave de todo conocimiento.

«Inventa las suficientes frases mnemotécnicas -pensé- y no tendrás que volver a aprender nada de memoria.»

Por desgracia, como más tarde había de descubrir en casi todas las grandes ideas que se me ocurrirían, aquélla tenía un funesto inconveniente. Había que aprender de memoria las frases, y éstas eran tan difíciles de recordar, e incluso más, que los datos primitivos. Por ejemplo, hasta hoy no me he aprendido realmente de memoria la frase *Read Out Your Good Book In*

Verse. Para recordarla pienso en los colores del espectro de Newton, por su orden (algo que me resulta muy difícil), y entonces formo la frase mnemotécnica partiendo de las iniciales de aquellos colores. Así tuve que hacerlo al empezar este ensayo.

Sin embargo, tropecé con una dificultad de otra clase. La frase mnemotécnica no era exacta. Llegaron ocasionalmente a mis manos libros que contenían imágenes en colores del espectro óptico, y nada me costó ver el rojo en un extremo y reseguir éste a través del anaranjado, el amarillo, el verde y el azul.

Después del azul se presentó un problema. Al otro extremo del espectro vi un color, al que yo llamaba «púrpura». (En realidad, lo llamaba *poiple*, como hacían todos los niños sensatos de Brooklyn, pero sabía que, por alguna razón arcana, se *pronunciaba púrple*.)

Esto no resultaba fatal. Yo estaba dispuesto a aceptar *violeta* como un afectado y fantasioso sinónimo de «púrpura», lo mismo que habría podido decirse «tomate» en vez de «rojo». Y siempre podía modificar la frase mnemotécnica, dejándola en *Read Out Your Good Book In Prose*.

Pero había algo que me preocupaba mucho más que esto: no veía ningún color entre el azul y el violeta. Mi vista no podía distinguir nada que pudiese identificar como «añil». Y ninguna de las personas a quienes consulté pudieron ver este color misterioso. Lo más que pude conseguir de alguien fue que el añil era un azul purpúreo. «Pero en tal caso -pensé-, ¿por qué no era el azul verdoso un color independiente?»

Por fin, pensé; «¡Al diablo con esto!», y lo dejé. Cambié la frase mnemotécnica por *Read Out Your Good Book, Victor* (o *Read Out Your Good Book, Peter*). Mejor aún, no puedo encontrar ningún texto moderno de Física que incluya el añil entre los colores del espectro. Consignan sólo seis colores.

Sin embargo, la fuerza de la tradición es tanta que, hace unos veinte años, cuando escribí un ensayo sobre el espectro para un periódico de Minneapolis y no hice referencia al añil, recibí varias cartas acusándome airadamente por haber omitido un color.

Sin embargo, continuaré haciéndolo en este ensayo.

En mi ensayo *The Bridge of the Goods* (véase *The Planet That Wasn't*, Doubleday, 1976), describí cómo obtuvo Newton el espectro luminoso en 1666. Sin embargo, la existencia del espectro no indicaba por sí misma la naturaleza de la luz. El propio Newton creía que la luz consistía en una rociada de partículas sumamente diminutas y que viajaban en línea recta. Deducía esto del hecho de que la luz proyectaba sombras claramente definidas. Si la luz hubiese estado formada por ondas, como sostenía otra teoría, lo lógico habría sido que se inclinase alrededor del borde de un obstáculo y proyectase una sombra confusa, e incluso no proyectase sombra alguna. A fin de cuentas, las ondas del agua se torcían alrededor de los obstáculos, y el sonido, que se creía firmemente estaba compuesto de ondas, hacía lo propio.

Un contemporáneo de Newton, el sabio holandés Christiaan Huygens (1629-1695), era el principal defensor de la noción de ondas luminosas y sostenía que, cuanto más corta era la onda, menor era la tendencia a inclinarse alrededor de los obstáculos. En tal caso, las sombras de borde definido no contradecían la noción de onda, siempre que las ondas fuesen lo bastante cortas.

En realidad, en un libro póstumo publicado en 1665, un físico italiano, Francesco Maria Grimaldi (1618-1663), describió experimentos en los que había descubierto que las sombras no eran de bordes perfectamente definidos y que la luz *se* combaba, aunque muy ligeramente, alrededor de los obstáculos.

Newton tuvo noticia de estos experimentos y trató de explicarlos de acuerdo con la teoría de las partículas. Y sus sucesores -convencidos de que Newton no podía equivocarse, y de que si había dicho «partículas» eran partículas-- prescindieron simplemente de Grimaldi.

Por último, en 1803, el científico inglés Thomas Young (1773-1829) hizo que la opinión se decantase por las ondas. Hizo pasar luz a través de dos pequeños orificios, de manera que los rayos, al ser proyectados, se superponían en una pantalla. Esta superposición no aumentaba simplemente la luz sobre la pantalla, sino que producía franjas alternas de luz y de sombra.

Si la luz estaba formada por partículas, no había manera de explicar la aparición de franjas oscuras. Si estaba compuesta por ondas, era fácil comprender que, bajo determinadas condiciones, algunas de las ondas podían moverse hacia arriba, y otras, hacia abajo, y que ambos desplazamientos se contrarrestarían recíprocamente, no dejando nada. De esta manera, las dos manchas de luz se «interferían» mutuamente, y las zonas de luz y de sombra fueron llamadas «franjas de interferencia».

Este fenómeno es muy conocido en el caso del sonido, y produce algo llamado «pulsaciones». Las franjas de interferencia son análogas, en óptica, a las pulsaciones sónicas.

Partiendo de la anchura de las franjas de interferencia, Young pudo hacer el primer cálculo de la longitud de las ondas luminosas, y decidió que eran del orden de 1127.000 de centímetro, lo cual es correcto. Determinó la longitud de onda de cada color y mostró, con razonable exactitud, que las longitudes de onda decrecían desde el rojo hasta el violeta.

Desde luego, si las longitudes de onda son una realidad física, los colores no lo son. Cualquiera que posea los instrumentos y la práctica adecuados puede determinar la longitud de una variedad particular de onda luminosa. En cambio, la determinación de su color dependerá de la respuesta individual de los pigmentos de la retina y de la interpretación que dé el cerebro a esta respuesta.

Retinas diferentes pueden no tener una reacción absolutamente idéntica a una longitud de onda particular. Algunos ojos, deficientes en ciertos pigmentos retinianos, pueden ser parcial o totalmente ciegos al color. Y aunque dos personas perciban el color con igual sensibilidad, ¿quién es capaz de comparar su interpretación mental? No se puede describir lo que uno ve como rojo, salvo señalando algo que dé la impresión de rojo. Otra persona puede convenir en que *le* da también la impresión de lo que le han enseñado a llamar rojo, pero, ¿cómo puedes asegurar que tu impresión y la de aquella persona son idénticas?

Dos personas pueden estar siempre de acuerdo en cómo *llamar* al color de cada objeto y, sin embargo, *ver* cosas completamente diferentes. Y nadie puede explicar a un ciego de nacimiento lo que es el color, de modo que no existe posibilidad de señalar algo y decir: «Esto es rojo.»

Más aún, si uno recorre el espectro viendo sólo, por así decirlo, una longitud de onda cada vez, no existe un cambio brusco del rojo al anaranjado, ni del anaranjado al amarillo. Hay un paso muy lento y gradual, y es absolutamente imposible asegurar que «en este punto, el color ha dejado de ser rojo y es anaranjado».

Si os movieseis a lo largo de la escala de la longitud de onda y pidieseis a muchas personas que os indicasen dónde ha dejado definitivamente el color de ser anaranjado y se ha convertido en amarillo, seguro que obtendríais respuestas distintas. Las distintas personas indicarían longitudes de onda ligeramente diferentes.

Por tanto, son engañosos los libros de texto que fijan límites y dicen que el amarillo se extiende de una longitud de onda particular a otra.

Yo creo que es mejor dar una longitud de onda que esté en la mitad de la extensión de cada color, una longitud de onda que todas las personas con retinas normales convengan en llamar rojo, verde o lo que sea.

Las longitudes de onda de la luz se expresan tradicionalmente en unidades Angström, denominadas así en 1905 en recuerdo del físico sueco Anders Jonas Angström (1814-1874), que las empleó por primera vez en 1868. Una unidad Angström es una diez mil millonésima de metro, o 1×10^{-10} m.

Actualmente, sin embargo, se considera inadecuado emplear las unidades Angström porque quebrantan la regularidad del sistema métrico. Hoy en día se considera preferible emplear prefijos diferentes para cada tres órdenes de magnitud, con «nano» como prefijo aceptado para la milmillonésima (10^{-9}) de una unidad.

Dicho en otras palabras: un «nanómetro» es 10^{-9} metros, o sea, igual a 10 unidades Angström. Si una particular onda luminosa tiene una longitud de 5.000 unidades Angström, tiene, por tanto, una longitud de 500 nanómetros, y esta última terminología es la que debe emplearse.

A continuación se consignan las longitudes de onda medias de los seis colores del espectro:

Color	Longitud de onda (en nanómetros)
Rojo	700
Anaranjado	610
Amarillo	575
Verde	525
Azul	470
Violeta	415

¿Qué longitud máxima puede alcanzar una onda sin dejar de producir un color percibido como rojo por la vista, y cuál puede alcanzar como mínimo y seguir produciendo un color percibido como violeta? Esto varía según los ojos, pero la máxima longitud de onda roja, percibida por ojos normales antes de que se desvanezca en la oscuridad, se considera generalmente de 760 nanómetros, mientras que la más corta violeta es de 380 nanómetros.

Aunque el propio Thomas Young inventó el término «energía» en 1807, hasta mediados del Siglo XIX no se comprendió la conservación de la energía, y hasta principios del XX no se puso en claro que el contenido de energía de la luz aumentaba al disminuir la longitud de onda. Dicho de otra manera: el rojo es el color menos energético del espectro, y el violeta, el más energético.

A primera vista no es obvio (al menos para mí) por qué la luz de onda corta es más energética que la de onda larga, pero la situación se aclara si consideramos la cuestión de otra manera.

En un segundo, la luz recorrerá 299.792.500 m, o sea, aproximadamente, 3×10^8 m. Si la luz viajera tiene una longitud de onda de 700 nanómetros (7×10^{-7} m), el número de ondas individuales que cabrán en aquella longitud de luz de 1 seg, será 3×10^8 dividido por 7×10^{-7}, o sea, aproximadamente, $4{,}3 \times 10^{14}$.

Esto es la «frecuencia» de la luz y significa que, en 1 seg, la luz de 700 nanómetros de longitud de onda vibrará 430 billones de veces.

Podemos establecer la frecuencia para el término medio de cada color:

Color	Frecuencia (en billones)
Rojo	430
Anaranjado	490
Amarillo	520
Verde	570
Azul	640
Violeta	720

Si consideramos las frecuencias, me parece que la mayor energía de la luz de onda corta se hace más comprensible. Las ondas cortas vibran más rápidamente. Se gastará más energía agitando algo con rapidez que haciéndolo con lentitud, y así, el objeto agitado contendrá más energía si vibra rápidamente. Así, el descubrimiento básico de la teoría cuántica es que hay una unidad de energía de radiación (quantum) que es proporcional en tamaño a la frecuencia de aquella radiación.

La máxima longitud de onda del rojo, y por ende la luz visible menos energética, tiene una frecuencia aproximada de $4{,}0 \times 10^{14}$, o sea, 400 billones. La mínima longitud de onda del violeta, y por ende la porción de luz visible más energética, tiene una frecuencia aproximada de $8{,}0 \times 10^{14}$, o sea, 800 billones.

Como veis, la última zona visible de la luz violeta tiene exactamente la mitad de longitud de onda, y por consiguiente el doble de frecuencia y de energía, que la última zona visible de la luz roja.

En lo referente al sonido, existen notas que ascienden en la escala musical: do, re, mi, fa, sol, la, si, do. Si queremos, podemos repetir esto en ambas direcciones. Pasando de cada «do» al «do» inmediatamente superior, doblamos exactamente la frecuencia de las ondas sonoras. Y si partimos del «do» como la primera nota y seguimos contando notas al ascender en la escala, la octava nota volverá a ser «do» y habremos doblado la frecuencia. Por esta razón, llamamos «octava» al espacio que va del «do» al «do», término tomado de la palabra latina que significa «ocho».

Dicha noción se ha extendido, de manera que cualquier trecho de movimiento ondulatorio, de la clase que sea, que pase de una frecuencia particular al doble de esta frecuencia, se llama octava. Así, la distancia de las ondas luminosas desde el rojo extremo hasta el violeta extremo, con una escala de frecuencia que va de 400 a 800 billones, se dice que es una octava, aunque la

luz no está compuesta de notas y, ciertamente, no ocho de ellas. (Si queréis trazar una analogía entre colores y notas -una analogía muy pobre-, recordad que sólo hay seis colores. Y aunque resucitaseis el añil, sólo tendríais siete.)

Las ondas sonoras varían de tono al cambiar su longitud. Cuanto mayor sea esta longitud (y más baja la frecuencia), más grave será el sonido. Cuanto menor sea la longitud de la onda (y más alta la frecuencia), más agudo será el sonido. La nota más grave que puede percibir un oído normal es, aproximadamente, de 30 vibraciones por segundo. La nota más aguda perceptible varía con la edad, pues el límite superior se reduce al hacerse uno viejo. Los niños pueden percibir sonidos con una frecuencia superior a 22.000 vibraciones por segundo.

Si partimos de una frecuencia de 30 y si efectuamos una progresión geométrica de razón 2, al cabo de nueve veces alcanzaremos una frecuencia de 15.360 vibraciones por segundo. Si doblamos otra vez, estaremos por encima del sonido más agudo que un niño es capaz de percibir. En consecuencia, podemos decir que el oído humano puede percibir sonidos en un trecho de poco más de 9 octavas. (Las 88 notas del teclado corriente de un piano tienen poco más de 7 octavas.)

En contraste con esto, nuestros ojos ven la luz en la extensión exacta de una octava. Esto puede afirmar la creencia de que la visión es muy limitada en comparación con el oído, pero es que las ondas luminosas son mucho más cortas y más energéticas que las ondas sonoras y, por consiguiente, pueden traer más información. La frecuencia típica de la luz visible es unas 500 mil millones de veces más alta que la frecuencia típica de la luz visible, y así, sin querer menospreciar la importancia del oído, es indudable que nuestro método primario de obtener información sobre nuestro entorno es a través de la visión.

A continuación podemos formulamos la siguiente pregunta: ¿Es esta octava de luz la única que existe, o simplemente la única que vemos?

A lo largo de casi toda la Historia, esta pregunta habría parecido tonta. Cualquiera habría dado por sabido que la luz es, por definición, algo que se ve. Si no se puede ver ninguna luz, es porque no existe luz alguna. La idea de una luz invisible parecería tan contradictoria como la de «un triángulo cuadrado».

La primera indicación de que «luz invisible» no era un término contradictorio se produjo en 1800.

Aquel año, el astrónomo germanobritánico William Herschel (1738-1822), quien se hizo famoso dos decenios antes, al descubrir Urano (véase *The Comet That Wasn't*, en *Quasar, Quasar, Burning Bright*, Doubleday, 1978), estaba experimentando con el espectro.

Era de dominio público que, cuando la luz del sol caía sobre uno, se experimentaba una sensación de calor. La impresión general era que el sol irradiaba luz y calor, y que ambas eran dos cosas separadas.

Herschel se preguntaba si la radiación calórica se distribuía en un espectro como la luz, y pensó que podría sacar alguna conclusión sobre el asunto si colocaba la ampolla de un termómetro en diferentes partes del espectro. Al ser la porción del amarillo, en mitad del espectro, aparentemente más brillante, supuso que la temperatura se elevaría al progresar desde cualquier extremo del espectro hacia la mitad de éste.

Esto no ocurrió. En cambio, observó que la temperatura se elevaba de un modo regular al apartarse el termómetro del violeta, y alcanzaba su máximo en el rojo. Asombrado, Herschel se preguntó qué sucedería si colocaba la ampolla del termómetro *más allá* del rojo. Hizo la prueba y descubrió, para mayor asombro, que la temperatura era allí más elevada que en cualquier parte del espectro visible.

Esto ocurría tres años antes de que Young demostrase la existencia de las ondas luminosas, y, durante un tiempo, pareció como si existiesen realmente rayos de luz y rayos de calor que fuesen refractados de modo distinto, y parcialmente separados, por un prisma.

Durante un tiempo, Herschel habló de «rayos colorígicos», o sea, que producían color, y «rayos caloríficos», que producían «calor», término latino equivalente al heat inglés. Esto tenía la virtud de sonar bien, pero no era solamente una abigarrada mezcla de inglés y latín, sino que se prestaba a innumerables equivocaciones de lectura o de composición tipográfica. Afortunadamente, la cosa no prosperó.

Una vez aceptada la demostración de Young sobre las ondas luminosas, se pudo sostener que lo que existía más allá del rojo del espectro eran ondas luminosas más largas y de menor frecuencia que las del rojo. Tales ondas debían de ser demasiado largas para impresionar la retina del ojo y eran, por consiguiente, invisibles, pero, aparte esto, cabía esperar que todas tuviesen las propiedades físicas de las ondas que constituían la porción visible del espectro.

En definitiva, esta radiación fue llamada «infrarroja»; el prefijo «infra» procede del latín y significa «debajo». El término es adecuado, ya que la frecuencia de la luz infrarroja está por debajo de la de la luz visible.

Esto significa que la luz infrarroja posee, asimismo, menos energía que la luz visible y, en tal caso, parece extraño que el termómetro registre una cifra más alta en la porción infrarroja que en la porción visible del espectro.

La respuesta es que el contenido en energía de la luz no es el único parámetro a considerar.

Ahora sabemos que el efecto calórico de la radiación solar no depende de una serie independiente de rayos de calor. Lo que ocurre es que la propia luz es absorbida por los objetos opacos (al menos en parte) y la energía de esta luz absorbida se convierte en la energía fortuita de vibraciones atómicas y moleculares que percibimos como calor. La cantidad de calor que obtenemos depende no sólo del contenido de energía de la luz, sino de la cantidad de luz que absorbemos y no reflejamos.

Cuanto más larga sea la longitud de onda (al menos en la parte visible del espectro), más penetrante será la luz y más cantidad de ella será absorbida en vez de reflejada. De ahí que, si bien la luz roja es menos energética que la amarilla, la eficiencia de absorción de la luz roja es tal que compensa con exceso el otro efecto (al menos en lo concerniente al termómetro de Herschel). Por esta razón, la región roja del espectro hacía subir el termómetro de Herschel a una temperatura superior a la de las demás porciones del espectro, y la zona infrarroja la hacía subir todavía más.

Todo esto parece muy lógico visto retrospectivamente, pero incluso después de aceptarse la demostración de Young sobre las ondas luminosas, la naturaleza ondulatoria del infrarrojo no podía simplemente darse por garantizada. Era necesario *demostrar* tal naturaleza, y eso era muy difícil. Experimentos que eran perfectamente claros cuando se trataba de luz visible, porque se

podía *ver* lo que ocurría -por ejemplo, en el caso de las franjas de interferencia-, no darían resultado con «luz invisible».

Desde luego, cabe imaginar que podría emplearse un termómetro con tal fin. Si existían franjas de interferencia de radiación infrarroja, podían ser invisibles, pero si se pasaba una ampolla de termómetro a lo largo de la pantalla donde existía la radiación, se podrían encontrar regiones en las que la temperatura no se elevaba y regiones en las que sí se elevaba, y, como estas regiones se alternarían, se habría solucionado la cuestión.

Por desgracia, los termómetros ordinarios no eran lo bastante precisos para tal medición. Tardaban demasiado en absorber el calor suficiente para alcanzar una temperatura de equilibrio, y la ampolla era demasiado gruesa para caber dentro de las franjas de interferencia. Por consiguiente, durante medio siglo después del descubrimiento de la radiación infrarroja, poco pudo hacerse con ella, por falta de instrumentos adecuados.

Pero entonces -en 1830-, un físico italiano, Leopoldo Nobili (1784-1835), inventó la «termopila». Consistía en alambres de diferentes metales unidos en ambos extremos. Si un extremo se coloca en agua fría y el otro es calentado, se establece una pequeña corriente eléctrica en el cable. La corriente aumenta con la diferencia de temperatura entre los dos extremos.

La corriente puede medirse con facilidad; una termopila mide la temperatura con mucha más rapidez y sensibilidad que un termómetro corriente. Más aún, el extremo funcional de una termopila es considerablemente más pequeño que la ampolla de un termómetro corriente. Por estas razones, una termopila puede medir la temperatura de una pequeña región y seguir, por ejemplo, los altibajos de las franjas de interferencia, cosa que no podría hacer un termómetro corriente.

Otro físico italiano, Macedonio Melloni (1798-1854), que trabajaba al mismo tiempo que Nobili, descubrió que la sal de piedra era particularmente transparente a la radiación infrarroja. Por tanto, confeccionó lentes y prismas con sal de piedra y los empleó para el estudio de los infrarrojos.

Con su equipo de sal de piedra y una termopila, Melloni pudo demostrar que la radiación infrarroja tenía todas las propiedades físicas de la luz ordinaria. Podía ser reflejada, refractada, polarizada, y podía producir franjas de interferencia con las que se podría determinar su longitud de onda. En 1850, Melloni publicó un libro en que resumía su trabajo, y a partir de entonces quedó claro que la «luz invisible» no era una contradicción, y que la luz del espectro se extendía mucho más allá de la única octava visible.

En 1880, un astrónomo norteamericano, Samuel Pierpont Langley (1834-1906), llegó aún más lejos. En vez de prismas, empleó rejas de refracción, que extendieron la radiación infrarroja en un espectro más amplio y eficiente. Inventó también un indicador de temperatura llamado «bolómetro», que consistía esencialmente en un fino alambre de platino ennegrecido para aumentar la eficacia con que absorbía el calor. Incluso pequeñísimos aumentos de temperatura en el alambre aumentaban sensiblemente su resistencia eléctrica, de modo que la medición de la intensidad de la corriente eléctrica en él podía indicar cambios de temperatura de una diezmillonésima de grado.

De esta manera pudo Langley, por ejemplo, eliminar los efectos oscurecedores de las diferencias de absorción y demostrar que la porción amarilla del espectro estaba, de hecho,

presente en la mayor intensidad y producía el mayor aumento de calor, tal como había presumido anteriormente Herschel. (Sin embargo, si Herschel hubiese tenido mejores instrumentos y sus observaciones hubiesen confirmado sus expectativas, nunca habría pensado en mirar fuera del espectro, y no habría descubierto la radiación infrarroja.)

Adentrándose en la región infrarroja, Langley demostró que había radiación infrarroja a lo largo de una serie de longitudes de onda que iban desde los 760 nanómetros de las longitudes de onda más largas visibles de luz roja, hasta los 3.000 nanómetros. (1.000 nanómetros, o una millonésima de metro, es igual a 1 micrómetro. Por consiguiente, 3.000 nanómetros se expresan generalmente como 3 micrómetros.)

Esto significa que la frecuencia de las ondas infrarrojas varía desde $4{,}0 \times 10^{14}$ (400 billones), en el punto en que termina el espectro visible, hasta $1{,}0 \times 10^{14}$ (100 billones).

Empezando con 100 billones, debemos doblar dos veces para alcanzar 400 billones. Por consiguiente, junto a la octava de luz visible, hay dos octavas de radiación infrarroja invisible.

El espectro infrarrojo parece acabarse bruscamente a una frecuencia de 100 billones (o una longitud de onda de 3 micrómetros), al menos en lo que concierne al espectro solar. ¿Es esto todo, y no puede existir una radiación de mayor longitud de onda y menor frecuencia?

A propósito, ¿qué decir del otro extremo del espectro? Si hay radiación más allá del extremo rojo, ¿la habrá también más allá del extremo violeta?

Hablaremos de ésta y de otras cuestiones en el capítulo siguiente.

II
CUATROCIENTAS OCTAVAS

Me resulta difícil describir mi sentido del humor, a menos que emplee el adjetivo *puckish* (travieso), que se deriva de la descripción de las jugarretas de Puck en el acto II, escena 1, de *El sueño de una noche de verano*.

En cambio, mi querida esposa, Janet, prefiere emplear el adjetivo «perverso», y en más de una ocasión he reconocido que una de mis observaciones había dado en el blanco al oír el grito de *«¡Oh, Isaac!»*, proferido por Janet.

En realidad, oigo también aquella exclamación en labios de otras personas. La única con quien me siento a salvo a este respecto es mi hermosa hija, de rubios cabellos y ojos azules (que ahora vive en Nueva Jersey, con su título de asistenta social bellamente enmarcado). Ella nunca dice *«¡Oh, Isaac!»*. Ni pensarlo. Lo que dice es *«¡Oh, papá!»*. Otras observaciones son más difíciles de aceptar.

Una vez, dos de nuestros más queridos amigos tenían que venir a visitarnos, y Janet, mirando de reojo el reloj, dijo:

Quisiera, Isaac, que sacases la basura antes de que lleguen Phyllis y Al.

—Desde luego, querida -respondí, complaciente.

Tomé el cubo de. la basura, abrí la puerta, salí al pasillo..., y allí estaban Phyllis y Al, que venían hacia mí, sonriendo ampliamente y extendiendo los brazos para saludarme. Y allí estaba yo, cargado con la basura.

Tenía que solventar la situación con alguna salida ingeniosa. Por consiguiente, dije:

—¡Hola! Precisamente acababa de decirle a Janet que debíais de estar a punto de llegar, y eso pareció recordarle que tenía que sacar la basura.

Y ocurrieron dos cosas: la primera (prevista) fue la angustiada exclamación de Janet dentro del apartamento: «¡Oh, Isaac!», al unísono con una exclamación idéntica de Phyllis.

La segunda fue una carcajada jovial de Al, mientras decía:

—No te preocupes, Janet. Nadie se toma en serio a Isaac.

¡Imaginaos! Con el enorme trabajo que me cuesta escribir serios ensayos para todos los números de *Fantasy and Science Fiction*, y él ataca mi credibilidad sólo por culpa de mi incorregible jocosidad.

Afortunadamente, sé que todos mis amables lectores me toman ciertamente en serio, y esto me anima a continuar con el tema que insinué en el capítulo anterior.

En el capítulo anterior hablé de espectro de la luz visible y de que William Herschel descubrió, en 1800, que había luz invisible más allá del extremo rojo del espectro, luz a la que ahora llamamos «radiación infrarroja». El espectro solar contiene una octava de luz visible, que se extiende desde una frecuencia de 800 billones de ciclos por segundo en el violeta de onda más corta, hasta la de 400 billones de ciclos por segundo en el rojo de onda más larga. Más allá del rojo, en el espectro solar, existen dos octavas de radiación infrarroja, que descienden hasta una frecuencia de 100 billones de ciclos por segundo.

Pero si hay algo más allá del rojo, ¿no puede haber también algo más allá del violeta?

Esta parte de la historia empieza en 1614, cuando un químico italiano, Angelo Sala (1576-1637), informó de que el nitrato de plata, compuesto perfectamente blanco, se oscurecía al ser expuesto al sol.

Esto ocurre también con otros compuestos de plata, y hoy sabemos qué es lo que sucede. La plata no es un elemento muy activo, y no se aferra con demasiada fuerza a los otros átomos. Las moléculas de un compuesto como el nitrato de plata o el cloruro de plata pueden romperse fácilmente y, cuando esto ocurre, gránulos finísimos de plata metálica se depositan acá y allá entre los pequeños cristales del compuesto. La plata, finamente dividida, es negra, y por eso el compuesto se oscurece.

Las ondas luminosas irradiadas por el sol contienen energía suficiente para dividir las moléculas de los compuestos de plata, y así la luz los oscurece. Esta clase de fenómeno es un ejemplo de «reacción fotoquímica».

Alrededor de 1770, el químico sueco Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) estudió el efecto de la luz del sol sobre los compuestos de plata, y tenía a su disposición el espectro solar (cosa que no sucedía con Sala). Scheele empapó finas tiras de papel en soluciones de nitrato de plata y

las colocó en diferentes partes del espectro. Quedó claro que los colores eran más eficaces para oscurecer el compuesto, cuanto más se acercaban al extremo violeta del espectro.

Desde luego, esto no sorprende hoy en día, ya que sabemos que la energía de la luz aumenta con su frecuencia. Naturalmente, cuanto más elevada es la energía de un tipo particular de luz, mayor es la probabilidad de que aquel tipo de luz rompa los lazos químicos dentro de la molécula.

Pero entonces, en 1800, Herschel descubrió la radiación infrarroja. Y un químico alemán, Johann Wilhelm Ritter (1776-1810), pensó que también podía haber algo más allá del otro extremo del espectro, y se dispuso a comprobarlo.

En 1801 empapó tiras de papel en una solución de nitrato de plata, como había hecho Scheele treinta años antes. Sin embargo, Ritter colocó tiras *más allá* del violeta, en una región donde no había luz visible. Descubrió y declaró con gran satisfacción que el oscurecimiento se producía más de prisa en aquella región aparentemente sin luz.

En un principio, la región espectral de más allá del violeta fue denominada «rayos químicos», porque la única manera en que podía estudiarse era a través de sus propiedades fotoquímicas.

Sin embargo, estas mismas propiedades fotoquímicas llevaron al descubrimiento de la fotografía. Los compuestos de plata eran mezclados con un material gelatinoso con el que se embadurnaba una lámina de cristal, que se encerraba en una cámara oscura. Se permitía que la luz brillante penetrase en la cámara durante un breve período de tiempo, y era enfocada sobre el material gelatinoso por medio de una lente. Dondequiera que incidiese la luz habría oscurecimiento, produciéndose así el negativo fotográfico. A partir de éste, podía producirse un positivo fotográfico, que podía ser tratado químicamente de manera que las luces y las sombras quedasen fijadas de modo permanente.

Poco después de que el inventor francés Louis J. M. Daguerre (1789-1851) realizase el primer proceso fotográfico, a duras penas práctico, en 1839, ello fue aprovechado por los científicos para registrar observaciones sobre la luz.

Así, por ejemplo, en 1842, el físico francés Alexandre Edmond Becquerel (1820-1891) tomó la primera fotografía adecuada del espectro solar.

Sucede que el ojo puede ver sólo aquellas frecuencias de luz que producen cambios fotoquímicos apropiados en la retina; es decir, luz con frecuencias que van desde los 800 hasta los 400 billones de ciclos por segundo. La cámara, por su parte, puede detectar aquellas frecuencias de luz que producen roturas químicas y oscurecimiento en los compuestos de plata de la placa fotográfica. Como la luz es menos energética cuanto más corta es la frecuencia, la cámara apenas puede ver la luz roja, que es fácilmente visible para el ojo, y no puede ver en absoluto la radiación infrarroja, como tampoco puede verla el ojo.

Sin embargo, más allá del violeta, donde las frecuencias son todavía más altas y la energía más grande, los compuestos de plata se rompen rápidamente, de modo que la cámara puede ver con facilidad la región de más allá del violeta, cosa que no puede hacer el ojo humano. Becquerel consiguió fotografiar el espectro solar más allá del violeta, y demostró con toda claridad que el espectro resultaba una estructura contínua, sustancialmente más amplia de lo que era ópticamente visible. La región de más allá del violeta contenía incluso líneas espectrales, exactamente igual que las que contenía la región visible.

A partir de entonces, arraigó la costumbre de decir que la región de más allá del violeta consistía en «radiación ultravioleta», siendo «ultra» un prefijo latino que significa «más allá».

En 1852, el físico irlandés George Gabriel Stokes (1819-1903) descubrió que el cuarzo es mucho más transparente a la radiación ultravioleta que el cristal ordinario. Por tanto, construyó prismas y lentes de cuarzo, y comprobó que podía fotografiar una zona más larga de ultravioleta en el espectro solar que la que podía fotografiarse a través de cristal.

Resultó que el espectro solar contenía una franja de radiación ultravioleta desde la longitud de onda de 400 nanómetros de la onda violeta más corta, hasta unos 300 nanómetros. Lo cual representa un poco menos de la mitad de una octava de ultravioleta, desde una frecuencia de 800 billones de ciclos por segundo hasta una de 1.000 billones.

Por consiguiente, el espectro solar contenía una octava de luz visible, incrustada entre dos octavas de radiación infrarroja y un poco menos de media octava de radiación ultravioleta.

La ausencia de una mayor extensión de la radiación ultravioleta resultó ser beneficiosa. La luz produce cambios fotoquímicos en la piel, y los produce con tanta más eficacia cuanto más aumenta la frecuencia. La luz visible surte poco efecto, pero la ultravioleta oscurece la piel al estimular la producción del pigmento oscuro, o melanina. Si una piel en particular es blanca y produce poca melanina (por ejemplo, la mía), enrojece y se quema en lugar de ponerse morena. Si el espectro solar se extendiese más allá de la frecuencia de 1.000 billones de ciclos por segundo, los cambios en el tejido vivo serían mayores y podrían impedir la existencia de toda vida expuesta a la luz del Sol.

Así, pues, el espectro solar incluye radiaciones en una escala de frecuencia que va desde 1.000 billones de ciclos por segundo, en la ultravioleta más corta, hasta 100 billones en la infrarroja más larga. Ahora podemos plantear tres cuestiones:

1. ¿Es eso todo? ¿Es imposible que haya radiaciones de frecuencia superior a 1.000 billones de ciclos por segundo o inferior a 100 billones?

2. Si es posible que haya frecuencias más altas y más bajas que las expuestas, ¿por qué no se manifiestan en el espectro solar? ¿Es el Sol incapaz de producir aquellas frecuencias más altas y más bajas, o son producidas, pero por alguna razón, no llegan hasta nosotros?

3. Y si son posibles frecuencias muy altas y muy bajas, ¿hasta dónde pueden subir o bajar? ¿Existe algún límite?

La primera pregunta fue rápidamente contestada, puesto que a los científicos no les fue muy difícil producir radiaciones ultravioletas de frecuencia más alta y radiaciones infrarrojas de frecuencia más baja que todas las existentes en el espectro solar.

El propio Stokes empleó una chispa eléctrica como fuente de radiación de alta frecuencia. Las chispas emitían luz más rica en ultravioletas -y también en ultravioletas de más alta frecuencia- que la luz del Sol.

Stokes y otros físicos de su época pudieron seguir las radiaciones ultravioletas hasta una longitud de onda de 200 nanómetros, que equivalen a una frecuencia aproximada de 1.500 billones de ciclos por segundo. Esto les dio alrededor de una octava de ultravioletas.

En el Siglo XX, los adelantos de la tecnología fotográfica hicieron ir más allá de los 200 nanómetros en longitud de onda, y llegar incluso hasta 10 nanómetros. La región de frecuencia entre 800 billones y 1.500 billones de ciclos por segundo es a veces denominada «ultravioleta próxima», mientras que la región entre 1.500 billones y 30.000 billones de ciclos por segundo es denominada «ultravioleta lejana».

En lo tocante a la radiación infrarroja, se pudo observar y estudiar una radiación de baja energía, emitida por cuerpos calentados, que producían frecuencias de radiación infrarroja muy inferiores a los 10 billones de ciclos por segundo, que parecían ser el límite en el espectro solar. De hecho, se observaron ondas que se acercaban a 1 milímetro (o sea, 1.000.000 de nanómetros), y 1 milímetro puede tomarse como la longitud de onda límite de la radiación infrarroja. Esto representa una frecuencia de 0,3 billones (o sea, 300 mil millones) de ciclos por segundo.

Entonces, el espectro parecería extenderse desde frecuencias tan pequeñas como 0,3 billones hasta las de 30.000 billones de ciclos por segundo (o desde 3×10^{11} hasta 3×10^{16} ciclos por segundo). Esto representa un total de más de 16 octavas. De éstas, 5 octavas son de radiación ultravioleta, 1 octava es de luz visible y 10 octavas son de radiación infrarroja. La luz invisible supera en 15 veces a la visible.

Pasemos ahora a la segunda pregunta. ¿Por qué es el espectro solar más limitado en ambas direcciones que la radiación que puede estudiarse en los laboratorios? En realidad, los científicos no creyeron que el espectro solar fuese tan limitado como parecía, y la investigación de la atmósfera superior, a comienzos del Siglo XX, demostró que tenían razón.

La atmósfera es opaca a la mayor parte de las radiaciones que no sean las de la octava visible. El ozono, abundante en la atmósfera superior, bloquea la radiación ultravioleta de más corto alcance. La radiación infrarroja de más largo alcance es absorbida por diferentes componentes atmosféricos, como el dióxido de carbono y el vapor de agua.

Si la luz solar hubiese podido estudiarse fuera de la capa atmosférica de la Tierra, sin duda se habría descubierto que tenía un espectro que englobaba toda la gama de radiación ultravioleta e infrarroja y, probablemente, más en ambos sentidos. A mediados del Siglo XX, la luz solar *fue* estudiada de este modo, y se descubrió que, en realidad, tenía un espectro muy amplio.

Esto nos lleva a la tercera cuestión. ¿Existen límites absolutos a la radiación en ambas direcciones? ¿Existen radiaciones con las longitudes de onda más larga y más corta posibles, o (su equivalencia) con las frecuencias más baja y más alta posibles?

En el estudio de la electricidad y el magnetismo tuvo su origen un intento de responder a esta cuestión.

En un principio, creyeron que se trataba de dos fenómenos independientes; pero, en 1820, el físico danés Hans Christian Oersted (1777-1851) descubrió, casi de una manera accidental, que una corriente eléctrica producía un campo magnético que podía afectar a la aguja de una brújula.

Otros físicos empezaron a investigar inmediatamente este sorprendente estado de cosas, y se descubrió en seguida que, si un conductor pasaba a través de las líneas de fuerza de un campo magnético, podía inducirse una corriente eléctrica en aquel conductor (éste es el fundamento de nuestra moderna sociedad electrificada).

De hecho, cuanto más se extendió la investigación, más íntimamente parecieron estar relacionados la electricidad y el magnetismo. Empezó a sospecharse que no podían existir la una sin el otro, y que no había un campo eléctrico y un campo magnético, sino un «campo electromagnético» combinado.

En 1864, el matemático escocés James Clerk Maxwell (1831-1879) concibió una serie de cuatro ecuaciones relativamente simples que describían, con sorprendente exactitud, todo el comportamiento de los fenómenos electromagnéticos, y con ellas estableció de modo firme y perdurable los cimientos del campo electromagnético.

Así, las dos grandes revoluciones físicas del Siglo XX, la relatividad y los quanta, modificaron casi todo el contenido de la física, incluso la teoría de la gravitación de Isaac Newton, pero dejaron intactas las ecuaciones de Maxwell.

El resultado más inesperado de aquellas ecuaciones fue que Maxwell pudo demostrar que un campo eléctrico de intensidad cambiante podía producir un campo magnético de intensidad cambiante, que, a su vez, producía un campo eléctrico de intensidad cambiante, y así sucesivamente. Los dos efectos se sucedían, por decirlo así, y producían una radiación que tenía las propiedades de una onda transversal que se extendía hacia fuera y, al mismo tiempo, en todas direcciones. Era como dejar caer una piedrecita en la superficie de un estanque en calma, provocando una serie de pequeñas olas que se extendiesen en todas direcciones desde el punto donde ha caído la piedra.

En el caso de un campo electromagnético, el resultado es una «radiación electromagnética».

Maxwell fue capaz de determinar la velocidad de propagación de tal radiación electromagnética, partiendo de sus ecuaciones. Resultó ser igual a la razón de ciertos valores de sus ecuaciones, y esta razón resultó ser de 300.000.000 mseg.

Ésta era precisamente la velocidad de la luz, que tenía también las propiedades de una onda transversal. Maxwell no podía creer que esto fuese una coincidencia. Presumió que la luz era un ejemplo de radiación electromagnética, y que sus longitudes de onda variables dependían de los grados variables en que oscilaban los campos electromagnéticos.

¿Qué campos electromagnéticos?

Maxwell no sabía decirlo, pero sus ecuaciones funcionaban y él estaba convencido de que los campos estaban allí. Sólo después de su prematura muerte se demostró que estaba completamente en lo cierto a tal respecto.

Ahora sabemos que el átomo se compone de partículas subatómicas, dos de las cuales, el electrón y el protón, poseen cargas eléctricas. Ellas provocan la oscilación de los campos electromagnéticos.

Si consideramos esto de una manera que los físicos modernos llamarían no sofisticada, podemos imaginarnos a los electrones girando alrededor de los núcleos atómicos, a la manera de los planetas, oscilando así de un lado del núcleo al otro cientos de billones de veces por segundo. La frecuencia de esta oscilación sería igual a la frecuencia de la onda luminosa inevitablemente producida. Las diferentes frecuencias serían fruto de los diferentes átomos, o de los diferentes electrones de los mismos átomos, o incluso de los mismos electrones de los mismos átomos en condiciones diferentes.

Así, en vez de hablar de un espectro luminoso, nos referimos ahora a un «espectro electromagnético», y todas las frecuencias diferentes en el espectro reflejan las diferentes frecuencias que pueden afectar a un campo electromagnético oscilante. Por consiguiente, no existen distinciones fundamentales entre radiación ultravioleta, luz visible y radiación infrarroja. Representan una continua uniformidad que está inevitablemente dividida en tres clases sólo por el accidente de que algunas frecuencias, y no otras, afectan a los elementos químicos de nuestras retinas, de manera que producen una sensación que nuestro cerebro interpreta como una visión.

En teoría, un campo electromagnético puede oscilar a cualquier frecuencia, de modo que puede producirse una radiación electromagnética de cualquier frecuencia. No parece haber ninguna razón en concreto para que no puedan producirse radiaciones electromagnéticas con frecuencias mucho más bajas que las de la zona infrarroja, o mucho más altas que las de la zona ultravioleta.

Por consiguiente, Maxwell predijo la existencia de radiaciones más allá (incluso mucho más allá) de los límites observados.

Esta predicción se mostró correcta sólo veinticuatro años más tarde, en 1888 (volveré sobre ello en el capítulo siguiente). De haber vivido hasta aquel año, Maxwell habría contado con cincuenta y siete, y habría observado el descubrimiento con gran satisfacción; pero murió prematuramente de cáncer, nueve años antes.

En lo que resta de capítulo, permitidme especular sobre los límites razonables del espectro electromagnético en ambas direcciones.

Al oscilar un campo electromagnético cada vez con más lentitud, la radiación producida es de frecuencia cada vez más baja y de longitud de onda cada vez más larga. Si la oscilación fuese de 300.000 ciclos por segundo (en vez de los cientos de billones requeridos para producir ondas luminosas), tendríamos ondas de un kilómetro de longitud. Si la oscilación fuese de sólo un ciclo por segundo, cada onda tendría 300.000 kilómetros de longitud, etcétera.

Es seguro que, al aumentar las ondas de longitud, disminuye su contenido en energía, y es fácil producir ondas tan largas que ningún instrumento actual fuera capaz de detectar. Sin embargo, podemos suponer que habrá instrumentos cada vez más delicados, y preguntarnos si alcanzaremos alguna vez una longitud de onda tan larga y desprovista de energía que ningún instrumento concebible sirva para registrarla.

Imaginemos, pues, una onda electromagnética tan larga que una sola oscilación alcance toda la anchura del Universo. Cualquier cosa más larga que dicha onda estaría por encima del Universo, por decirlo de algún modo, y no podría influir en nada de lo que hay en él, de modo que no podría ser detectada ni siquiera en principio. Así, daremos por sentado que la anchura del Universo es la más larga longitud de onda que podría tener cualquier radiación electromagnética significativa.

Yo empleo generalmente la cifra de 25.000.000.000 de años luz como diámetro del Universo. (Mi buen amigo John D. Clark, antaño escritor de ciencia-ficción, ha sostenido recientemente que dicha cifra es el doble de lo que debería ser, y posiblemente tenga razón, pero sigamos con ella, aunque sea sólo como diversión.) El grado de oscilación para producir una longitud de onda igual al diámetro del Universo sería entonces de un ciclo por 25.000.000.000 de años, o

un ciclo por 790.000.000.000.000.000 de segundos. Esto representa, aproximadamente, 10^{-18} ciclos por segundo.

Supongamos ahora que vamos en la otra dirección, e imaginemos longitudes de onda que sean cada vez más cortas y, por tanto, frecuencias (y energías) que sean cada vez más altas.

Pudiera parecer que aquí no puede haber un límite. El tamaño del Universo, eventualmente, marcaría un límite máximo a la longitud, pero, ¿qué podría fijar un límite mínimo?

Gracias a la teoría de los quanta, hoy sabemos que, cuanto más alta es la frecuencia, más alta es la energía, y podemos imaginar una onda electromagnética tan alta que contenga toda la energía del Universo. No puede haber frecuencias más altas que ésta.

Casi toda la energía del Universo se halla en forma de masa. Supongamos, pues, que pasamos por alto la energía de la radiación electromagnética que ya existe y la energía relativa a los movimientos de masa. Podemos pasar también por alto la posible masa en reposo de los neutrinos, ya que ésta (véase *Nothing and All*, en *Counting the Eons [Contando los eones]* publicada por Plaza & Janés. Doubleday, 1983) es por el momento una cuestión muy aleatoria.

Por consiguiente, podemos hacer la razonable presunción de que hay 100.000.000.000 de galaxias en el Universo, y que cada galaxia tiene una masa igual a 100.000.000.000 veces la de nuestro Sol. (Hay galaxias, incluida la nuestra, que tienen una masa considerablemente mayor; pero también las hay que la tienen mucho menor.)

En tal caso, la masa del Universo sería igual a 10.000.000.000.000.000.000.000, 10^{22} veces la del Sol. Como la masa del Sol es de unos 2×10^{30} kg, la masa del Universo sería de 2×10^{52} kg.

Según la teoría de la relatividad, $e=mc^2$, donde e es la energía, m la masa y c la velocidad de la luz. Según la teoría cuántica, $e=hf$, donde h es la constante de Plank y f la frecuencia. (En realidad, la frecuencia se representa generalmente con la letra griega «nu», pero no quiero plantear problemas al noble impresor.)

Si combinamos las dos ecuaciones, resulta que $f=mc^2/h$. Empleando las unidades correctas (¡confiad en mí!), podemos decir que m es igual a 2×10^{52}, c^2 es igual a 9×10^{16} y h es igual a $6{,}6 \times 10^{-34}$. Desarrollando la ecuación, encontramos una longitud de onda de $2{,}7 \times 10^{102}$ ciclos por segundo. La correspondiente longitud de onda de la radiación a tal frecuencia es de 10^{-94} metros.

Entonces, la extensión total de radiación electromagnética es de 10^{-18} ciclos por segundo, para una onda de longitud igual a la anchura del Universo, a $2{,}7 \times 10^{102}$ ciclos por segundo, para una onda tan corta que contenga la masa del Universo. Se trata, pues, de una extensión de 120 órdenes de magnitud. Hay aproximadamente 10 octavas en 3 órdenes de magnitud; por consiguiente, la extensión total concebible de radiaciones electromagnéticas es de unas 400 octavas.

De éstas, hay poco menos de 100 octavas más allá de la radiación infrarroja, y poco menos de 300 octavas más allá de la ultravioleta. La diminuta banda de radiación ultravioleta, luz visible y radiación infrarroja, abarca 16 octavas entre todas ellas, y representa 125 del total. La luz visible, a una octava, equivale a 1/400 del total.

Según mi opinión, en el momento de la gran explosión primigenia, el Universo debió de aparecer como una sola partícula de tamaño casi cero y de masa universal. Yo llamé «holón» a esta partícula en «Asimetría crucial» (véase *Counting the Eons [Contando los eones]*, DoubleDay, 1983), pero Tom Easton, en el número de agosto de 1979 de *Analog*, se me anticipó con una noción similar de lo que él llamaba un «monobloque». Bueno, yo desconocía esto entonces, y ahora reconozco de buen grado su prioridad.

El diámetro del holón sería, pues, de 10^{-94} metros. Compárese esto con un protón, con un diámetro de 10^{-15} metros. El diámetro de un protón es igual a 10^{79} veces el de un holón, de donde se desprende que el diámetro del Universo es igual a 10^{41} veces el de un protón. En consecuencia, un protón sería, en comparación con el holón, mucho más grande que todo el Universo en comparación con un protón.

III
TRES QUE MURIERON DEMASIADO PRONTO

Acabo de regresar de Philcon, la convención anual patrocinada por la Philadelphia Science Fiction Society.

Pensé que aquello había sido un éxito. Bien atendido, eficazmente dirigido, con una excelente demostración artística y un salón de actos bullicioso. Joe Haldeman fue el invitado de honor, y dio una animada charla que fue recibida con gran entusiasmo por el público. Temo que esto me descorazonó, pues tenía que hablar después de él, y os aseguro que tuve que extenderme al máximo.

Pero lo que más me gustó fue un concurso de trajes, que ganó un joven que había diseñado un traje de sátiro increíblemente ingenioso. Llevaba una flauta de Pan colgada del cuello, lucía unos cuernos que hacían juego con sus cabellos, y hacía cabriolas sobre unas patas de macho cabrío que parecían de verdad.

Sin embargo, mi satisfacción particular alcanzó su punto culminante cuando salieron al escenario tres personas con acompañamiento de una música portentosa, para representar *Fundación, Fundación e imperio y Segunda fundación*, las tres partes de mi conocida «Trilogía de la fundación». Los tres personajes aparecían envueltos en negras túnicas y tenían un aspecto sombrío. Les observé con curiosidad, preguntándome cómo podrían representar aquellas tres novelas tan intelectuales.

De pronto, los tres abrieron sus túnicas y resultaron ser tres jóvenes muy poco vestidos. El primero y el tercero eran varones, por lo que mi interés por ellos debía quedar forzosamente limitado, y ambos llevaban poco más que un taparrabo (primera y segunda «fundación», según comprendí inmediatamente).

La persona de en medio era una joven de singular belleza, tanto de cara como de cuerpo, y llevaba también unas pequeñas bragas. Sin embargo, ella representaba la *Fundación y el imperio*, y deduje que el Imperio era la otra prenda que llevaba, un sujetador que a duras penas ocultaba lo que debía sujetar.

Tras unos instantes de sorpresa y regocijo, emergió mi educación científica. Si hay que realizar una observación cuidadosa, ésta debe hacerse en las condiciones más favorables. Por consiguiente, me levanté y me incliné hacia delante.

Inmediatamente, Oí cerca de mí una voz que decía:

—Me debes cinco pavos. Se ha levantado.

Había sido una apuesta muy fácil de ganar, como ganará fácilmente quien apueste a que voy a dedicar un tercer capítulo al espectro electromagnético.

En los dos capítulos anteriores he tratado de la luz visible, de la radiación infrarroja y de la radiación ultravioleta. Las frecuencias en cuestión iban desde 0,3 billones de ciclos por segundo para el infrarrojo de más baja frecuencia, hasta 30.000 billones de ciclos por segundo para el ultravioleta de más alta frecuencia.

Sin embargo, en 1864 —como ya he dicho—, James Clerk Maxwell había formulado una teoría según la cual aquellas radiaciones surgían de un campo electromagnético oscilante (de aquí, la «radiación electromagnética»), y la frecuencia podía tener cualquier valor, desde mucho más de los 30.000 billones de ciclos por segundo, hasta mucho menos de los 0,3 billones de ciclo por segundo.

Una buena, sólida y meditada teoría es siempre deliciosa, pero lo es aún más si prevé algún fenómeno que nunca antes se había observado y que se observa entonces. La, teoría lo anuncia, tú observas y, ¡mira!, allí está. Sin embargo, no parecen muy grandes las probabilidades de que sea así.

Es posible hacer oscilar una corriente eléctrica (y, por ende, un campo electromagnético). Tales oscilaciones son, empero, relativamente lentas, y si, como predijeron las ecuaciones de Maxwell, producen una radiación electromagnética, la frecuencia es mucho más baja que la radiación infrarroja de más baja frecuencia. Millones de veces más baja. Seguramente, los métodos de detección que funcionaron en el caso de las radiaciones conocidas en la región de la luz y de sus vecinos inmediatos, no funcionarían con algo de propiedades tan diferentes.

Sin embargo, había que detectarías, y había que hacerlo con tanto detalle que pudiera demostrarse que las ondas tenían la naturaleza y las propiedades de la luz.

En realidad, la idea de corrientes eléctricas oscilantes que produjesen una especie de radiación fue anterior a Maxwell.

El físico norteamericano Joseph Henry (1797-1878) había descubierto en 1832 el principio de «autoinducción» (no ahondaré en ello, pues en tal caso, me faltaría tiempo para abarcar todo lo que pretendo en este ensayo). En 1842 hizo unas observaciones desorientadoras que hacían que, en algunos casos, pareciese incierta la dirección en que se movía una corriente eléctrica. En realidad, bajo ciertas condiciones, parecía moverse en ambas direcciones.

Empleando su principio de autoinducción, Henry dijo que cuando se descarga, por ejemplo, una botella de Leyden (o, en general, un acumulador) pasa más allá de la marca, de modo que una corriente fluye hacia fuera, después se encuentra con que debe fluir hacia atrás, supera de nuevo la marca, fluye en la primera dirección y así sucesivamente. Dicho en pocas palabras: la corriente eléctrica oscila de manera parecida a un muelle. Más aún, puede ser una oscilación menguante, de manera que cada paso más allá de la marca sea inferior al precedente, hasta que la corriente se reduzca a cero.

Henry sabía que una corriente producía un efecto a distancia —por ejemplo, desviaba la aguja de una brújula lejana— y pensó que este efecto cambiaría y se desviaría con las oscilaciones, de manera que tendríamos una radiación, del tipo de las ondas, que brotaría de la corriente oscilante. Incluso comparó la radiación a la luz.

Esto no era más que una vaga especulación por parte de Henry, pero un hecho distintivo de los grandes científicos es que incluso sus vagas especulaciones tienen una curiosa tendencia a resultar acertadas. Sin embargo, fue Maxwell quien, un cuarto de siglo más tarde, redujo toda la cuestión a una clara formulación matemática, por lo que a él debe atribuirse el mérito.

Pero no todos los científicos aceptaron el razonamiento de Maxwell. Uno que no lo aceptó fue el físico irlandés George Francis Fitzgerald (1851-1901), quien escribió un trabajo en el que sostenía categóricamente que era imposible que las corrientes eléctricas oscilantes produjesen radiaciones semejantes a ondas. (Fitzgerald es muy conocido de nombre, o debería serlo, por los lectores de ciencia-ficción, ya que a él se debe el concepto de «la contracción de Fitzgerald».)

Era muy posible que los científicos tomaran partido, escogiendo algunos a Maxwell y otros a Fitzgerald, y discutiesen eternamente la cuestión, a menos que se detectaran realmente las ondas de oscilación eléctrica o que se hiciese alguna observación que demostrase claramente que tales ondas eran imposibles.

No es, pues, de extrañar que Maxwell se diese perfecta cuenta de la importancia de detectar aquellas ondas de muy baja frecuencia, y que se apesadumbrase al ver que eran tan difíciles de localizar que la empresa casi rayaba en lo imposible.

Hasta que en 1888, un físico alemán de treinta y un años, Heinrich Rudolph Hertz (1857-1894) consiguió realizar el trabajo y confirmar la teoría de Maxwell sobre una base firme de observación. Si Maxwell hubiese vivido, estoy seguro de que su satisfacción de ver confirmada su teoría habría sido superada por la sorpresa de comprobar lo fácil que era la detección y la sencillez con que se había conseguido.

Lo único que necesitó Hertz fue un alambre rectangular,

con un extremo adaptable de modo que pudiese introducirse y extraerse, y con el otro extremo provisto de una pequeña abertura. El alambre terminaba, en cada lado de la abertura, en un pequeño botón de bronce. Si se producía de algún modo una corriente en el alambre rectangular, podía saltar la abertura, produciendo una pequeña chispa.

Entonces, Hertz produjo una corriente oscilante descargando una botella de Leyden. Si daba lugar a ondas electromagnéticas, según preveían las ecuaciones de Maxwell, estas ondas inducirían una corriente eléctrica en el detector rectangular de Hertz (que, naturalmente, no estaba conectado con otra fuente de electricidad). Entonces se produciría una chispa a través de la abertura, lo cual supondría una prueba visible de la corriente eléctrica inducida y, por consiguiente, de las ondas que producían la inducción.

Hertz logró sus chispas.

Moviendo el receptor en diferentes direcciones y a distancias distintas de la corriente oscilante que era fuente de las ondas, descubrió que las chispas eran más intensas en unos lugares y menos en otros, según fuese más alta o más baja la amplitud de las ondas. De esta manera,

pudo diseñar las ondas, determinar su longitud y demostrar que podían ser reflejadas, refractadas, y manifestar fenómenos de interferencia. Pudo incluso detectar propiedades eléctricas y magnéticas. Abreviando, descubrió una onda absolutamente similar a la luz, salvo por sus longitudes, que se medían en metros en vez de micrómetros. La teoría electromagnética de Maxwell había quedado real y firmemente demostrada nueve años después de su muerte.

Las nuevas ondas y sus propiedades fueron rápidamente confirmadas por otros observadores, y recibieron el nombre de « ondas hertzianas».

Ni Hertz ni ninguno de los que confirmaron sus hallazgos dieron al descubrimiento más importancia que la de una demostración de la veracidad de una elegante teoría científica.

Sin embargo, en 1892, el físico inglés William Crookes (1832-1919) sugirió que las ondas hertzianas podían ser empleadas como medio de comunicación. Se movían en línea recta a la velocidad de la luz, pero su longitud de onda era tan grande, que los objetos de tamaño corriente no eran opacos para ellas. Las ondas largas se movían alrededor y a través de los obstáculos. Las ondas eran fácilmente detectadas y, si podían iniciarse y detenerse cuidadosamente, producirían los puntos y rayas del telégrafo Morse..., sin necesidad del complicado y caro sistema de miles de kilómetros de alambre de cobre y de relés. En una palabra, Crookes sugería la posibilidad de la «telegrafía sin hilos».

La idea debió de sonar entonces como de «ciencia-ficción» (en el sentido peyorativo empleado por los esnobs ignorantes) y, por desgracia, Hertz no pudo verla realizada. Murió en 1894, a la edad de treinta y ocho años, de una infección crónica que, hoy en día, probablemente podría curarse fácilmente con antibióticos.

Sin embargo, sólo meses después de la muerte de Hertz, un ingeniero italiano, Guglielmo Marconi (1874-1937), que a la sazón tenía sólo veinte años, leyó los descubrimientos de Hertz e inmediatamente concibió la misma idea que Crookes había tenido.

Marconi empleó el mismo sistema que había usado el propio Hertz para producir ondas hertzianas, pero montó un detector muy perfeccionado, llamado cohesor. Consistía en un contenedor de limaduras metálicas muy poco apretadas, que ordinariamente conducían una pequeña corriente, pero que se convertía en mucho más importante cuando caían sobre las partículas las ondas hertzianas.

Marconi mejoró gradualmente sus instrumentos, perfeccionando tanto el transmisor como el receptor. También empleó un alambre, aislado de la tierra, que servía de antena para facilitar tanto la emisión como la recepción.

Envió señales a través de distancias cada vez más grandes. En 1895 mandó una señal desde su casa hasta su jardín y, más tarde, a través de una distancia de más de un kilómetro. En 1896, al ver que el Gobierno italiano se desinteresaba de su trabajo, marchó a Inglaterra —su madre era irlandesa, y Marconi hablaba inglés— y envió una señal a una distancia de catorce kilómetros. Entonces solicitó, y le fue otorgada, la primera patente de telegrafía sin hilos de la Historia.

En 1897, de nuevo en Italia, envió una señal desde tierra a un buque de guerra situado a veinte kilómetros, y en 1898 (de nuevo en Inglaterra) mandó señal a una distancia de treinta kilómetros.

Su sistema empezó a ser conocido. Lord Kelvin, físico británico de setenta y cuatro anos, pago para enviar un «marconigrama» a su amigo, el físico, también británico, G. G. Stokes, que por entonces tenía setenta y nueve años. Esta comunicación entre dos científicos ancianos fue el primer mensaje comercial transmitido por telegrafía sin hilos. Marconi empleó también sus señales para informar de las carreras de yates en la Kingstown Regatta de aquel año.

En 1901, Marconi sé acercó al apogeo. Sus experimentos le habían convencido ya de que las ondas hertzianas seguían la curva de la Tierra en vez de irradiarse en línea recta hacia el espacio, como cabía esperar que hiciesen las ondas electromagnéticas. (En definitiva, se descubrió que las ondas hertzianas eran reflejadas por las partículas cargadas de la ionosfera, región de la atmósfera superior. Viajaban alrededor de la Tierra saltando entre el suelo y la ionosfera.)

Por consiguiente, hizo complicados preparativos para enviar una señal con ondas hertzianas desde la punta sudoeste de Inglaterra, a través del Atlántico, hasta Terranova, empleando globos para levantar las antenas a la mayor altura posible. El 12 de diciembre de 1901 lo consiguió.

Para los británicos, la técnica sigue llamándose *wireless Telegraphy* (Telegrafía sin hilos), y suelen abreviar el término en *wireless*.

En los Estados Unidos, la técnica se llamó *radiotelegraphy*, para indicar que lo que transportaba la señal era una radiación electromagnética, y no un alambre portador de corriente. Para abreviar, la técnica fue llamada radio.

Como la técnica de Marconi se desarrolló más de prisa en los Estados Unidos, que era ya la nación más avanzada del mundo desde el punto de vista tecnológico, el término radio se impuso al de *wireless*. Actualmente, todo el mundo habla de radio, y el 12 de diciembre de 1901 es comúnmente considerado como el día de la «invención de la radio».

En realidad, las ondas hertzianas han acabado llamándose «ondas de radio», y el nombre antiguo ha caído en desuso. Toda la porción del espectro electromagnético desde una longitud de onda de un milímetro (límite superior de la región infrarroja) hasta una longitud de onda máxima, igual al diámetro del Universo —una extensión de 100 octavas—, está incluida en la región de la onda de radio.

Las ondas de radio empleadas para la transmisión normal, tienen longitudes que van, aproximadamente, de los 190 a los 5.700 m. La frecuencia de estas ondas de radio es, por consiguiente, de 530.000 a 1.600.000 ciclos por segundo (o de 530 a 1.600 kilociclos por segundo). El «ciclo por segundo» es ahora denominado «hertz» en honor del científico del mismo nombre, por lo que podemos decir que la gama de frecuencia es de 530 a 1.600 kilohertzios.

Ondas de radio de más alta frecuencia son empleadas en frecuencia modulada, y de frecuencia todavía más alta, en televisión.

Con el paso de los años, el uso de la radio se hizo más y más común. Se inventaron métodos para convertir las señales de radio en ondas sonoras, de modo que pudiesen oírse discursos y música, y no solamente las señales de Morse, por radio.

Esto significaba que la radio podía combinarse con la comunicación telefónica ordinaria para producir radiotelefonía. Dicho de otra manera: se podía emplear el teléfono para comunicarse con alguien que estuviese en un barco en mitad del océano, estando uno en medio del continente. Los cables telefónicos normales transmitirían el mensaje en tierra, mientras que las ondas de radio lo transmitirían sobre el mar.

Sin embargo, había una pega. La electricidad conducida por cable podía producir un sonido claro como una campana (por algo Alexander Graham se llamaba Bell —campana— de apellido), pero las ondas de radio conducidas por aire estaban siendo constantemente interferidas por un ruido casual, al que llamamos estática (porque una de sus causas es la acumulación de una carga eléctrica estática en la antena).

Naturalmente, la «Bell Telephone» estaba interesada en reducir al mínimo aquellas interferencias, pero, para conseguirlo, había que aprender todo lo posible sobre sus causas. Confiaron esta tarea a un joven ingeniero llamado Karl Guthe Jansky (1905-1950).

Una de las fuentes de electricidad estática la constituían las tormentas; por consiguiente, una de las cosas que hizo Jansky fue montar una complicada antena, compuesta de numerosas varillas, verticales y horizontales, que podían captar ondas desde distintas direcciones. Más aún: la montó sobre un chasis de automóvil provisto de ruedas, de modo que podía volverla a un lado y otro con el fin de acoplarla a cualquier ruido estático que detectase.

Empleando este sistema, Jansky no tuvo dificultad en detectar tormentas lejanas en forma de chasquidos estáticos.

Pero esto no fue todo. Mientras escrutaba el cielo, escuch9' también un sonido sibilante muy diferente de los chasquidos producidos por las tormentas. Captaba claramente ondas procedentes del cielo, ondas de radio que no eran generadas por seres humanos ni por tormentas. Y, lo que es más, al estudiar aquel silbido, un día tras otro, le pareció que no procedía del cielo en general, sino, en su mayor parte, de algún lugar particular de éste. Moviendo adecuadamente la antena, podía apuntarla en la dirección en donde el sonido era más intenso, y este lugar se trasladaba en el cielo, de manera bastante parecida a como lo hacía el Sol.

Al principio, Jansky creyó que el origen de aquella onda de radio *era* el Sol, y si éste hubiese estado entonces en un nivel de gran actividad, habría tenido razón.

Pero el Sol estaba, a la sazón, en un período de poca actividad, y las ondas de radio que emitiese no podían ser detectadas por el tosco aparato de Jansky. Quizá fuera buena cosa, pues indicaba que Jansky había descubierto algo más importante. Al principio, su aparato parecía, ciertamente, apuntar hacia el Sol cuando recibía el silbido con más intensidad, pero a medida que fueron pasando los días, Jansky observó que su aparato apuntaba cada vez más lejos del Sol.

El punto del que procedía el silbido permanecía fijo en relación con las estrellas, mientras que el Sol (visto desde la Tierra) no lo estaba. En la primavera de 1932, Jansky se convenció por completo de que el silbido procedía de la constelación de Sagitario. Confundió inicialmente el silbido cósmico como producido por el Sol, porque éste se hallaba en Sagitario en el momento de la detección.

Se da la Circunstancia de que el centro de la Galaxia está en la dirección de Sagitario, y lo que había hecho Jansky había sido detectar las emisiones de radio de aquel centro. Debido a esto, a aquel sonido se le llamó «silbido cósmico».

Jansky publicó sus observaciones en el número de diciembre de 1932 de *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* y esto marcó el nacimiento de la radioastronomía.

Pero, ¿cómo podían llegar a la Tierra unas ondas de radio desde el espacio exterior? La ionosfera impide que las ondas de radio originadas en la Tierra salgan al espacio exterior; por consiguiente, debería impedir también que las que se originan en el espacio llegasen hasta la superficie de la Tierra.

Pero resultó que una serie de alrededor de once octavas de las ondas de radio más cortas (llamadas «microondas»), precisamente más allá del infrarrojo, no eran reflejadas por la ionosfera. Estas ondas cortísimas de radio podían traspasar la ionosfera, desde la Tierra al espacio y viceversa. Esta serie de octavas es conocida con el nombre de «ventana de microondas».

La ventana de microondas abarca radiaciones con longitudes de onda desde unos 10 mm hasta unos 10 m, y frecuencias que van desde 30.000.000 de ciclos por segundo (30 megahertzios) hasta 30.000.000.000 de ciclos por segundo (30.000 megahertzios).

Resultó que el aparato de Jansky era sensible a una frecuencia que no bajara del límite inferior de la ventana de microondas. De haber sido un poco más baja, no habría podido detectar el silbido cósmico.

La noticia del descubrimiento de Jansky salió en primera página del *Times* de Nueva York, y con razón. Con la sabiduría de la visión *a posteriori*, advertimos inmediatamente la importancia de la ventana de microondas. En primer lugar, incluía siete octavas, en vez de la única octava de la luz visible (más un pequeño suplemento en las vecinas ultravioleta e infrarroja). En segundo lugar, la luz es sólo útil para la astronomía no solar en las noches claras, mientras que las microondas llegan a la Tierra tanto si el cielo está nuboso como si está despejado, e incluso pueden estudiarse durante el día, pues el Sol no las oscurece.

Sin embargo, los astrólogos profesionales les prestaron poca atención. El astrónomo Fred Lawrence Whipple (1906-), que acababa de ingresar en la Facultad de Harvard, discutió el asunto con animación, aunque tenía la ventaja de ser un lector de ciencia-ficción.

Pero no podemos censurar demasiado a los astrónomos. A fin de cuentas, no podían hacer gran cosa con aquello. Simplemente, no existía la instrumentación requerida para recibir microondas con suficiente delicadeza.

El propio Jansky no llevó más adelante su descubrimiento. Tenía otras cosas que hacer, y su salud no era muy buena. Murió de una dolencia cardíaca a los cuarenta y cinco años, y apenas vivió lo suficiente para ver los primeros balbuceos de la radioastronomía. Por una extraña fatalidad, tres de los científicos clave en la historia de la radio, Maxwell, Hertz y Jansky, murieron a los cuarenta y tantos años y no vivieron para ser testigos de las verdaderas consecuencias de su trabajo, aunque les faltó para ello vivir sólo diez años más.

Sin embargo, la radioastronomía no fue del todo dejada de la mano. Una persona, un aficionado, la llevó adelante. Fue Grote Reber (1911-), que se había convertido en un

entusiasta de la radio a la edad de quince años. Mientras todavía estudiaba en el Instituto Tecnológico de Illinois, se tomó en serio el descubrimiento de Jansky y se propuso continuarlo. Así, por ejemplo, trató de hacer rebotar señales de radio en la Luna y captar el eco. (Fracasó, pero la idea era buena, y, una década más tarde, el Cuerpo de Señales del Ejército, mucho mejor equipado, lo conseguiría.)

En 1937, Reber construyó el primer radiotelescopio en el jardín trasero de su casa de Wheaton, Illinois. El reflector, que recibía las ondas de radio, tenía 9,5 m de diámetro. Había sido diseñado a modo de paraboloide, de manera que concentraba en el foco las ondas que recibía en el detector. Empezó a recibirlas en 1938, y, durante varios años, fue el único radioastrónomo del mundo. Descubrió lugares en el cielo que emitían ondas de radio más fuertes que las que solían interferirse. Y vio que las radioestrellas no coincidían con ninguna de las estrellas visibles. (Algunas de las radioestrellas de Reber fueron más tarde identificadas con galaxias remotas.)

Reber publicó sus hallazgos en 1942, y entonces se produjo un sorprendente cambio en la actitud de los científicos Con referencia a la radioastronomía.

Un físico escocés, Robert Watson-Watt (1892-1973), se había interesado por la manera en que eran reflejadas las ondas de radio. Se le ocurrió que las ondas de radio podían ser reflejadas por un obstáculo y que tal reflexión podía ser detectada. El lapso de tiempo transcurrido entre que la onda se emite y es detectada la reflexión permitiría determinar la distancia al obstáculo, y la dirección desde la que se recibiese la onda reflejada nos daría la posición de aquél.

Cuanto más cortas fuesen las ondas de radio, más fácilmente serían reflejadas por los obstáculos ordinarios; pero si eran demasiado cortas, no penetrarían las nubes, la niebla o el polvo. Se necesitaban frecuencias lo suficientemente altas como para ser penetrantes, pero lo bastante bajas como para ser eficazmente reflejadas por los objetos que se quisiera detectar. Las microondas eran, precisamente, las adecuadas para tal fin, y, ya en 1919, Watson-Watt había registrado una patente relacionada con la localización por medio de ondas cortas de radio.

El principio es sencillo, pero la dificultad estriba en construir instrumentos capaces de enviar y de recibir microondas con la eficiencia y delicadeza necesarias. En 1935, Watson-Watt había patentado mejoras que hacían posible detectar a un aeroplano por las reflexiones de ondas de radio que devolvía. El sistema fue llamado *radio detection and ranging* (detección de un objeto y determinación de su distancia). Y se abrevió en «ra-d-a-r», o «radar».

Los estudios prosiguieron en secreto y, en el otoño de 1938, empezaron a operar estaciones de radar en la costa británica. En 1940, las fuerzas aéreas alemanas atacaban aquellas estaciones, pero Hitler, furioso por un pequeño bombardeo de Berlín por parte de la RAF, ordenó que los aviones alemanes concentrasen sus ataques sobre Londres. Desdeñaron las estaciones de radar (sin darse plena cuenta de su importancia) y se vieron incapaces de tomar a su enemigo por sorpresa. En consecuencia, Alemania perdió la batalla de Inglaterra y la guerra. Con todo el debido respeto a los aviadores británicos, fue el radar quien ganó la batalla de Inglaterra. (El radar norteamericano, por su parte, detectó la llegada de aviones japoneses el 7 de diciembre de 1941..., pero no le hicieron caso.)

En fin, las mismas técnicas que hicieron posible el radar podían ser empleadas por los astrónomos para recibir microondas de las estrellas y —¿por qué no?— para enviar densos rayos de microondas a la Luna y otros objetos astronómicos, y recibir su reflexión.

Si era necesario algo más para aumentar el apetito astronómico, ese algo se produjo en 1942, cuando todas las estaciones británicas de radar quedaron inutilizadas. Al principio, se sospechó que los alemanes habían descubierto una manera de neutralizar el radar, pero no se trataba de esto.

¡Era el Sol! Una gigantesca llamarada había lanzado ondas de radio en dirección a la Tierra, y había inundado los receptores de radar. Bien, el Sol podía enviar un alud semejante de ondas de radio, y ahora existía una tecnología para estudiarlas; a los astrónomos les costó mucho esperar a que terminase la guerra.

Una vez acabada ésta, los acontecimientos se precipitaron. La radioastronomía floreció, los radiotelescopios se hicieron más precisos y se realizaron nuevos descubrimientos realmente asombrosos. Nuestro conocimiento del Universo se desarrolló de una manera que sólo tenía parangón con las décadas que siguieron al invento del telescopio.

Pero esto escapa a los límites de lo que estamos estudiando aquí. En el capítulo siguiente consideraremos el otro extremo del espectro: la porción de más allá del ultravioleta, y así, en cuatro capítulos, quedará completada nuestra investigación de la radiación electromagnética.

IV
«X» REPRESENTA LO DESCONOCIDO

Cuando uno se acerca a la mitad de la vida —como vengo yo haciendo desde hace décadas—, se ve en la necesidad de hacer periódicas visitas a un estomatólogo. Éste es el tipo (por si no lo sabéis) que os dice que vuestros dientes están en perfecto estado y son fuertes como el acero, pero que, si no os cuidáis las encías, se os caerán todos dentro de poco.

Entonces le hace algo a las encías, pero lo peor viene cuando se acerca con el anestésico...

Mi estomatólogo tiene una abuela que —según dice— le llama *Deditos de oro*. Pero yo prefiero llamarle, afectuosamente, *el Carnicero*.

En una reciente visita, le indiqué severamente a mi estomatólogo:

—La última vez me dijo que viese a mi dentista porque creía que alguno de mis empastes se estaba deteriorando, y así lo hice; y él me encadenó inmediatamente al sillón, le puso fundas a dos dientes y me cobró mil dólares. Que Dios se lo haga pagar a usted.

—Ya lo ha hecho —repuso tranquilamente el villano—. ¡Usted ha vuelto!

Pues sí, *he* vuelto, y con el cuarto capítulo de la historia del espectro electromagnético.

En el capítulo anterior hablé de las ondas de radio, esa región de ondas electromagnéticas largas y de baja frecuencia, más allá del infrarrojo. Fueron descubiertas por Hertz en 1888 y, con tal descubrimiento, se demostró plenamente la validez y la utilidad de las ecuaciones de Maxwell.

Según las mismas ecuaciones, si había ondas electromagnéticas más allá e incluso mucho más allá del infrarrojo, tenía que haber igualmente ondas electromagnéticas más allá e incluso mucho más allá del ultravioleta.

Sin embargo, nadie las buscaba.

Lo que despertó el interés de muchos físicos en los años de 1890 fueron los «rayos catódicos». Eran un tipo de radiación que fluía a través de un cilindro vacío desde un electrodo negativo («cátodo»), sellado en su interior, en cuanto se cerraba un circuito eléctrico.

El estudio alcanzó su punto culminante en 1897, cuando un físico inglés, Joseph John Thomson (1856-1940), demostró de modo concluyente que los rayos catódicos no estaban formados por ondas, sino por un chorro de partículas a gran velocidad[1]. Más aún (mucho más), aquellas partículas tenían una masa incluso mucho menor que los átomos menos masivos. La masa de la partícula de rayo catódico era solamente de 1/1837 de la del átomo de hidrógeno, y Thomson la llamó «electrón». Ello le valió el Premio Nobel de Física en 1906.

El electrón fue la primera partícula subatómica descubierta, y constituyó uno de los descubrimientos de la última década del Siglo XIX que revolucionaron completamente la Física.

Sin embargo, no fue el primero de aquellos descubrimientos. El primero en iniciar la nueva Era fue un físico alemán, Wilhelm Conrad Roentgen (1845-1923). En 1895, a los cincuenta años, era jefe del Departamento de Física de la Universidad de Wurzburgo, en Baviera. Había realizado un trabajo importante y publicado cuarenta y ocho estudios bien fundados, pero estaba muy lejos de la inmortalidad y, sin duda, no habría pasado de ser un científico de segunda fila, de no haber sido por los descubrimientos del 5 de noviembre de 1895.

Estaba trabajando sobre los rayos catódicos, y se sentía particularmente interesado por la manera en que dichos rayos hacían que ciertos compuestos brillasen o fulgurasen al ser tocados por ellos. Uno de los compuestos que fulguraba fue el platinocianuro de bario, por lo que Roentgen hizo revestir hojas de papel con, aquel compuesto en su laboratorio.

La luminiscencia resultó muy débil y con el fin de observarla lo mejor posible, Roentgen oscureció la habitación y encerró el aparato experimental entre láminas de cartón negro. De este modo podía observar dentro de un espacio cerrado completamente a oscuras, y cuando introdujese la corriente eléctrica, los rayos catódicos pasarían a lo largo del tubo, penetrarían la fina pared del fondo, incidirían en el papel revestido y provocarían una luminiscencia que él podría ver y estudiar.

Aquel 5 de noviembre, al conectar la corriente, vio, por el rabillo del ojo, un débil resplandor que *no* estaba dentro del aparato. Levantó la cabeza, y allí, bastante lejos del aparato, una de las hojas revestidas con platinocianuro de bario fulguraba vivamente.

Cerró la corriente, y el papel revestido se oscureció. La abrió de nuevo y el papel volvió a fulgurar.

Llevó el papel a la habitación contigua y cerró los postigos para oscurecerla también. Volvió a la habitación donde estaba el tubo de rayos catódicos y conectó la corriente eléctrica. Pasó a la habitación contigua y cerró la puerta a su espalda. El papel revestido resplandecía a pesar de estar separado, por una pared y una puerta, del tubo de rayos catódicos. Resplandecía sólo cuando el aparato de la habitación contigua estaba funcionando.

[1] En realidad, cada partícula tiene una cierta apariencia de onda, *y* cada onda la tiene de partícula, y, como en tantas dualidades de la Naturaleza, no se puede tener una cosa sin la otra. Pero esto no se comprendía en 1927.

Roentgen creyó que el tubo de rayos catódicos producía una radiación penetrante que nadie había descubierto hasta entonces.

Roentgen pasó siete semanas estudiando la fuerza penetrante de aquella radiación: lo que podía penetrar; qué material y de qué grosor era capaz de detenerla, etcétera. (Más tarde, cuando le preguntaron qué había pensado al hacer su descubrimiento, respondió rápidamente: «No pensé; experimenté.»)

Aquel período debió de ser una ordalía para su esposa. Él llegaba tarde a comer y de un humor de perros; no hablaba, engullía rápidamente la comida y corría de nuevo hacia su laboratorio.

El 28 de diciembre de 1895, publicó, al fin, su primer informe sobre el tema. Sabía lo que producía aquella radiación, pero no lo que *era*. Recordando que en Matemáticas suele emplearse la x para designar una cantidad desconocida, llamó «rayos X» a la radiación.

Al principio se le dio también el nombre alternativo de «rayos Roentgen» en honor de su descubridor, pero la «oe» teutónica es una vocal que los alemanes pueden pronunciar con facilidad, aunque puede hacer que cualquier otra persona que trate de pronunciarla se rompa los dientes. En consecuencia, la radiación sigue llamándose hoy X, aunque su naturaleza haya dejado de ser un misterio.

Inmediatamente se comprendió que los rayos X podían servir como instrumento médico. Sólo cuatro días después de llegar a Norteamérica la noticia del descubrimiento de Roentgen, los rayos X fueron empleados para localizar una bala en la pierna de una persona. (Se tardó unos cuantos y trágicos años en descubrir que los rayos X eran también peligrosos y podían producir cáncer.)

En el mundo de la Ciencia, los rayos X llamaron en seguida la atención de la mayoría de los físicos, lo cual condujo a otra serie de descubrimientos, entre ellos —y no el menos importante— el de la radiactividad, en 1896. Un año después del descubrimiento de Roentgen se habían publicado mil artículos sobre los rayos X, y cuando se instituyeron, en 1901, los premios Nobel, Roentgen fue galardonado con el primer Premio Nobel de Física.

Los rayos X causaron también impacto en el público en general. Miembros timoratos de la legislatura de Nueva Jersey trataron de aprobar una ley prohibiendo el uso de los rayos X en los gemelos de ópera, para proteger la modestia de las doncellas, demostrando con ello la capacidad científica de los legisladores elegidos.

El rey de Baviera ofreció un titulo a Roentgen, pero el físico lo rehusó, sabiendo muy bien dónde residía el verdadero honor de la Ciencia. También rehusó patentar cualquier aspecto de la producción de rayos X o ganar dinero con ellos. Pensaba que no tenía derecho a hacerlo. Su recompensa fue que murió, sin un céntimo, en 1923, arruinado por la enorme inflación de posguerra en Alemania.

¿Qué eran exactamente los rayos X? Algunos pensaron que consistían en chorros de partículas, como los rayos catódicos. Otros, incluido el propio Roentgen, los suponían compuestos de ondas, pero ondas longitudinales, como las del sonido, y no electromagnéticas. Y otros los creían ondas electromagnéticas, más cortas que las ultravioletas.

Si los rayos X eran de naturaleza electromagnética (la alternativa que crecía en popularidad), debían mostrar algunas de las propiedades de las otras radiaciones electromagnéticas. Debían presentar fenómenos de interferencia.

Éstos podían demostrarse mediante retículas de difracción: una hoja de materia transparente en la que se han marcado líneas opacas a intervalos regulares. La radiación, al pasar a través de una de tales retículas, produciría imágenes de interferencia.

La dificultad estribaba en que, cuanto más pequeña fuese la longitud de onda de la radiación, menos espaciadas tenían que estar las líneas opacas para producir algún resultado, y si los rayos X se componían de ondas mucho más cortas que las ultravioleta, no existía técnica conocida capaz de hacer una retícula lo bastante estrecha

Entonces, un físico alemán, Max Theodor Felix von Laue (1879-1960), tuvo una de esas sencillas ideas que resultan de un brillo cegador. ¿Por qué preocuparse en intentar hacer una retícula de finura imposible, cuando la Naturaleza ya se ha encargado de ello?

En los cristales, los diversos átomos componentes de las sustancias están colocados con absoluta regularidad en hileras y filas. De hecho, esto es lo que hace que la sustancia sea un cristal, cosa que era conocida desde hacía un siglo. Las hileras de átomos corresponden a las rayas de la retícula de difracción, y el espacio entre ellos, al material transparente. Y se daba el caso de que la distancia entre los átomos era aproximadamente igual a la longitud de onda que los físicos calculaban que debían de tener los rayos X. Entonces, ¿por que no hacer pasar rayos X por cristales y ver lo que ocurría?

En 1912 se intentó el experimento bajo la dirección de Laue, y funcionó perfectamente. Los rayos X, al pasar a través de un cristal antes de incidir en una placa fotográfica, eran difractados y producían una imagen regular de manchas. Se comportaban exactamente como se esperaría que lo hiciesen ondas electromagnéticas de muy corta longitud de onda. Esto aclaró de una vez para siempre la naturaleza de los rayos X, y la «X» fue ya inadecuada (pero, de todos modos, se ha conservado hasta hoy).

En cuanto a Laue, se le otorgó el Premio Nobel de Física en 1914 por su trabajo.

Esto significaba algo más que la mera demostración de la difracción de los rayos X. Supongamos que se usase un cristal de estructura conocida, en el que la separación entre las hileras y filas de átomos pudiese determinarse con razonable precisión por algún método. En tal caso, partiendo de los detalles de la difracción, podría determinarse la exacta longitud de onda de los rayos X utilizados.

Y a la inversa, en cuanto se conociese la longitud de onda de un chorro de rayos X, se podría bombardear un cristal de detalles estructurales desconocidos y, partiendo de la naturaleza de la imagen de difracción, determinar la localización y el espacio entre los átomos que constituían el cristal.

El físico australiano-inglés William Laurence Bragg (1890-1971) estudiaba en Cambridge cuando leyó algo sobre la obra de Laue y pensó inmediatamente en sus implicaciones. Se puso en contacto con su padre, William Henry Bragg (1862-1942), profesor de la Universidad de Leeds e interesado también en los trabajos de Laue.

Juntos elaboraron el aspecto matemático de la cuestión y realizaron los experimentos necesarios, que funcionaron perfectamente. Los resultados se publicaron en 1915 y, al cabo de unos meses, padre e hijo compartieron el Premio Nobel de Física de aquel año. El joven Bragg tenía sólo veinticinco años cuando recibió el premio, y es el más joven de cuantos lo han recibido hasta ahora. Vivió para celebrar el cincuenta y cinco aniversario del premio, lo cual constituye también un hecho sin precedentes.

La longitud de onda de los rayos X se extiende desde los límites del ultravioleta, a 10 nanómetros (10^{-8} metros) hasta 10 picómetros (10^{-11} metros). En frecuencias, los rayos X van desde 3×10^{16} hasta 3×10^{19} ciclos por segundo, o sea, unas 10 octavas.

La distancia entre los planos de átomos en un cristal de sal es de $2{,}81 \times 10^{-10}$ m, y la anchura del átomo es aproximadamente de 10^{-10} m. Vemos, por consiguiente, que las longitudes de onda de los rayos X son casi iguales a la extensión atómica. No es de extrañar, pues, que la difracción del cristal dé resultado para los rayos X.

Como ya anteriormente he comentado en este ensayo, el descubrimiento de los rayos X condujo directamente al de la radiactividad, que se produjo un año después[2].

Radiactividad significa (como indica el nombre mismo del fenómeno) producción de radiación. Esta radiación resultó ser penetrante, como los rayos X. Entonces, ¿eran las radiaciones radiactivas idénticas, o al menos similares, a los rayos X?

En 1899, el físico francés Antoine Henri Becquerel (1852-1908), que había descubierto la radiactividad, advirtió que las radiaciones radiactivas podían ser desviadas por un campo magnético en la misma dirección en que lo eran los rayos catódicos.

Esto demostró inmediatamente que las radiaciones radiactivas no podían ser de naturaleza electromagnética, ya que las radiaciones electromagnéticas no respondían en absoluto a un campo magnético.

Casi inmediatamente después, e independientemente, el físico neozelandés, Ernest Rutherford (1871-1937) advirtió también la capacidad de un campo magnético para desviar radiaciones radiactivas. Sin embargo, sus observaciones fueron más detalladas. Observó la existencia de al menos dos clases diferentes de radiaciones radiactivas: una, que se desviaba de la manera observada por Becquerel, y otra, que era desviada en dirección opuesta.

Como los rayos catódicos constan de partículas cargadas negativamente, estaba claro que la radiación radiactiva que se desviaba en la misma dirección constaba también de partículas con carga negativa. La radiación radiactiva que se desviaba en la otra dirección debía consistir en partículas con carga positiva.

Rutherford llamó «rayos alfa» a la radiación con carga positiva, empleando la primera letra del alfabeto griego, y llamó a la otra «rayos beta», por la segunda letra de dicho alfabeto. Estos nombres se emplean todavía en la actualidad. Las veloces partículas que componen estos rayos son llamadas, respectivamente, «partículas alfa» y «partículas beta».

Durante 1900, Becquerel, Rutherford y los esposos Curie, Pierre (1859-1906) y Marie (1867-1934), trabajaron en radiaciones radiactivas. Y demostraron que los rayos beta eran unas 100

[2] Para mayor información, véase «The Useless Metal», en *The Sun Shines Bright*, Doubleday, 1981.

veces más penetrantes que los alfa. (Becquerel y los Curie compartieron el Premio Nobel de Física en 1903, y Rutherford fue galardonado... con el de Química, con gran disgusto suyo, en 1908.)

Los rayos beta de carga negativa eran desviados hasta tal punto, que tenían que estar compuestos de partículas muy ligeras, y también en esto se parecían mucho a las partículas de los rayos catódicos. Y, ciertamente, cuando Becquerel, en 1900, calculó la masa de las partículas beta por su velocidad, el grado de su desviación y la fuerza del campo magnético, quedó claro que las partículas beta no sólo se parecían mucho a las de los rayos catódicos, sino que eran idénticas a éstas. En una palabra, las partículas beta eran electrones, y los rayos beta estaban compuestos de chorros de electrones a gran velocidad.

Este descubrimiento puso de manifiesto que los electrones se encontraban no sólo en las corrientes eléctricas —que era lo que indicaba la investigación sobre los rayos catódicos—, sino también en átomos que, aparentemente, no tenían nada que ver con la electricidad. Ésta fue la primera indicación de que los átomos tenían una estructura complicada, e inmediatamente los físicos empezaron a intentar comprender cómo podían los átomos contener electrones cargados eléctricamente y permanecer, empero, eléctricamente neutros.

En cuanto a los rayos alfa, eran muy poco desviados por un campo magnético de una intensidad tal, que producía grandes desviaciones en los rayos beta. Esto significaba que los rayos alfa eran mucho más masivos que los electrones.

En 1903, Rutherford pudo demostrar que las partículas alfa eran tan masivas como los átomos, y en 1906 había refinado sus mediciones hasta el punto de que pudo demostrar que eran tan masivas como los átomos de helio. De hecho, en 1909 demostró que las partículas alfa se convertían en átomos de helio.

Y fue también Rutherford quien, en 1911, elaboró el concepto de átomo nuclear. Sostuvo que todo átomo se componía de electrones con carga negativa, que rodeaban a un pequeñísimo «núcleo» con carga positiva. Así se equilibraban las cargas de los electrones y se producía un átomo neutro. Más aún: el nuevo concepto dejó bien claro que las partículas alfa eran núcleos de helio.

Pero se daba el caso de que los rayos alfa y los beta no eran las únicas radiaciones producidas por la radiactividad.

Había un tercer tipo de radiación, descubierta en 1900 por el físico francés Paul Ultrich Villard (1860-1934). Observó que algunas de las radiaciones no eran desviadas *en absoluto* por el campo magnético. Esta radiación recibió inevitablemente el nombre de «rayos gamma», por la tercera letra del alfabeto griego.

La razón de que se tardase algún tiempo en advertir los rayos gamma fue la siguiente:

Las partículas alfa y las beta, ambas con carga eléctrica, atraían o repelían a los electrones de los átomos, dejando iones cargados positivamente. (Esto fue comprendido del todo sólo después de que se aceptase el átomo nuclear.) Los iones eran fáciles de detectar por las técnicas de la época (y por técnicas mejores desarrolladas en años ulteriores). Los rayos gamma, que no llevaban carga eléctrica, eran menos eficaces para formar iones y, en consecuencia, más difíciles de detectar.

Se plantea una cuestión: ¿Qué eran los rayos gamma?

Rutherford pensó que eran una radiación electromagnética de longitud de onda todavía más corta que la de los rayos X. (Esto parecía lógico, ya que los rayos gamma eran aún más penetrantes que los X.)

Sin embargo, el viejo Bragg sospechó que podían ser partículas de alta velocidad. En este caso, no debían de estar eléctricamente cargadas, ya que no eran afectadas por el campo magnético. Por aquel entonces, las únicas partículas sin carga conocidas eran los átomos intactos, y no eran muy penetrantes. Para explicar las cualidades penetrantes de un chorro de partículas había que presumir que eran de tamaño subatómico, y todas las partículas subatómicas conocidas hasta entonces (electrones y núcleos atómicos) estaban cargadas eléctricamente.

Hubiera resultado sumamente emocionante que Bragg hubiese estado en lo cierto, pues habría aparecido algo completamente distinto: partículas subatómicas neutras. La sugerencia de Rutherford implicaba lo mismo, aunque más exagerado, puesto que, según él, los rayos gamma sólo habrían sido «rayos ultra-X».

Por desgracia, no se puede obligar a la Ciencia a tomar un rumbo dramático sólo porque a uno le guste el drama. En 1914, después de que Laue demostrase que los cristales podían difractar los rayos X, Rutherford encontró un cristal que difractaba los rayos gamma, y esto resolvió la cuestión.

Los rayos gamma eran de naturaleza electromagnética, con longitudes de onda que se iniciaban en el límite más bajo de los rayos X (10^{-11} m) y descendían indefinidamente a longitudes aún más cortas.

Un rayo gamma típico tenía una longitud de onda más o menos igual a la anchura de un núcleo atómico.

Separar los rayos X de los gamma por una específica longitud de onda es algo puramente arbitrario. En cambio, podemos distinguirlos diciendo que los rayos X son lanzados por cambios en el nivel de energía de electrones internos y los gamma, por cambios en el nivel de energía de partículas en el interior del núcleo. Entonces, puede darse el caso de que alguna radiación particularmente energética producida por electrones sea de onda más corta que alguna radiación particularmente débil producida por los núcleos. En tal caso pueden superponerse los que llamamos rayos *X* y rayos *gamma*/.

Esto, sin embargo, es un problema creado estrictamente por el hombre. Dos radiaciones de idéntica longitud de onda, producida una de ellas por electrones y la otra por núcleos, son absolutamente idénticas. La longitud de onda es lo único que cuenta, y el punto de origen no tiene importancia, salvo en cuanto ayuda a los seres humanos a satisfacer su pasión por dividir las cosas.

¿No podemos ir más allá de los rayos gamma en la dirección de una longitud de onda cada vez más corta?

Durante un tiempo pareció haber un candidato a una forma de radiación electrónica más energética aún. Al menos, aparatos capaces de detectar la radiación penetrante hallaron *algo* incluso cuando estaban lo bastante protegidos como para que no les afectasen las radiaciones radiactivas. Por consiguiente, existía algo más penetrante que los rayos gamma.

Se presumió que esta radiación procedía del suelo. ¿De qué otro sitio podía venir?

En 1911, un físico austríaco, Victor Franz Hess (1883-1964), decidió confirmar lo evidente, situando un aparato de detección de radiaciones en un globo. Esperaba demostrar que, cuando se elevase lo bastante sobre el suelo, cesaría toda señal de radiación penetrante.

¡Pero no fue así! En vez de menguar, la radiación penetrante *aumentaba* en intensidad con la mayor elevación. Cuando alcanzó una altura de unos 10 km, la intensidad resultó ocho veces mayor que en el suelo. Por consiguiente, Hess los llamó (en alemán) «rayos de gran altura», y sugirió que procedían del espacio exterior. Por este descubrimiento recibió el Premio Nobel de Física en 1936.

Inmediatamente, otros empezaron a investigar los rayos de gran altura, y pareció que no había manera de asociarlos con ningún cuerpo celeste específico. Parecían proceder del cosmos en general, y por esto, en 1925, el físico norteamericano Robert Andrews Millikan (1868-1935)[3] propuso que fuesen llamados «rayos cósmicos». Fue una sugerencia afortunada.

Millikan pensó que los rayos cósmicos eran de naturaleza electromagnética, todavía más cortos y más energéticos que los rayos gamma. Creía también que los rayos cósmicos tenían su origen en las afueras del Universo, donde se estaba creando materia. Consideró los rayos cósmicos como el «llanto de nacimiento» de la materia y dijo: «El Creador continúa aún su obra.» (Millikan, hijo de un ministro congregacionalista, era un hombre sinceramente religioso, como lo eran y lo son muchos científicos.)

No todos estuvieron de acuerdo con Millikan. Algunos dijeron que los rayos cósmicos estaban compuestos de torrentes de partículas sumamente energéticas, y por ende, casi con toda seguridad cargadas eléctricamente, ya que en los años veinte no se habían descubierto partículas sin carga eléctrica.

Las partículas habían triunfado sobre la radiación en el caso de los rayos catódicos; en el caso de los rayos X y los rayos gamma había sido al revés. ¿Qué sucedía con los rayos cósmicos?

La decisión no sería fácil. Si los rayos cósmicos eran radiaciones electromagnéticas, su onda sería *tan* corta que ni siquiera los cristales podrían producir efectos de difracción. Y si eran torrentes de partículas cargadas eléctricamente, serían *tan* energéticos que apenas experimentarían alguna desviación por cualquier campo magnético confeccionado por el hombre. Por consiguiente, todos los resultados experimentales tendrían probablemente una validez tan marginal que no resolverían la cuestión.

Sin embargo, algunos físicos pensaron que los rayos cósmicos, al llegar a la Tierra, tenían que pasar a través del campo magnético terrestre. El campo magnético de la Tierra no era muy fuerte, pero abarcaba miles y miles de kilómetros, e incluso una desviación muy pequeña debería aumentar y hacerse visible.

Si los rayos cósmicos venían igualmente de todas las partes del cielo y estaban compuestos por partículas cargadas, el campo magnético de la Tierra hubiese tenido que desviarlos del ecuador magnético (la región equidistante de los polos magnéticos) y hacia estos polos. Es el llamado

[3] Había recibido el Premio Nobel de Física en 1923 por sus trabajos de medición de la carga eléctrica del electrón.

«efecto de latitud», ya que, en general, el efecto del campo magnético de la Tierra sería desviar la incidencia de los rayos cósmicos desde las latitudes más bajas a las más altas.

Al principio no fueron muy convincentes los intentos por demostrar el efecto de latitud. Entonces, alrededor de 1930, el físico norteamericano Arthur Holly Compton (1892-1962)[4] decidió echar toda la carne en el asador. Viajó por todo el mundo en un período de años, trasladándose de un lugar a otro y midiendo la intensidad de los rayos cósmicos dondequiera que fuese.

Con esto, Compton pudo demostrar de manera concluyente que el efecto de latitud *existía* y que, por consiguiente, los rayos cósmicos *estaban* compuestos por partículas con carga eléctrica.

Millikan se aferró obstinadamente a la versión electromagnética de los rayos cósmicos, a pesar de todas las pruebas en contra; pero el grupo de sus seguidores se fue reduciendo cada vez más. Estaba equivocado. Actualmente, nadie duda ya de que los rayos cósmicos se componen de partículas; se sabe que están formados por partículas con carga eléctrica positiva, y en particular de núcleos atómicos, principalmente de hidrógeno, pero incluyendo otros al menos tan pesados como los de hierro.

Así, el espectro electromagnético termina con los rayos gamma en el extremo de la onda corta, y con ondas de radio en el extremo de la onda larga. En el próximo capítulo podremos, pues, pasar a otros temas.

QUIMICA
V
EL HERMANO MAYOR

Me hallaba el otro día enzarzado en una charla casual con un joven, y en el transcurso de dicha conversación observó que iba a ser construida la nave sur de la catedral de St. John the Divine. (Supongo que todos sabéis que una nave es el espacio largo y estrecho dentro del cuerpo principal de una iglesia.)

En cuanto el joven hubo pronunciado la palabra «nave», se me ocurrió pensar que si el arquitecto se llamaba Hartz y dos damas de la noche conseguían introducirse en la iglesia, reclamando el derecho de asilo, antes de ser alcanzadas por un guardia empeñado en detenerlas, podría declarar, con toda la razón:

La nave de Hartz
robó a esas rameras,

parodiando la conocida canción de cuna referente a la «sota de corazones»[5]

Como soy muy aficionado a los juegos de palabras, y aquél me parecía muy acertado, pensé que debía explicárselo al joven con quien estaba conversando.

Por consiguiente, dije:

---

[4] Había recibido el Premio Nobel de Física, compartido en 1927, por sus trabajos sobre los rayos X.

[5] Para comprender el juego de palabras, intraducibles, téngase en cuenta que «nave of Hartz» (nave de Hartz) se pronuncia casi igual que «knave of hearts» (sota de corazones). *(N. del T.)*

— Si se diese el caso de que la nave sur fuese construida por un arquitecto apellidado Hartz...

— Sí, David Hartz —afirmó el joven.

— ¿David Hartz? —inquirí, desconcertado.

— Sí. ¿No se refería a él? David Hartz, de Yale, si no me equivoco. ¿Le conoce?

— ¿Habla usted en serio? ¿Se llama realmente Hartz el arquitecto?

— *¡Sí!* Fue usted quien pronunció su nombre.

¿Qué podía hacer yo? Me enfrentaba con otra coincidencia, que había estropeado mi juego de palabras, ya que habría parecido burdo en comparación con lo que había pretendido. No me molesté en dar explicaciones.

Sin embargo, si el joven está en lo cierto en lo concerniente al nombre del arquitecto, confío en que la estructura será conocida como «la nave de Hartz» por toda la eternidad, y con gusto pagaré a dos jovencitas de la profesión adecuada para que se refugien allí y hagan verdadero mi juego de palabras.

Pero las coincidencias no ocurren solamente en la vida cotidiana, sino también en la Ciencia, y con esto doy por terminado el cuento.

Cuando los químicos estudiaban los elementos, durante el siglo XIX, descubrieron cierto número de interesantes similitudes entre varios de éstos. Si no existiese ningún orden entre los elementos, estas similitudes no supondrían más que coincidencias inexplicadas (y quizás inexplicables), y serían tan incómodas para los científicos como lo son las pulgas para los perros.

Los químicos trataron de encontrar un orden y, al hacerlo, consiguieron establecer la tabla periódica de los elementos (véase «Bridging the Gaps, en *The Starts in Their Courses*, Doubleday, 1971).

De todos los elementos de la lista, el carbono debería ser el más apreciado por nosotros, ya que gracias a sus raras (y tal vez únicas) propiedades, es posible la vida sobre la Tierra.

En realidad, podríamos incluso sostener, si nos halláramos de un humor conservador, que el carbono es la única base concebible de vida en *cualquier parte* del Universo. (Véase «The One and Only», en *The Tragedy of the Moon*, Doubleday, 1973)[6].

Sin embargo, ¿cómo puede ser único el carbono? Según la tabla periódica, el carbono no está solo, sino que es el cabeza de la «familia del carbono», constituida por elementos químicamente similares. La familia del carbono se compone de cinco elementos estables: el carbono propiamente dicho, el silicio, el germanio, el estaño y el plomo.

[6] Son posibles opiniones más radicales, como las sostenidas en *Life Beyond Earth*, de Gerald Feinberg y Robert Shapiro (Morrow, 1980), que os recomiendo de todo corazón.

Dentro de una familia, las similitudes químicas son más fuertes entre elementos adyacentes. Esto significa que el elemento más similar al carbono en propiedades químicas es el silicio, que le sigue en la línea y sobre el que versará este ensayo.

El carbono tiene un número atómico de 6, y el silicio, de 14. (En comparación con éstos, los números atómicos del germanio, del estaño y del plomo son 32, 50 y 82, respectivamente.)

El peso atómico del silicio es 28, y el del carbono, 12. Por consiguiente, el átomo de silicio tiene una masa 2 1/3 veces mayor que el átomo de carbono. Por decirlo así, el silicio es el hermano mayor del carbono.

El número atómico nos dice el número de electrones que giran alrededor del núcleo de un átomo intacto. El carbono tiene seis electrones, divididos en dos capas: dos electrones en la capa interior y cuatro en la exterior. Por su parte, el silicio tiene catorce electrones, divididos en tres capas: dos en la interior, ocho en la intermedia y cuatro en la exterior. Como podéis ver, el carbono y el silicio tienen ambos cuatro electrones en la capa más alejada del núcleo. Podemos describir el carbono como (2/4) y el silicio como (2/8/4), en términos del contenido en electrones de sus átomos.

Cuando un átomo de carbono choca con otro átomo de cualquier clase, son los cuatro electrones de la capa exterior de aquél los que actúan, de alguna manera, sobre los electrones del otro átomo. Esta interacción produce lo que llamamos un cambio químico. Cuando es un átomo de silicio el que choca, actúan también sus cuatro electrones exteriores.

Todos los electrones son idénticos según las mediciones más exactas que pueden realizar los científicos. Por tal razón, los cuatro electrones exteriores del carbono y del silicio se comportan de manera similar y, por consiguiente, las propiedades químicas de los dos elementos son también similares.

Pero en tal caso, si el carbono, con cuatro electrones en la parte externa de sus átomos, tiene las propiedades químicas que le permiten servir de base a la vida, ¿no debería servir igualmente el silicio como tal?

Para contestar a esta pregunta debemos empezar por el principio.

El silicio es un elemento sumamente común. Después del oxígeno, es el componente más abundante de la corteza de la Tierra. Los átomos de oxígeno constituyen aproximadamente el 46,6 % de la masa total de la corteza terrestre, y los de silicio, el 27,7 %. (Los otros ochenta elementos presentes en la corteza terrestre constituyen, sumados, el 25,7 % restante.) Dicho en otras palabras: sin contar el oxígeno, hay más silicio en la corteza de la Tierra que todos los demás elementos juntos.

De todas maneras, no esperéis tropezar con un pedazo de silicio la próxima vez que salgáis de casa. Es imposible. El silicio no se encuentra en la Tierra en su forma elemental; es decir, no encontraréis un pedazo de materia compuesto sólo de átomos de silicio. Todos los átomos de silicio que existen en la corteza terrestre están combinados con otras clases de átomos, principalmente de oxígeno, y existen, por tanto, como «compuestos».

Del mismo modo, no se puede tomar un trozo de corteza terrestre y exprimirlo para extraer oxígeno puro, ya que los átomos de oxígeno presentes están combinados con otras clases de

átomos, principalmente de silicio. Hay una cantidad considerable de oxígeno elemental en la atmósfera de la Tierra, pero, naturalmente, no existe silicio libre a nuestro alcance.

Veamos ahora algunas diferencias entre el silicio y el carbono. En primer lugar, el carbono no es tan común como el silicio en la corteza terrestre. Por cada 370 átomos de silicio, hay un solo átomo de carbono. Esto, sin embargo, permite advertir que el carbono es relativamente abundante.)

Se trata de algo peculiar, ya que, en el conjunto del Universo, los átomos más pequeños son más comunes que los más grandes (con algunas excepciones, por razones comprensibles), y los átomos de carbono son claramente más pequeños que los de silicio. Según cálculos de los astrónomos, en el Universo hay siete átomos de carbono por cada dos de silicio.

Entonces, ¿por qué la corteza terrestre es relativamente pobre en carbono? De momento, no me referiré a esto, pero os prometo volver más adelante sobre esta cuestión.

El carbono, como el silicio, se encuentra en general en combinación con otros átomos, principalmente de oxígeno, pero *a diferencia* del silicio, se encuentran cantidades apreciables de carbono en forma elemental, como pedazos de materia compuestos casi enteramente por átomos de carbono. El carbón, por ejemplo, contiene de un 85 a un 95% de átomos de carbono.

Pero el carbón tiene su origen en materiales vegetales en descomposición. Es producto de la vida. Si el carbono no tuviese propiedades que le permitiesen servir de base para la vida, no se encontraría en estado libre en la corteza de la Tierra.

Contrariamente, podríamos argüir que si el silicio se pareciese lo bastante al carbono para servir de base a otra variedad de vida, también él se presentaría probablemente en estado libre cuando tal vida se descompusiera. En consecuencia, si averiguamos por qué no serviría el silicio como base de vida, sabremos también por qué no se presenta, como el carbono, en forma elemental.

(En realidad, la única razón de que el oxígeno se encuentre libre en la atmósfera es la actividad de la vida vegetal, que libera oxigeno como efecto secundario de la fotosíntesis. Si no existiese vida en la Tierra, los únicos elementos que se presentarían libres serían aquellos que fuesen, químicamente, particularmente inertes. La mayor parte de éstos, como el helio y el platino, son muy raros. El elemento inerte menos raro es el nitrógeno, y, como resultado de ello, hay cantidades apreciables de nitrógeno libre, no sólo en la atmósfera de la Tierra, planeta rico en vida, sino también en la atmósfera de Venus, ¡planeta totalmente desierto!)

Aunque la Naturaleza no ha tenido la gentileza de ofrecernos silicio en forma elemental, los químicos aprendieron a obtenerlo por su cuenta. Dos químicos franceses, Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) y Louis Jacques Thénard (1777-1857), consiguieron, en 1809, descomponer un compuesto que contenía silicio y obtener un material de color castaño rojizo. No prosiguieron su examen. Probablemente, aquel material era una masa de silicio elemental, aunque conteniendo muchas impurezas.

En 1824, el químico sueco Jons Jakob Berzelius (1779-1848) obtuvo una masa similar de silicio por un medio químico algo distinto. Pero, a diferencia de Gay-Lussac y Thénard, Berzelius se dio cuenta de lo que tenia, y se esforzó en librarlo de impurezas.

Berzelius fue el primero en obtener silicio razonablemente puro, estudiar lo que había obtenido e informar sobre sus propiedades. Por esta razón, actualmente se le atribuye el mérito de haber descubierto el silicio.

El silicio de Berzelius era «amorfo»; es decir, los átomos individuales de silicio estaban dispuestos de manera irregular, por lo cual no se formaban cristales visibles. (La palabra «amorfo» viene del griego y significa «sin forma», mientras que los cristales se distinguen por su forma geométrica regular.)

En 1854, el químico francés Henri Etienne Sainte-Claire Deville (1818-1881) consiguió, por vez primera, cristales de silicio. Brillaban con un resplandor metálico, lo cual podía hacer creer que el silicio era diferente del carbono en otro importante nivel, el de que el silicio es un metal y el carbono no lo es.

Sin embargo, no es así. Aunque el silicio posee algunas propiedades similares a los de los metales en general, tiene otras que no lo son, y, por consiguiente, es un «semimetal». El carbono, en forma de grafito, también tiene algunas propiedades metálicas (por ejemplo, conduce bastante bien la electricidad). En consecuencia, los dos elementos no son muy diferentes a tal respecto.

Desde luego, los átomos de carbono no están obligados a ordenarse de manera que produzcan grafito. Pueden también hacerlo de una manera más compacta y simétrica para producir el diamante, que no muestra ninguna propiedad metálica (véase «The Unlikely Twins», en *The Tragedy of the Moon*, Doubleday, 1973).

El diamante es particularmente notable por su dureza, y, en 1891, el inventor norteamericano Edward Goodrich Acheson (1858-1931) descubrió que el carbono, al ser calentado con arcilla, produce otra sustancia muy dura. Acheson pensó que esta sustancia era carbono combinado con alundum (un compuesto de átomos de aluminio y de oxígeno, que se encuentran, ambos, en la arcilla).

Por consiguiente, llamó *carborundum* a la nueva sustancia dura.

En realidad, el carborundo resultó ser un compuesto de carbono y silicio (átomos de silicio se encuentran también en la arcilla). El compuesto consistía en átomos de silicio y de carbono en cantidades iguales («carbono de silicio», cuya fórmula química es SiC). Esta mezcla de átomos tomaba la forma compacta y simétrica que se observa en el diamante.

En el carborundo, los átomos de carbono y de silicio están colocados alternativamente dentro de la estructura cristalina. El hecho de que se puedan sustituir átomos de silicio por otros tantos de carbono, y que la sustancia siga siendo dura, demuestra lo similares que son ambos elementos. (Pero no todas las propiedades se conservan. El carborundo no tiene ni la transparencia ni la belleza del diamante.)

Ahora bien, el carborundo no es tan duro como el diamante. ¿Por qué?

Los átomos de silicio y de carbono son químicamente similares, debido al hecho de que ambos tienen cuatro electrones en la capa exterior, pero no son idénticos. El átomo de silicio tiene tres capas de electrones, mientras que el de carbono sólo tiene dos. Esto significa que la distancia desde la capa exterior del átomo de silicio hasta su núcleo es mayor que en el caso del átomo de carbono.

Los electrones llevan una carga negativa, y son mantenidos en su sitio por la atracción de la carga positiva sobre el núcleo del átomo. Esta fuerza de atracción disminuye con la distancia y es, por consiguiente, más débil en el átomo de silicio que en el átomo más pequeño de carbono.

Además, entre los electrones exteriores y el núcleo del átomo de silicio están los diez electrones de las dos capas interiores, mientras que, en el caso del carbono, sólo intervienen los dos electrones de la capa interior. Cada electrón interior con carga negativa, existente entre la capa exterior y el núcleo, tiende a neutralizar, de algún modo, la carga positiva de éste, y debilita la atracción del núcleo sobre los electrones exteriores.

Cuando dos átomos de carbono se juntan, es debido a la fuerza de atracción generada por la asociación de dos electrones (uno de cada átomo). Cuanto más firmemente sean sujetados estos dos electrones por los respectivos núcleos de los dos átomos, más fuerte será el lazo entre ellos.

Por consiguiente, el lazo carbono-carbono es más fuerte que el lazo silicio-silicio, y el lazo silicio-carbono debería tener una fuerza intermedia.

Una manera de demostrar esto es buscando el punto de fusión. Al elevarse la temperatura, los átomos vibran cada vez con más fuerza hasta que, por fin, se rompen, los lazos que les unían y aquéllos se deslizan libremente uno sobre otro. El Silicio se ha convertido en líquido. Por consiguiente, cuanto más fuertes sean los lazos, más alto debe ser el punto de fusión.

En realidad, el carbono no se funde, sino que se «sublima»; es decir, se convierte directamente de sólido en vapor, pero también a esto lo llamaremos punto de fusión. El punto de fusión del carbono es de más de 3.500° C, mientras que el del silicio es de sólo 1.410 °C. El carburundo (que, como el carbono, se sublima) tiene un punto de fusión intermedio de 2.700 °C.

Una vez más, se puede juzgar la fuerza del lazo por la dureza de la sustancia. Cuanto más fuerte es el lazo entre los átomos, más resiste la sustancia a la deformación, y más fácilmente se produce ésta (por ejemplo, en forma de rascadura) en otras sustancias más blandas.

El diamante es la sustancia más dura que se conoce. El carborundo no lo es tanto, pero sí más que el silicio.

Pero aunque el carborundo no es tan duro como el diamante, es más utilizado que éste como «abrasivo» (es decir, algo lo bastante duro como para desgastar, por fricción, objetos más blandos, sin ser a su vez sensiblemente afectado). ¿Por qué?

La respuesta es una cuestión de precio. Todos sabemos lo escasos y caros que son los diamantes, incluso los impuros o de baja calidad. En cambio, el carborundo puede hacerse con carbono ordinario y arcilla, dos cosas tan baratas como se pueda razonablemente esperar.

Dije anteriormente que, en la Naturaleza, los átomos de silicio suelen encontrarse casi siempre en combinación con átomos de oxigeno. El átomo de oxígeno está siempre dispuesto a aceptar dos electrones de otro átomo, combinando cada electrón que acepta con uno de los propios. Entonces se forman dos pares de electrones entre los dos átomos; esto se denomina «doble enlace», que podemos representar de la manera siguiente: «Si O». Pero el átomo de silicio tiene cuatro electrones exteriores, y es perfectamente capaz de donar dos electrones a cada uno de los dos átomos de oxigeno.

El resultado es O=Si=O, que puede también representarse, más sencillamente, como SiO_2, y al que podemos llamar «dióxido de silicio». Es una antigua costumbre, nacida en los tiempos en que los químicos no sabían exactamente cuántos átomos de cada elemento estaban presentes en una combinación (o si eran en realidad átomos), hacer que el nombre de un compuesto de un elemento con oxígeno termine con una «e». En consecuencia, el dióxido de silicio es también llamado «sílice».

En realidad, sílice fue el nombre que se empleó primero, y la terminación «e» indicaba que se sospechaba que era una combinación de oxígeno con un elemento que aún no habla sido aislado. Una vez se obtuvo el otro elemento, fue llamado *silicon* (en inglés), siendo la terminación «n» convencional para un elemento no metálico, como *boron* (boro), *hydrogen* (hidrógeno) y *chlorine* (cloro).

La forma más pura de sílice, cuando sólo contiene átomos de silicio y de oxígeno, es más conocida por el nombre de <cuarzo», palabra de origen desconocido.

Lo más asombroso del cuarzo, siempre que sea lo bastante puro, es que es transparente. Hay muy pocos sólidos naturales que permitan que la luz pase a través de ellos casi sin absorción, y el cuarzo es uno de ellos.

La primera de aquellas sustancias que descubrió el hombre primitivo fue el hielo, que, si se forma lentamente y en una capa bastante fina, es transparente. Cuando los hombres, que habían descubierto el hielo, descubrieron más tarde el cuarzo, sólo acertaron a pensar que habían encontrado otra variedad de hielo, formada de un modo tan rígido y bajo condiciones de un frío tan intenso que ya no podía fundirse.

Por consiguiente, los griegos llamaron *khystallos* al cuarzo, palabra que significaba «hielo». Dicha palabra se convirtió en *crystallum*, en latín, y en *crystal* en inglés. El prefijo *cry* (en español *crío)* se emplea todavía para significar «muy frío», como en «criogénico» (relativo a la producción de frío), «criónica» (preservación de tejidos vivos a temperaturas muy bajas), «criómetro» (termómetro para registrar temperaturas muy bajas), etcétera.

Sin embargo, la palabra «cristal», como equivalente de «hielo», está ahora anticuada. Se emplea más a menudo para significar un objeto transparente, aunque no está hecho de cuarzo. Por ejemplo, aún decimos que las adivinas observan su «bola de cristal», que, desde luego, es de vidrio vulgar.

De la misma manera, cuando los griegos dijeron que cada planeta era parte de una esfera y giraba con ésta, las esferas eran llamadas «cristalinas» debido a su transparencia. (Eran *totalmente* transparentes, ya que no existían.)

El cuarzo era generalmente encontrado en formas rectilíneas, planas y de ángulos agudos, y la palabra «cristal» vino a significar esto. Los sólidos que se presentaron libremente en aquellas formas fueron llamados «cristales», tanto si eran de cuarzo como si no.

El cuarzo no es necesariamente transparente, porque no es necesariamente los bastante puro. Si la impureza no es muy grande, el cuarzo puede conservarse transparente pero adquirir un color. El mejor y más hermoso ejemplo de esto es la «amatista» púrpura.

(Los antiguos griegos, al observar el color de vino de la amatista, pensaron, por razones de magia, que debía de contrarrestar los efectos del vino. Estaban seguros de que, si se bebía en

una copa de amatista, el vino sabía muy bien, pero no emborrachaba. En realidad, la palabra «amatista» procede del griego y significa «no embriaguez». Pero no os molestéis en probarlo; no os daría resultado.)

Con mayores cantidades de impurezas obtendréis sílice, que está químicamente combinado con metales como el hierro, el aluminio, el calcio, el potasio, etcétera, o con mezclas de varios de éstos. Tales compuestos se denominan «silicatos» y son, en su mayor parte, sustancias mates y opacas. Entre los silicatos figuran el granito, el basalto, la arcilla y otros. Ciertamente, la corteza rocosa de la Tierra, junto con el manto inferior, está compuesta, en gran parte, de silicatos.

El pedernal es un silicato común, y resultó muy importante para el hombre primitivo, ya que podía ser descantillado o afilado en bordes y puntas agudos, y era por ello el mejor material para confeccionar útiles tales como cuchillos, hachas y puntas de lanzas y flechas, en una sociedad que desconocía los metales. La palabra inglesa *flint* (pedernal) procede de un antiguo término germánico que significaba «esquirla de piedra», que era lo que se obtenía cuando se trabajaba el pedernal. A veces, el trozo de piedra constituía por sí solo el útil.

La palabra latina para designar el «pedernal» es *sílex*, y cuando se quería expresar que algo estaba hecho «de pedernal», se empleaba el genitivo *silicis*. Por consiguiente, el pedernal fue el origen de la palabra «sílice», que designa el dióxido de silicio, y del término «silicio», que designa el elemento.

Pedacitos de cuarzo, desmenuzados generalmente por la acción de las olas sobre una costa, forman la «arena». El color de la arena depende de la pureza del cuarzo, y si éste no es puro, de la naturaleza de las impurezas. El cuarzo puro producirá una arena bastante blanca; el color generalmente arenoso de la arena (¿cómo podía ser de otra manera?) se debe a su contenido en hierro.

El átomo de oxígeno es más pequeño que el de silicio, pero más grande que el de carbono. Por consiguiente, el dióxido de silicio debería de tener un punto de fusión más alto que el silicio propiamente dicho, pero más bajo que el carborundo.

Y, efectivamente, es así. El dióxido de silicio tiene un punto de fusión de, aproximadamente, 1.700° C, que es más alto que el del silicio y más bajo que el del carborundo.

Si se añaden a la arena sustancias adecuadas que contengan átomos de sodio y de calcio y se calienta la mezcla, ésta se funde y se convierte en «vidrio», que es, esencialmente, un silicato de sodio y calcio. Sin embargo, pueden añadirse otras sustancias para conseguir ciertas cualidades, como color, dureza, resistencia a los cambios de temperatura o límpida transparencia.

En general, el vidrio es tan transparente a la luz visible como el cuarzo, pero mucho más útil en la práctica.

En primer lugar, el vidrio puede hacerse con arena, que es mucho más abundante que los cristales intactos de cuarzo y, por consiguiente, mucho más barata. En segunda lugar, el vidrio se funde a una temperatura más baja que el cuarzo, y, por tanto, es más fácil trabajar con él.

Además, el vidrio no se solidifica realmente, sino que permanece líquido. Sin embargo, este líquido se hace más y más rígido al enfriarse, hasta adquirir la consistencia de un sólido a todos los efectos. Dicho en pocas palabras: el vidrio que manejamos normalmente es un líquido

debido a que su disposición atómica es casual como en los líquidos, y no ordenada como en los sólidos: no obstante, tiene la rigidez de un cuerpo sólido. Esto significa que el vidrio no tiene un punto determinado de fusión, sino que Sigue siendo una especie de líquido viscoso a niveles de temperatura bastante amplios, y esto hace, asimismo, que sea más fácil trabajar con él.

Ahora bien, ¿puede el carbono sustituir al silicio y producir análogos carbónicos de cuarzo, de arena y de piedra, de la sílice y de los silicatos?

El carbono puede tener un buen comienzo. También él puede donar dos de sus cuatro electrones exteriores a cada uno de los átomos de oxígeno. El resultado es O=C=O, ó $C0_2$, que es universalmente conocido como «dióxido de carbono» y que, por su fórmula, parece ciertamente análogo al dióxido de silicio.

El lazo entre los átomos de carbono y de oxígeno, en igualdad de condiciones, es más fuerte que el lazo entre el silicio y el oxígeno, ya que los átomos de carbono son más pequeños que los de silicio. Por consiguiente, es lógico suponer que el dióxido de carbono se fundirá a temperatura más alta que el dióxido de silicio.

El dióxido de carbono tiene un punto de fusión de 78,50° C (aunque, en realidad, se sublima más que se funde), y esto significa 1.800 grados *menos* que el punto de fusión del dióxido de silicio.

¿Por qué? Bien, para responder a esta pregunta, a la cuestión de la relativamente baja cantidad de carbono en la Tierra, y al gran interrogante de cuál originará la vida, y por qué, tendremos que esperar al capítulo siguiente.

VI
PAN Y PIEDRA

En el Sermón de la Montaña, Jesús aseguró a sus oyentes que Dios Padre sería bondadoso con la Humanidad. Lo demostró señalando que los padres humanos, sumamente imperfectos en comparación con Aquél, eran bondadosos para con *sus hijos*. Dijo:

«... ¿quién de vosotros, si su hijo le pide pan, le dará una piedra?» (Mateo, 7,9).

Un amargo eco de este versículo se oyó dieciocho siglos más tarde en relación con Robert Burns, el gran poeta escocés que vivió y murió en espantosa pobreza, incluso cuando escribía sus hoy mundialmente famosos versos.

Después de su muerte, en 1796, a la edad de treinta y siete años, los escoceses descubrieron que era un gran poeta —siempre es más fácil honrar a alguien a quien ya no se debe mantener— y decidieron erigirle un monumento. Cuando dieron la noticia a la anciana madre de Burns, ésta la recibió sin mucha gratitud. Se dijo que exclamó:

— Rabbie, Rabbie, ¡pediste pan y te dieron piedra!

Me encanta esta anécdota, que hace que mis ojos se humedezcan cada vez que la cuento; pero, como todas las historias que me gustan, puede ser apócrifa.

El escritor satírico inglés Samuel Butler, conocido sobre todo por su poema *Hudibras*, murió en la miseria en 1680, y en 1721, Samuel Wesley, después de observar el monumento a Butler en la abadía de Westminster, escribió:

El sino de un poeta se muestra aquí en emblema.
Él pidió Pan, y recibió una Piedra.

Es muy improbable que Mrs. Burns citase a Wesley tres cuartos de siglo más tarde; en cambio, me parece verosímil que la persona que informó sobre la observación de Mrs. Burns le estuviese citando en realidad.

En todo caso, el pan es producto del átomo de carbono, y la piedra lo es del átomo de silicio. Y aunque el carbono y el silicio son muy similares en estructura atómica, sus productos son tan diferentes que constituyen una antítesis natural y Poderosa.

Terminé el capítulo anterior comparando el dióxido de carbono con el dióxido de silicio, siendo necesario para el primero una temperatura tan baja para convertirlo en gas, que permanece en estado gaseoso incluso en el invierno más crudo de la Antártida, mientras que el segundo se convierte en gas a una temperatura tan alta que ni siquiera los volcanes más activos producen cantidades significativas de vapores de dióxido de silicio.

En la molécula de dióxido de carbono, cada átomo de carbono está combinado con dos átomos de oxigeno, O=C=O. El átomo de carbono (C) está sujeto a cada átomo de oxígeno (O) por un doble enlace, es decir, por dos pares de electrones. Cada átomo que participa en este doble enlace contribuye con un electrón en cada par, o sea, con dos electrones en total. El átomo de oxígeno tiene solamente dos electrones que ofrecer en circunstancias normales, y el átomo de carbono tiene cuatro. Por consiguiente, el átomo de carbono forma un doble enlace con cada uno de los dos átomos de oxígeno, como se muestra en la fórmula.

El átomo de silicio (Si) es muy similar al de carbono en la disposición de sus electrones, y tiene también cuatro de éstos disponibles para la formación de enlaces. También puede formar un doble enlace con cada uno de los dos átomos de oxígeno, por lo que el dióxido de silicio puede representarse como O=Si=O.

En el capítulo anterior observé que los lazos que unen al carbono con el oxígeno son más fuertes que los que unen al silicio con el oxígeno, y sugerí que esto significaba que el dióxido de carbono debería de tener unos puntos de fusión y de ebullición más altos que los del dióxido de silicio. De hecho, ocurre todo lo contrario, y yo lo planteé como problema.

En realidad, simplificaba demasiado la cuestión. Ciertamente, hay veces en que los puntos de fusión y de ebullición significaban la ruptura de fuertes lazos entre átomos, de manera que cuanto más fuertes sean éstos, más altos serán los puntos de fusión y de ebullición. Esto es verdad cuando cada átomo de un sólido está sujeto a sus vecinos por fuertes lazos. Entonces no hay manera de convertir el sólido primero en líquido y después en gas, salvo rompiendo algunos o todos estos lazos.

Sin embargo, en otros casos, de dos a una docena de átomos están firmemente unidos para formar una discreta molécula de tamaño moderado, y las moléculas individuales están débilmente unidas entre ellas. En este caso, los puntos de fusión y de ebullición se alcanzan cuando se rompen los débiles lazos intermoleculares y son liberadas las moléculas individuales.

Y entonces no hace falta tocar los fuertes lazos en el interior de la molécula, y los puntos de fusión y de ebullición son entonces generalmente muy bajos.

En el caso del punto de ebullición en particular, tenemos una situación en que los lazos intermoleculares se rompen completamente, de modo que se produce un gas en el que las moléculas individuales se mueven libre e independientemente. En el punto de sublimación, los lazos intermoleculares de un sólido se rompen completamente para formar un gas compuesto de moléculas absolutamente independientes.

El punto de ebullición del dióxido de silicio es de unos 2.300° C, mientras que el punto de sublimación del dióxido de carbono es de —78,5° C. Está claro que, al calentar el dióxido de silicio para convertirlo en gas, debemos romper fuertes lazos entre átomos; mientras que, al calentar el dióxido de carbono para convertirlo en gas, sólo tenemos que romper débiles lazos intermoleculares.

¿Por qué? Las fórmulas O=Si=O y O=C=O parecen tan similares...

Para empezar debemos comprender que un doble enlace es *más flojo* que un enlace simple. Esto parece ir en contra del sentido común. Es evidente que una presa con ambas manos será más fuerte que otra hecha con una sola mano. Sujetar algo con dos cintas de goma, con dos cuerdas, con dos cadenas, parece ser más eficaz que hacerlo con una sola en cada caso.

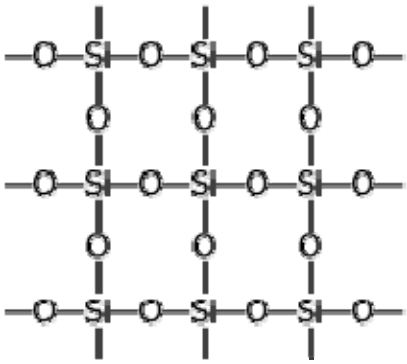
Sin embargo, no es así en el caso de los enlaces interatómicos. Para explicar adecuadamente esto tendríamos que recurrir a la mecánica cuántica, pero haré a todos el favor [7] de ofrecer una explicación más metafórica. Imaginemos que existe un determinado espacio entre dos átomos y que, cuando cuatro electrones se introducen en este espacio para establecer un doble lazo, no tienen Sitio suficiente para agarrarse bien. Dos electrones, formando un solo lazo pueden asirse mejor. Imaginaos que introducís ambas manos en un espacio restringido y sujetáis algo con los dedos índice y pulgar de cada mano. Si metéis una sola mano y podéis sujetarlo bien con los cinco dedos, el resultado será mucho más eficaz.

En consecuencia, si existe una posibilidad de redistribuir los electrones del dióxido de silicio de manera que se puedan sustituir los dobles lazos por lazos sencillos, será más probable que ocurra aquello.

Si, por ejemplo, están presentes muchas moléculas de dióxido de silicio, cada átomo de oxígeno distribuye sus electrones de manera que sujeta dos átomos diferentes de silicio con un solo lazo cada uno, en vez de sujetar un solo átomo de silicio con un doble lazo. En vez de O=Si=O, tenemos O—Si—O—Si—O—Si— y así indefinidamente, en ambas direcciones.

Cada átomo de silicio tiene cuatro electrones que ofrecer, y puede, por tanto, formar cuatro lazos simples, pero en la cadena que acabamos de consignar, cada uno de ellos emplea sólo dos lazos simples. Por consiguiente, cada átomo de silicio puede iniciar una cadena infinita en otras dos direcciones, con lo que obtendremos:

[7] ¡Sobre todo a mí mismo!



Puesto así parece bidimensional, pero en realidad no lo es. Los cuatro lazos del silicio están distribuidos hacia los cuatro vértices de un tetraedro, y el resultado es una estructura tridimensional, bastante parecida a la del diamante o el carburo de silicio.

En consecuencia, cada pedazo de dióxido de silicio puro («cuarzo») es, en efecto, una enorme molécula, en la que hay, en conjunto, dos átomos de oxígeno por cada uno de silicio. Para fundir y hervir este pedazo de cuarzo es preciso romper los fuertes lazos Si—O, su punto de ebullición será, pues, tan alto que, encontramos dióxido de silicio gaseoso en las condiciones de la superficie de la Tierra.

Todo lo anterior sigue siendo cierto si otros tipos de átomos se incorporan al enrejado silicio-oxígeno en numero no lo bastante grande como para quebrantarlo, formando así silicatos. Generalmente, estos silicatos se funden y hierven a temperaturas muy altas.

La cuestión es muy diferente en el dióxido de carbono. Los átomos más pequeños tienden a formar lazos más fuertes, y así, el átomo de carbono, que es más pequeño que el de silicio, se liga con más fuerza que éste al átomo de oxígeno. En realidad, incluso el doble enlace C=O, aunque más débil que el enlace simple C—O, es, empero, lo bastante fuerte para que la tendencia a distribuirse en lazos simples sea mucho menor que en el caso del dióxido de silicio. Las moléculas pequeñas tienen ciertas ventajas sobre las grandes en lo referente a estabilidad, y esto, combinado con la fuerza relativa del doble enlace carbono-oxígeno, tiende a mantener el dióxido de carbono en forma de moléculas pequeñas.

Si la temperatura es lo bastante baja, las moléculas individuales de dióxido de carbono se adhieren y forman un cuerpo sólido, pero son mantenidas juntas por lazos intermoleculares relativamente débiles y se rompen fácilmente. De aquí el bajo punto de sublimación.

Otros átomos pueden combinarse con el dióxido de carbono para formar «carbonatos», y éstos son siempre sólidos a las temperaturas de la superficie de la Tierra. Sin embargo, si se calientan a temperaturas más altas, se rompen y producen dióxido de carbono gaseoso a temperaturas considerablemente más bajas que el punto de ebullición de los silicatos.

El carbonato de calcio («piedra caliza»), por ejemplo, desprende dióxido de carbono gaseoso a unos 825 °C.

Cuando se forma un sistema planetario, el proceso de formación produce, al principio, un planeta cálido. Si los planetas en formación están relativamente cerca del sol central, la temperatura se eleva aún más como resultado de ello.

En estas condiciones, los únicos sólidos que pueden aparecer son los que se componen de átomos que forman grandes enrejados atómicos y que, por consiguiente, tienen altos puntos de fusión y de ebullición. Esto incluye dos variedades de sustancias que tienden a separarse al evolucionar el planeta: los metales (principalmente el hierro y aquellos otros que se mezclan con él con relativa facilidad) y los silicatos.

Los metales densos tienden a concentrarse en el centro del planeta, con los silicatos más ligeros envolviendo aquel núcleo como una concha externa.

Esta es la estructura general de los cinco mundos interiores del Sistema Solar: Mercurio, Venus, la Tierra, la Luna y Marte. (En el caso de Marte y de la Luna, el componente metálico es muy bajo.)

Los elementos cuyos átomos se adaptan con dificultad, o no se adaptan en absoluto, al enrejado metálico o de los silicatos, tienden a quedar como átomos individuales, como pequeñas moléculas o como enrejados en los que los átomos sólo se mantienen flojamente unidos. En todos los casos, son «volátiles» y, en el principio de la formación planetaria, existían en gran parte como vapores.

Como los metales y los silicatos están constituidos por elementos que, a su vez, constituyen una fracción relativamente pequeña de los materiales originales con que se formaron los sistemas planetarios, los mundos interiores del Sistema Solar son relativamente pequeños y tienen, por ende, débiles campos de gravitación; demasiado débiles para retener los vapores.

Esto significa la pérdida de la mayor parte o de la totalidad de algunos de los elementos particularmente comunes en la mezcla original preplanetaria: hidrógeno, helio, carbono, nitrógeno, neón, sodio, potasio y argón.

Así, Mercurio y la Luna poseen poco o ningún hidrógeno, carbono y nitrógeno, tres elementos sin los cuales sabemos que no puede existir la vida. Venus y la Tierra tienen suficiente masa compuesta principalmente para haber retenido algunos de estos elementos, y ambos tienen una atmósfera de materiales volátiles. Marte, con un campo gravitatorio más débil (sólo posee una décima parte de la masa de la Tierra), era, debido a su mayor distancia del Sol, lo bastante frío como para retener una pequeña cantidad de material volátil, por lo cual tiene una atmósfera tenue.

Más allá de Marte, en el Sistema Solar exterior, los planetas permanecieron lo bastante fríos como para recoger sustanciales proporciones de aquellas materias volátiles que constituyeron el 99% de la mezcla original (principalmente hidrógeno y helio), y por eso crecieron más en tamaño y en masa. Al crecer, se intensificó su campo gravitatorio, y pudieron seguir creciendo todavía con más rapidez (el efecto de la «bola de nieve»). Resultado de ello fueron los grandes planetas exteriores: Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Estos son los llamados gigantes gaseosos, compuestos principalmente por una mezcla de hidrógeno y helio, con pequeñas moléculas conteniendo carbono, nitrógeno y oxígeno, como impurezas principales y (presuntamente) con núcleos relativamente pequeños de silicatos y metales en el centro.

Incluso los mundos más pequeños del Sistema Solar exterior se enfriaron lo bastante, en su fase primitiva, como para recoger materias volátiles. Las moléculas de éstas contienen carbono, nitrógeno u oxígeno, en combinación con hidrógeno. En las actuales bajísimas temperaturas de estos mundos, tales materias volátiles se hallan en estado sólido. Son «hielos»,

llamados así por su parecido general, en propiedades, al ejemplo más conocido en la Tierra: el agua helada.

Los cuatro grandes satélites de Júpiter, pongo por caso, sufrieron un calentamiento debido al efecto de marea de Júpiter (que aumenta rápidamente al disminuir la distancia del satélite). Ganímedes y Calisto, los dos satélites más alejados, fueron poco calentados y son, esencialmente, mundos helados, más grandes que los otros dos. lo, el más interior, recibía demasiado calor para recoger materias volátiles, y está compuesto esencialmente por silicatos, mientras que Europa, que se encuentra entre Io y Ganímedes, parece estar también formado de silicatos, envueltos en una cubierta helada.

Pero volvamos a la Tierra, que es, en esencia, un núcleo líquido de níquel y hierro, envuelto en un manto de silicatos.

Sobre la superficie están las materias volátiles que la Tierra consiguió guardar. Los átomos de hidrógeno se encuentran, principalmente, como formando parte de las moléculas de agua que constituyen nuestros (relativamente) grandes océanos. Los átomos de nitrógeno se encuentran como moléculas de dos átomos en la atmósfera. Los átomos de carbono se encuentran como dióxido de carbono en la atmósfera (en pequeñas cantidades), como carbonatos en la corteza y como carbono elemental en forma de depósitos de carbón.

Sin embargo, la Tierra es deficitaria en estos elementos, y, aunque los tiene en cantidad suficiente para permitir una vida copiosa y diversa, tal cantidad es pequeña en comparación con la existente en una masa igual de materia representativa en la composición total del Universo (por ejemplo, una masa igual en Júpiter o en el Sol).

Pero si la corteza terrestre contiene 370 átomos de silicio por cada átomo de carbono, y silos dos son tan similares en muchas de sus propiedades químicas, ¿por qué tenía que formarse la vida alrededor del átomo de carbono y no del de silicio?

A tal respecto, debemos recordar que la vida es una danza atómica bastante complicada. La vida representa un sistema de entropía relativamente bajo, sostenido contra una abrumadora tendencia («segunda ley de termodinámica») a elevar la entropía. La vida está hecha de moléculas muy complejas y frágiles que, por sí solas, se romperían fácilmente. Contiene altas concentraciones de ciertos tipos de átomos o moléculas en algunos sitios, y bajas concentraciones en otros; por consiguiente, si actuasen por sí solas, las concentraciones empezarían rápidamente a nivelarse..., y así sucesivamente.

Con el fin de mantener el estado de baja entropía, la química de la vida desarrolla una actividad incesante. No es que las moléculas no se rompan, ni que las concentraciones desiguales no se igualen; es que las moléculas complejas son construidas de nuevo con la misma rapidez con que se rompen, y las concentraciones vuelven a desnivelarse en cuanto se igualan. Es como si mantuviésemos seca una casa durante una inundación, no deteniendo la riada (cosa imposible), sino achicando continua e incansablemente el agua a medida que entrase.

Esto significa que debe existir un constante trasiego de átomos y de moléculas, y que las materias primas básicas de la vida han de existir en una forma que permita que sean capturadas y utilizadas rápidamente. Las materias primas deben existir como pequeñas moléculas en cantidades considerables, en condiciones que permitan que los lazos que mantienen los

átomos unidos dentro de las moléculas se rompan y se rehagan fácilmente, de modo que moléculas de un tipo se convierten continuamente en otras.

Esto es posible mediante el uso de un medio fluido en el que se disuelven las diversas moléculas. Allí están presentes en alta concentración, se mueven libremente y sirven para el fin propuesto. El medio fluido empleado es el agua, muy abundante en la Tierra, y es un buen disolvente para una gran variedad de sustancias. De hecho, la vida, tal como la conocemos, sería imposible sin el agua.

Las moléculas útiles para la vida son solubles o pueden hacerse solubles en agua. El oxígeno sólo es ligeramente soluble, pero se adhiere fácilmente a la hemoglobina, de modo que la pequeña cantidad que se disuelve es atrapada en seguida, dejando sitio para otra pequeña cantidad a disolver, y así sucesivamente.

Pero el proceso de solución en agua es similar, en algunos aspectos, a los procesos de fusión y ebullición. Hay que romper lazos interatómicos o intermoleculares. Si se tiene un enrejado entero de átomos, no entrará todo él en solución como una masa intacta. Pero si el enrejado puede romperse en pequeños fragmentos, tales fragmentos podrán disolverse.

Los silicatos forman un enrejado fuertemente sujeto, y los lazos son tan resistentes al agua como al calor. Los silicatos son «insolubles», y esto es buena cosa, pues, de no ser así, los mares disolverían buena parte de las zonas continentales y producirían un lodo espeso, que no sería mar ni tierra y en el cual la vida, tal como la conocemos, no podría existir.

Pero esto significa también que los átomos de silicio no existen en forma de pequeñas moléculas solubles y, en consecuencia, no son incorporados en tejidos activamente vivos. Por tanto, el silicio no sirve de base para la vida, y el carbono, si.

Esto, sin embargo, es lo que ocurre en condiciones terrestres. ¿Qué se puede decir de otras condiciones?

La condición química de un planeta puede ser «oxidante» o «reductora». En el primer caso hay una preponderancia de átomos que aceptan electrones, como sucedería de existir grandes cantidades de oxígeno libre en la atmósfera. En el segundo hay una preponderancia de átomos que sueltan electrones, como sería el caso de grandes cantidades de hidrógeno libre

en la atmósfera. La Tierra tiene una atmósfera oxidante; Júpiter la tiene reductora. Aunque al principio la Tierra pudo tener también una atmósfera reductora.

En una atmósfera oxidante, el carbono tiende a existir como dióxido de carbono. En una atmósfera reductora, tiende a existir como «metano», cuya molécula consiste en un átomo de carbono al que se han unido cuatro de hidrógeno (CH_4). En el Sistema Solar exterior, donde imperan las condiciones reductoras, el metano es extraordinariamente común.

El metano es padre de un número infinito de otras sustancias, pues los átomos de carbono pueden unirse fácilmente entre ellos en cadenas o anillos, y conectar los lazos sobrantes con átomos de hidrógeno. Existe, pues, un número enorme de «hidrocarburos» posible, con moléculas de diversos tamaños compuestas únicamente de carbono e hidrógeno. El metano es el más sencillo de ellos.

Añádase un átomo ocasional de oxígeno, nitrógeno, azufre o fósforo (o una combinación de éstos) al esqueleto básico del hidrocarburo, y se obtendrá el gran número y variedad de compuestos que se encuentran en los organismos vivos («compuestos orgánicos»). Todos ellos son, en cierta manera, elaboraciones a base de metano.

Dicho en pocas palabras: los productos químicos de la vida son del tipo que cabría esperar que se formase en condiciones reductoras, y ésta es una de las razones de que los químicos supongan que la Tierra primitiva, en los tiempos en que nació la vida, tenía una atmósfera reductora o, al menos, no oxidante.

Sin embargo, los silicatos son característicos de un medio oxidante. ¿No podría el silicio formar otras clases de compuestos en condiciones reductoras? ¿ No podría el silicio, como el carbono, combinarse con cuatro átomos de hidrógeno?

La respuesta es afirmativa. El compuesto SiH_4 existe, y recibe el nombre de «silano».

El metano tiene un punto de ebullición de —161,5° C, de modo que en las condiciones de la superficie de la Tierra es siempre un gas. El silano tiene propiedades muy similares, con un punto de ebullición de —112° C, de manera que es también un gas. (El punto de ebullición del silano es notablemente más alto que el del metano, porque su peso molecular es notablemente mayor: 28 contra 16.)

Entonces, el silicio puede formar también cadenas como el carbono, al tomar el hidrógeno los lazos sobrantes.

A una cadena de dos átomos de carbono pueden añadirse seis átomos de hidrógeno; a una cadena de tres átomos de carbono, ocho átomos de hidrógeno, y a una cadena de cuatro átomos de carbono diez átomos de hidrógeno. Dicho de otra manera: podemos tener C_2H_6, C_3H_8 y C_4H_{10}, llamados, respectivamente, «etano», «propano» y «butano». (Cada nombre tiene una razón de ser, pero ésta es una cuestión que dejaré para otro día.) Del mismo modo, tenemos Si_2H_6, Si_3H_8 y Si_4H_{10}, que reciben el nombre de «disilano», «trisilano» y «tetrasilano», respectivamente.

Los compuestos de carbono tienen puntos de ebullición de —88,6° C; —44,5° C y —0,5° C, respectivamente, de manera que los tres están en forma de gases en las condiciones de la superficie de la Tierra, aunque el butano sería un líquido en condiciones invernales corrientes, y el propano lo sería también en condiciones polares.

Naturalmente, los silanos tienen puntos más altos de ebullición. El disilano tiene un punto de ebullición de —14,5° C; el trisilano, de 53° C, y el tetrasilano, de 109° C. En las condiciones de la superficie terrestre, el disilano es un gas, mientras que el trisilano y el tetrasilano son líquidos.

Todo esto parece muy prometedor, pero tiene que haber una pega, y la hay. Un solo enlace entre carbono y oxígeno tiene un contenido en energía de 70 kilocalorías por mol (y podemos tomar la unidad por supuesta de ahora en adelante), mientras que el contenido en energía del lazo entre carbono e hidrógeno es de 87. Por consiguiente, el carbono tiende a permanecer unido al hidrógeno, incluso en presencia de grandes cantidades de oxígeno. Los hidrocarburos son muy estables en las condiciones de la superficie de la Tierra.

La gasolina y la parafina son mezclas de hidrocarburos. La primera puede arder en el motor de un automóvil, y la segunda puede hacerlo en una vela, pero la ignición tiene que ser provocada. De no ser así, la gasolina y la parafina permanecerán como tales durante largos períodos de tiempo.

En cambio, el lazo silicio-oxígeno es de 89 y el de silicio-hidrógeno, de 75. Esto significa que los silicatos tienden a permanecer tales incluso en condiciones reductoras, mientras que los silanos se oxidan con relativa facilidad en silicatos.

Resumiendo: las probabilidades favorecen a los hidrocarburos en el caso del carbono y a los silicatos en el caso del silicio. A la menor oportunidad, el carbono se convertirá en hidrocarburos y en vida, mientras que el silicio se convertirá en silicatos sin vida.

En realidad, aunque los silanos *pudiesen* formarse, el resultado no sería probablemente vida. La vida requiere moléculas muy complicadas, y los átomos de carbono pueden combinarse en cadenas muy largas y en series de anillos muy complejas. Esto se debe a que el lazo carbono-carbono es muy fuerte: 58,6. El lazo silicio-silicio es claramente más débil: 42,5.

Esto significa que una cadena de átomos de silicio es más floja que una de átomos de carbono, por lo que se rompen con más facilidad. De hecho, los químicos han sido incapaces de formar algo más complicado que un hexasilano, con seis átomos de silicio en la molécula. Compárese esto con las cadenas de carbono en las grasas y aceites ordinarios, compuestas generalmente de 16 átomos de carbono unidos, y esto no es en modo alguno una plusmarca.

Además, los átomos de carbono se unen con bastante fuerza para hacer posible la existencia de dobles enlaces carbono-carbono, e incluso triples, aunque éstos son más débiles que los simples. Esto multiplica el número y la variedad de compuestos orgánicos posibles.

Se pensó que los dobles y triples enlaces eran imposibles en el caso de combinaciones silicio-silicio, de manera que masas enteras de complejidad fueron apartadas de una existencia potencial.

Pero sólo *aparentemente*. En 1981 se informó por primera vez de lazos dobles que afectaban al átomo de silicio. No estaban en los silanos, sino en otros tipos de compuestos de silicio que (¿quizás?) podrían servir de base a la vida.

Mas para tratar de esto pasemos al próximo capítulo.

VII
UNA DIFERENCIA DE UNA «E»

Cuando alguien escribe tanto como yo, vive en un miedo constante de que parezca, de vez en cuando, que ha tomado algo de los trabajos de otros sin estar autorizado para ello. Digo «parezca», porque, en mi caso, no hay peligro de que lo haga *realmente*. Sin embargo, el parecido es ya de por sí bastante nocivo.

Por ejemplo, hace algunos años, los editores de una enciclopedia me pidieron que revisara un breve artículo sobre ciencia-ficción, con el fin de corregirlo y ponerlo al día. Lo leí y me pareció absolutamente correcto, por lo cual no introduje ningún cambio. Sólo añadí dos frases para ponerlo al día, cobré mis modestos honorarios y olvidé todo el asunto.

No supe que lo editores de la enciclopedia eliminaron entonces el nombre del verdadero autor y pusieron el mío al pie del artículo. Hace cosa de un mes, recibí una carta muy acalorada de un lector que estaba convencido de que había descubierto una apropiación ilegal. Me enviaba fotocopias del artículo original firmado por su autor y del artículo ulterior con mi nombre, y, en términos muy ofensivos, me pedía una explicación.

Pacientemente, le expliqué que ignoraba aquella sustitución del nombre del autor. (A fin de cuentas, la lista de mis obras no es tan reducida como para que tenga que apropiarme de un artículo de medio palmo en una enciclopedia.)

No me sirvió de nada. Con idéntica fogosidad, mi curioso corresponsal escribió a los editores de la enciclopedia pidiéndoles *su* versión de la historia.

Veamos ahora un ejemplo más sustancioso. Hace unos veinte años, en un picnic del MIT [8], oí una variación humorística de la conocida canción sentimental que dice:

Dime por qué brillan las estrellas,
dime por qué se enrosca la hiedra,
dime por qué el cielo es azul
y yo te diré por qué te amo.

La versión del MIT acerca de la segunda estrofa era:
La fusión nuclear hace brillar las estrellas.
Los tropismos hacen que se enrosque la hiedra.
El efecto de Rayleigh hace que el cielo sea azul.
Las hormonas glandulares hacen que yo te ame.

Me gustó la estrofa y, como tengo buena memoria, la recordé y la cantaba de vez en cuando. Por último, la incluí (ligeramente modificada) en mi libro *Isaac Asimov's Treasury of Humor*. Comprenderéis que no podía atribuirme su paternidad, pero tampoco podía atribuirla a otra persona, porque ignoraba quién la había escrito.

Hace un par de meses, recibí una carta de Richard C. Levine, que ahora vive en Texas, y que al abrir el *Treasury* encontró allí la estrofa, que era suya. Reconozco aquí gustosamente su autoría.

Pero a veces ocurre también al revés. La semana pasada un físico me dijo que la teoría cosmogónica más emocionante que se estaba elaborando ahora era la de la creación del Universo de la *nada*, y me expuso el razonamiento fundamental en que se apoya aquélla. Le pregunté cuándo había sido sugerida por primera vez. En 1972 ó 1973, por Fulanito, me contestó.

Con gran satisfacción, le pedí que leyese mi ensayo *Estoy buscando un trébol de cuatro hojas* (véase *Sciencie, Numbers, and I*, Doubleday, 1968), que adelantaba una teoría parecida, fundada en un razonamiento similar, y le envié un ejemplar.

Desde luego, no presumí nada incorrecto. Estoy seguro de que aquel físico llegó independientemente a su conclusión, con muchos más detalles y con mayor precisión en los argumentos de lo que yo había sido capaz; pero me encantó poder reclamar cierta dosis de prioridad.

---

[8] Instituto Tecnológico de Massachusetts. *(N. del T.)*

Me satisfizo que algo que yo había presentado simplemente como una pequeña y deliciosa especulación, se convirtiese en preocupación seria de los físicos. En realidad, esto no es raro en la Historia de la Ciencia, y me lleva a hablar del químico inglés Frederick Stanley Kipping (1863-1949).

Kipping se interesaba por las moléculas asimétricas, algo que yo comenté con algún detalle en «The 3-D Molecule» (véase *The Left Hand of the Electron*, Doubleday, 1972). Citándolo brevemente aquí, diré que, si un átomo de carbono es ligado a cuatro átomos o grupos atómicos diferentes, la molécula resultante puede disponerse en una de dos maneras distintas, siendo una como la imagen en un espejo de la otra. Tales moléculas son asimétricas.

La naturaleza y la razón de la asimetría fueron explicadas en 1874, y no había motivo por el que la explicación debiese aplicarse únicamente al átomo de carbono. Kipping, junto con su ayudante William Jackson Pope (1870-1939), trabajó en la síntesis de moléculas asimétricas en las que interviniesen átomos tales como el de nitrógeno y estaño.

En 1899, Kipping empezó una larga serie de investigaciones sobre compuestos de silicio, presumiendo, con razón, que el átomo de silicio químicamente similar al de carbono, debería producir moléculas asimétricas en las mismas condiciones en que las producía el átomo de carbono.

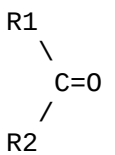
Esto nos lleva de nuevo al tema de los ensayos anteriores. Los compuestos de silicio que se encuentran en la Naturaleza son los silicatos, que, como he explicado en el capítulo anterior, tienen átomos de silicio conectados con átomos de oxígeno por cada uno de sus cuatro enlaces. En estas condiciones, no es de esperar que se produzca asimetría a nivel molecular.

Lo que Kipping pretendía era conectar átomos de silicio con diferentes grupos en diferentes planos.

Se daba el caso de que un químico francés, Francis-Auguste Grignard (1871-1935) había descubierto, en 1900, una manera de enlazar grupos de átomos a otros grupos de átomos mediante el empleo de metal de magnesio en éter seco.

Utilizando tales «reacciones de Grignard», Kipping empezó a añadir grupos atómicos a átomos de silicio de maneras no efectuadas anteriormente, y trató de sintetizar moléculas en las que los átomos de silicio remplazan a los átomos clave de carbono en compuestos carbónicos sencillos y conocidos.

Consideremos, por ejemplo, el dióxido de carbono, O=C=O. Déjese un átomo de oxígeno en su sitio, pero quítese el otro, sustituyéndolo por dos grupos atómicos diferentes que contengan carbono, uno para cada enlace del carbono. Simbolícense los dos grupos que contienen carbono como R1 y R2, y se tendrá una molécula de la forma siguiente:



Los químicos llaman a esto una «cetona», y los nombres que se dan a tales compuestos suelen llevar el sufijo «ona» para indicarlo.

Kipping trató de sintetizar el análogo en silicio de una cetona,

```
R1
  \
   Si=O
  /
R2
```

y, empleando el sufijo acostumbrado, llamó «silicona» a este análogo.

Personalmente, no me gusta el nombre y lamento que se le ocurriese. *Silicone* y *silicon* Sólo se distinguen por una *e* [9], lo cual no basta. Es demasiado fácil inducir a confusión con un error tipográfico.

Más aún, Kipping no consiguió jamás producir una cetona de silicio. Sin embargo, el nombre silicona llegó a aplicarse, no sólo a aquella molécula, sino también a todos los compuestos donde átomos de silicio se asocian a grupos atómicos contenedores de carbono.

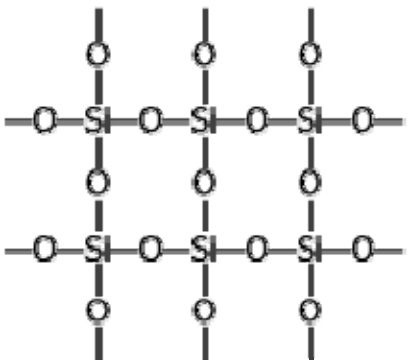
Kipping trabajó durante cuarenta años en el problema de las moléculas asimétricas de silicio, y publicó cincuenta y un ensayos sobre ellas. Consiguió su objetivo y fue capaz de demostrar, de manera convincente, que los compuestos de silicio seguían las mismas normas de asimetría que los de carbono.

Sin embargo, las siliconas que formó para demostrarlo no parecían ser útiles para nada más. Eran curiosidades que sólo servían para confirmar un punto teórico. En 1937, cuando tenía setenta y cuatro años, Kipping comentó, tristemente: «No parece ser muy esperanzadora la perspectiva de algún avance inmediato e importante en esta rama de la Química orgánica.»

¡Se equivocaba! En 1941 se registraron las primeras patentes de silicona, y una industria de silicona comenzó a crecer y se desarrolló muy rápidamente. Kipping vivió hasta los ochenta y cinco años, y tuvo la satisfacción de ser testigo de su inesperado éxito. La investigación realizada en su torre de marfil se había convertido, al fin, en una cuestión práctica y valiosa.

Veamos por qué.

El enrejado del dióxido de silicio, según se dijo en el capítulo anterior, tiene aproximadamente este aspecto (si os acordáis, es en realidad tridimensional, y no bidimensional):



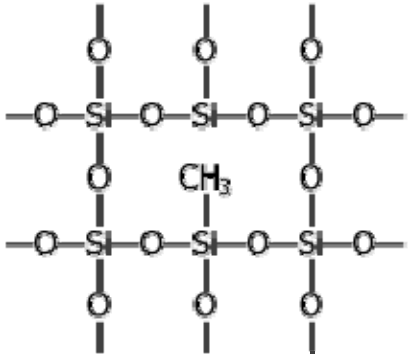
[9] Naturalmente, esto se refiere a los vocablos ingleses. En los españoles, silicona y silicio, no cabe la confusión. *(N. del T.)*

Estos enlaces pueden continuar indefinidamente, ya que el dióxido de silicio (así como los silicatos, que tienen átomos metálicos añadidos, acá y allá, al enrejado) es un sólido de alto grado de fusión.

Pero supongamos que, en vez de los átomos de oxígeno que sirven de puentes de conexión entre las cadenas de silicio-oxígeno, tenemos algún átomo, o grupo de átomos, que sólo tiene un enlace. Puede adherirse al átomo de silicio de una cadena particular con su único enlace, y entonces no tendrá nada con que asirse a una cadena contigua.

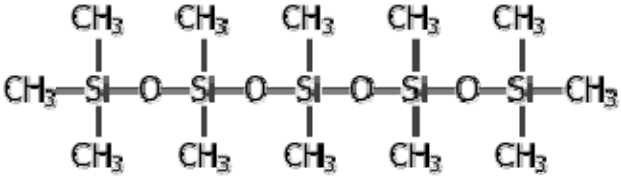
Consideremos, a este respecto, grupos atómicos que contengan carbono. Los átomos de carbono (como los de silicio) tienen cuatro enlaces, pero tres de ellos pueden estar firmemente aferrados a átomos de hidrógeno, dejando el cuarto libre para agarrarse a cualquier otro sitio. Podemos representar el grupo así: CH_3. Es el llamado «grupo metilo». (Siento deseos de explicar aquí por qué se llamó «metilo», pero me abstendré de hacerlo, dejando para más tarde y otro ensayo el sucumbir a la tentación.)

Si pensáis que un grupo metilo sustituye a un átomo de oxígeno en el enrejado del silicato, se romperá un puente entre dos átomos de silicio:



Cuantos más grupos metilo se añadan al enrejado, tantos más puentes se romperán, y tanto más débil será el enrejado. En definitiva, éste se romperá en fragmentos separados, que pueden ser cadenas de combinaciones silicio-oxígeno, cadenas ramificadas o anillos.

Una «silicona de metilo» típica podría ser la siguiente:



Estas siliconas de metilo son oleosas, mucho más que los verdaderos aceites (los verdaderos aceites se componen, en su mayor parte, de cadenas de átomos de carbono). Empero, la cadena de silicio-oxígeno es más estable que una cadena de carbono. Es más resistente a los cambios por elevación de la temperatura o por interacciones químicas.

La oleaginosidad es fruto de una tendencia de las moléculas de cadenas a adelantarse las unas a las otras, pero con lentitud. Cuanto mayor es ésta, más viscoso es el aceite; un ejemplo es que se vierte más despacio.

Un líquido que sea a la vez oleoso y viscoso es útil como lubricante. La oleaginosidad permite que dos superficies metálicas que se mueven la una con respecto a la otra, lo hagan sobre una película de moléculas que se mueven adelantándose las unas a las otras, en vez de establecer contacto directo. Esto significa que el movimiento es relativamente silencioso, y que el rozamiento no perjudica las superficies metálicas. Si el líquido es lo bastante viscoso, no se escapa de entre las superficies metálicas, sino que permanece allí, prosiguiendo su útil función de prevenir el deterioro.

Sin lubricación sería inútil pretender que durase mucho tiempo cualquier máquina con partes en movimiento.

Por lo general, los aceites lubricantes tienden a hacerse menos viscosos con el calor. La elevación de la temperatura acelera el movimiento de las moléculas, hace que las largas cadenas de carbono se adelanten las unas a las otras con más facilidad, con lo cual aumenta el peligro de que el aceite se escape de entre las superficies metálicas.

Además, la elevación de la temperatura aumenta la rapidez con que los aceites lubricantes ordinarios se combinan con el oxígeno del aire (o con otros vapores que puedan estar presentes en la atmósfera). Estas combinaciones químicas pueden producir compuestos corrosivos que oxiden los metales, o impurezas que reduzcan la untuosidad del compuesto, o roturas en las cadenas de carbono que mengüen la viscosidad. En ningún caso estas combinaciones químicas mejoran las propiedades del aceite lubricante.

Por otra parte, el lento movimiento de las cadenas de silicona, al adelantarse las unas a las otras, apenas se ve afectado por la temperatura. Esto significa que la viscosidad de las siliconas es relativamente constante, disminuyendo sólo ligeramente al aumentar la temperatura.

Más aún: las siliconas son mucho menos propensas a combinarse con diversas sustancias químicas que los aceites lubricantes ordinarios, y, por consiguiente, es mucho menos probable que sufran los indeseables efectos que padecerían los aceites lubricantes ordinarios a temperaturas parecidas.

Los aceites lubricantes de silicona conservan sin dificultad sus útiles propiedades a temperaturas tan altas como 150° C, y, si se excluye el oxígeno, a temperaturas superiores a los 200° C.

En ocasiones también es necesario lubricar superficies que se mueven entre sí a temperaturas muy bajas. Un aceite lubricante ordinario, con la viscosidad adecuada a temperatura normal, aumenta rápidamente de viscosidad al descender la temperatura, se endurece y ya no sirve para nada. Esto no ocurre con el lubricante de silicona.

Para expresarlo en cifras, un aceite lubricante ordinario puede ser 1.800 veces más viscoso a —35° C que a 40° C (una diferencia de 75 grados), mientras que un aceite lubricante de silicona será sólo siete veces más viscoso a —35° C que a 40° C.

Durante los días críticos de la Segunda Guerra Mundial se advirtió la utilidad de las siliconas en el sumamente necesario campo de la lubricación, lo cual llevó directamente al vertiginoso aumento de la importancia concedida a los compuestos.

La viscosidad de la silicona tiende a aumentar de manera previsible al alargarse la cadena de silicio-oxígeno, y por esto pueden prepararse fácilmente aceites lubricantes de silicona con la viscosidad necesaria para una función particular.

Si la cadena se alarga lo bastante, la viscosidad se hace lo suficientemente alta como para producir sustancias sólidas de calidad gomosa. Esto ocurre, particularmente, si las cadenas están conectadas entre sí por unos pocos puentes.

Si se añaden más puentes a la silicona, el resultado es una sustancia resinosa.

Ninguna silicona es conductora de electricidad; de aquí que las gomas y las resinas de silicona puedan emplearse como aislantes eléctricos. Son mejores que las gomas y las resinas ordinarias, porque son más resistentes al calor, y es menos probable que se vuelvan frágiles y se rompan, o que presenten fallos en su capacidad aislante.

Si se produce una silicona con la viscosidad adecuada, puede incluso emplearse como una especie de juguete. Una silicona puede ser lo bastante viscosa como para circular muy, muy lentamente, y resistirse a que le den prisa. Las largas moléculas continuarán deslizándose y adelantándose con dignidad, por decirlo así, y la presión no servirá para acelerarlas.

Por ejemplo, una bola de semejante sustancia, arrojada contra una pared, se deformará bajo la presión del contacto, pero rebotará, como indignada por haber sido obligada a moverse contra su voluntad. Dicho de otra manera: rebotará con eficiencia.

Sin embargo, ponedla sobre una mesa y dadle tiempo; entonces se aplanará, adaptándose a cualquier desigualdad de la superficie. Apretadla entre los dedos y será maleable como la cera. Fue llevada al mercado con el nombre de «Silly Putty», y recuerdo muy bien que aquella tontería me impresionó durante varias décadas.

Las siliconas, como las moléculas ordinarias de cadenas de carbono, no son solubles ni se mezclan en modo alguno con el agua, y la repelen.

Esto resulta muy útil cuando se añade una capa de silicona a la superficie de tejidos u otros materiales.

Así, se puede partir del metilclorisilano (hecho con moléculas formadas por un átomo de silicio ligado a tres grupos de metilo y un átomo de cloro). Dicho compuesto se combinará con la celulosa, que constituye la mayor parte de cualquier tejido. La celulosa contiene grupos de oxígeno-hidrógeno, y el átomo de hidrógeno del grupo se combina con los átomos de cloro del metilclorisilano. Esto significa que un átomo de silicio, unido a tres grupos de metilo, se adhiere a un átomo de oxígeno de la celulosa y permanece allí de un modo razonablemente estable.

De esta manera, toda la superficie del tejido queda revestida de una capa de silicona de una molécula de grosor. La capa no puede advertirse, pero el tejido revestido con ella repelerá el agua.

Y no es el grupo metilo el único que puede adherirse a las cadenas de silicio-oxígeno. Otros grupos contenedores de carbono pueden enlazarse con los átomos de silicio de tales cadenas. Por ejemplo, el «grupo etilo», compuesto por dos átomos de carbono y cinco de hidrógeno, puede utilizarse para tal fin.

Podríamos imaginar toda clase de grupos provistos de carbono sujetos a la cadena silicio-oxígeno, toda una serie de diferentes tipos, todos ellos complicados y cada uno ligado a la cadena por un sitio diferente.

Estas complicadísimas moléculas de silicona (que podemos construir fácilmente con la imaginación) serían el equivalente de las proteínas y de los ácidos nucleicos, aunque no imitarían necesariamente su estructura. No tenemos siliconas tan complicadas y, que yo sepa, nadie está tratando de fabricarlas, pero parece justo reconocer que podrían existir en teoría. Y si es así, pueden constituir la base de una especie de vida de silicio o, más propiamente, de vida de silicona.

Pero si la vida de silicona era posible, ¿por qué no se desarrolló en la Tierra junto a la vida de carbono? Aunque la vida de carbono fuese a la larga más eficiente y pudiese triunfar en una presunta competición, ¿no habría que suponer que la vida de silicona persistiese en pequeñas cantidades o en medios apartados donde, por alguna razón, podría resultar más adecuada que la vida de carbono?

Que nosotros sepamos, sin embargo, no existe ninguna huella de vida de silicona en ningún lugar de la Tierra, ni ha existido jamas.

Esto puede deberse a que la Tierra es demasiado fría para la vida de silicona. Si comparamos las moléculas de silicona con otras similares de la cadena del carbono, la única diferencia notable es la mayor estabilidad de las siliconas, su mayor resistencia al calor y al cambio químico; lo cual es magnifico, si es lo que pretendemos; pero si estamos tratando de la vida, *no* es lo que pretendemos. Pues para la vida no se pretende estabilidad, sino facilidad en el cambio químico, en el flujo y el reflujo constantes de electrones y átomos.

Si la vida significa cambio, las moléculas de silicona parecerían, a todos los niveles, menos vivas potencialmente que las cadenas de carbono.

También es posible que la Tierra sea demasiado acuosa para la vida a base de siliconas. Todos los cambios que caracterizan la vida se producen rápidamente y con delicada precisión, porque las moléculas de la vida están inmersas en un medio acuoso en el que pueden desarrollar fácilmente su interacción y en el que se disuelven algunas de ellas.

Como sabemos, la vida de carbono sólo es posible en presencia de agua (o de algún líquido con propiedades parecidas a las del agua, entre ellas, la posesión de moléculas polares; es decir, moléculas en que al menos pequeñas cargas eléctricas positivas y negativas están separadas asimétricamente).

En cambio, las siliconas tienden a no interaccionar con el agua ni con ningún líquido polar, sino a tenerla con líquidos no polares. Aunque se añadan a la cadena de silicona grupos de átomos que contengan carbono y actúen recíprocamente con el agua, el resultado será una molécula que tendrá menos interacción con el agua que la que tendría una molécula de cadena de carbono.

Si la vida implica interacción con el agua o con un líquido polar en general, las moléculas de silicona parecerán potencialmente menos vivas, a todos los niveles, que las cadenas de carbono.

Pero, ¿y si imaginamos un mundo que no sea frío y acuoso como la Tierra? Supongamos un mundo con una temperatura muy superior a la del punto de ebullición del agua. En tal caso, la temperatura puede ser lo bastante alta para activar las moléculas de silicona lo suficiente como para que sirvan de fundamento a la vida, y no habría agua que sostuviese la vida del carbono rival (en todo caso, el calor destruiría los compuestos de carbono demasiado activos).

Naturalmente, tendría que existir *algún* líquido en el que pudiesen disolverse las moléculas de silicona o con el que pudiesen actuar recíprocamente, y es posible que las siliconas lo proporcionasen también.

Siliconas relativamente simples podrían constituir líquidos no polares a elevadas temperaturas, digamos de 350° C, y en ellos podrían disolverse, o al menos dispersarse, las complicadas moléculas que serían los equivalentes en silicona de las proteínas y los ácidos nucleicos. Entonces podríamos tener una vida de silicona.

Podríamos imaginar, además, que las complejas siliconas fuesen elaboradas a expensas de la energía solar, sacándolas de la sílice añadida a compuestos simples de carbono, lo cual sería un equivalente a las fábricas de silicona. Una vez formadas, las siliconas complejas podrían, después de ser ingeridas por los equivalentes de los animales, sufrir la oxidación de sus porciones contenedoras de carbono para soltar energía química, dejando sílice sólida como producto de desecho. (Standley G. Weinbaum describió una situación algo parecida a ésta en su cuento *A Martian Odyssey*, en 1934.)

Sin embargo, podemos formular una objeción. Nos imaginamos las complicadas siliconas como poseedoras de cadenas laterales muy complejas a base de carbono. Cuanto más complejas sean, más sensibles serán, con toda seguridad, a las altas temperaturas. La cadena silicio-oxígeno tiene una influencia estabilizadora, pero, aun así, debe tener sus limites.

En definitiva, las cadenas laterales contenedoras de carbono serían incapaces de sobrevivir a altas temperaturas, y sospecho que esto nos llevaría a un punto en que difícilmente podríamos esperar que existiese la vida.

De todas formas, considerémoslo. Las intrincadas cadenas de carbono y anillos de carbono del tejido vivo tienen la mayor parte de sus enlaces ocupados por átomos de hidrógeno, de manera que los compuestos de la vida son, en cierta manera, «hidrocarburos» modificados. Ello es posible porque los átomos de hidrógeno son sumamente pequeños, y pueden tomar la mayor parte o todos los enlaces del carbono sin cerrarse el paso los unos a los otros. Sólo otro átomo es lo bastante pequeño para hacer esto, y es el del flúor. ¿Y si imagináse mos complicados compuestos de carbono que fuesen «fluorcarburos» modificados?

En realidad, el enlace carbon-flúor es más fuerte que el carbono-hidrógeno. Por consiguiente, los fluorcarbonos son más estables e inertes que los correspondientes hidrocarburos, y más capaces de soportar altas temperaturas.

Podríamos imaginar «fluorsiliconas» que fuesen más estables e inertes que las siliconas ordinarias y que pudiesen sobrevivir al calor requerido para sufrir los cambios que asociamos con la vida.

(Ésta no es una idea completamente nueva en mí. La mencioné, de pasada, en «Not as We Know It», en *View from* a *Height*, Doubleday, 1963.)

Ahora se presenta otra objeción. Las siliconas y las fluorsiliconas están constituidas por átomos de silicio, de oxígeno, de carbono, de hidrógeno y de flúor. En los planetas muy cálidos, donde las siliconas o las fluorsiliconas podrían constituir las bases de la vida, es muy probable que los átomos de carbono, de hidrógeno y de flúor sean rarísimos, si no virtualmente inexistentes. Estas moléculas tienden a existir como compuestos que se funden y evaporan fácilmente, y los mundos muy cálidos y pequeños (como habría que esperar que fuesen) no serían capaces de retenerlos con sus débiles campos gravitatorios.

La Luna, que alcanza temperaturas bastante altas en su día de dos semanas, es muy pobre en estos átomos volátiles, y podemos asegurar que lo propio ocurre también en el aún más cálido Mercurio.

Venus tiene masa suficiente para retener una espesa atmósfera, que contiene numerosos átomos de carbono en sus moléculas de dióxido de carbono, y una menor cantidad de átomos de hidrógeno en sus moléculas de agua. Es concebible que también estén presentes átomos de flúor.

Y, sin embargo, ¿permiten las condiciones de Venus que aquellas siliconas se produzcan naturalmente, incluso dada la existencia de las materias primas? Yo creo, casi con certeza, que no. Sospecho que sería sumamente difícil imaginar un planeta con la clase de química que permitiese que las siliconas o las fluorsiliconas se formasen espontáneamente y pudiesen evolucionar con la complejidad necesaria para producir vida.

Sin embargo, aunque he empleado tres capítulos para demostrar que los átomos de silicio no sirven de base para una vida como la del carbono, lo cierto es que una forma de vida de silicio se está desarrollando actualmente aquí en la Tierra.

Pero esta vida no se parece a nada de lo que he comentado hasta aquí; por consiguiente, en el próximo capítulo trataré todo el asunto partiendo de un punto de vista completamente nuevo.

VIII
EN DEFINITIVA, LA VIDA DEL SILICIO

Toda ocupación tiene sus albures; y mi situación particular en el mundo literario incluye el riesgo de adquirir fama de omnisciente. Siempre me encuentro al borde de que la gente se imagine que lo sé todo.

Niego esta acusación, con vergonzoso fervor, siempre que tengo oportunidad de hacerlo. En realidad, he adquirido la costumbre de terminar todos mis discursos con una frase rutinaria cuando llega el momento de responder a las preguntas del público. Digo: «Pueden preguntarme todo lo que quieran, pues les podré contestar a todo, siempre que "No lo sé" sea considerado como una respuesta.»

¿Sirve esto de algo? No.

En el número del 24 de mayo de 1982 de la revista *New York*, se publicaron respuestas para el «Concurso 44», consistente en que los lectores presentasen citas consideradas humorísticamente impropias de las «personas famosas » a quienes se atribuían. Una de las honrosas menciones fue: «"No lo sé" -Isaac Asimov.»

Estoy seguro de que mis ensayos científicos son un factor importante de aquella mala interpretación; pero nada puedo hacerle. No tengo intención de interrumpir estos ensayos por cualquier razón que no sea mi muerte.

Partamos de la noción de que una corriente eléctrica viaja fácilmente a través de algunas sustancias, pero no de otras. La sustancia que transporta fácilmente una corriente eléctrica se denomina «conductor eléctrico» o, simplemente, «conductor». La sustancia que no conduce bien una corriente es, casi inevitablemente, un «no conductor».

No todos los conductores transmiten una corriente eléctrica con la misma facilidad. Toda sustancia particular ofrece cierta resistencia al paso de la corriente, y, cuanto mayor es la resistencia, menos apropiado es el conductor.

Aunque manejemos una sola sustancia, en forma de alambre, podemos esperar que existan diferentes resistencias en diferentes circunstancias. Cuanto más largo sea el alambre, mayor será la resistencia; cuanto más pequeño sea el grueso del alambre, tanto mayor será también la resistencia. (Esto podría aplicarse normalmente a la más conocida situación del agua que pasa por una tubería; por tanto, no debe sorprendernos.)

Supongamos, empero, que comparamos las resistencias de diferentes sustancias, todas ellas en forma de alambre de la misma longitud y grosor, y conservadas a 0° C. Cualquier diferencia en la resistencia tendrá que ser debida, por entero, a las propiedades intrínsecas de la sustancia. Será la «resistencia» propia de la sustancia, y cuanto más baja, mejor será el conductor.

La resistencia se mide en «ohmios»; el significado exacto de la palabra no nos interesa ahora, y no voy a repetirlo. Sólo daré las cifras.

La plata es el mejor conductor que se conoce, y tiene la resistencia más baja: 0,0000000152, o sea, $1{,}52 \times 10^{-8}$. Le sigue el cobre, con una resistencia de $1{,}54 \times 10^{-8}$. El cobre tiene una resistencia de poco más del 1% superior a la de la plata, y es considerablemente más barato; por ello, si quitáis la cubierta aislante de los cables que se emplean en las instalaciones eléctricas, encontraréis que son de cobre y no de plata.

En tercer lugar está el oro, con una resistencia de $2{,}27 \times 10^{-8}$ (el elevado coste impide su uso), y en cuarto lugar está el aluminio, con $2{,}63 \times 10^{-8}$.

El aluminio tiene una resistencia, aproximadamente, el 70% más alta que el cobre, pero es tan barato, que es el metal preferido para la transmisión de electricidad a larga distancia. Haciendo más gruesos los alambres de aluminio, su resistencia será menor que la de los acostumbrados finos cables de cobre; y, sin embargo, el aluminio es mucho menos denso que el cobre, de modo que los cables gruesos de aluminio tendrán una masa menor que los cables finos de cobre. De hecho, masa por masa, el aluminio es el mejor conductor.

La mayor parte de los metales son bastante buenos conductores. Incluso el nicromo, aleación de níquel, hierro y cromo, con una elevada resistencia, desacostumbrada en los metales, la tiene sólo de 1×10^{-6}. Esta resistencia es 65 veces mayor que la del cobre, y hace que el cable de nicromo sea muy adecuado para tostadoras y elementos de calefacción en general. La corriente eléctrica, al abrirse paso a través del nicromo, lo calienta mucho más que a un cable de cobre de tamaño equivalente, pues el efecto de calor crece con la resistencia, según es lógico pensar.

La razón de que los metales conduzcan la electricidad relativamente bien es que, en cada átomo del metal, hay generalmente uno o dos electrones, localizados a mucha distancia de los bordes atómicos y, por tanto, son flojamente retenidos. Estos electrones pueden pasar fácilmente de átomo en átomo, y es esto lo que facilita el paso de la corriente eléctrica.

(El movimiento de los electrones no es igual que el de la corriente eléctrica. Los electrones se mueven con bastante lentitud, pero el impulso eléctrico facilitado por su movimiento viaja a lo largo del cable a la velocidad de la luz.)

En sustancias donde todos los electrones son firmemente mantenidos en su sitio, de modo que hay escasos o ningún paso de un átomo a otro, la corriente eléctrica fluye muy poco. La sustancia es no conductora, y su resistencia es alta.

La madera de arce tiene una resistencia de 3×10^8; el cristal, aproximadamente de 1×10^{12}, el azufre, aproximadamente de 1×10^{15}, y el cuarzo, de alrededor de 5×10^{17}. Estos son los no conductores destacables.

El cuarzo tiene 33 billones de billones de veces la resistencia de la plata, de modo que si un filamento de cuarzo y un alambre de plata, de igual longitud y grosor, se conectasen a la misma fuente de electricidad, la cantidad de corriente que pasaría a través de la plata en una unidad de tiempo dada sería 33 billones de billones de veces mayor que la que pasaría a través del cuarzo.

Naturalmente, hay sustancias de capacidad intermedia para conducir una corriente eléctrica. El germanio tiene una resistencia de 2, y el silicio, de 30.000.

El silicio tiene una resistencia dos billones de veces mayor que la de la plata. Por su parte, el cuarzo, la tiene dieciséis billones de veces mayor que la del silicio.

El silicio (que fue objeto de mis tres últimos capítulos) tiene, por consiguiente, una resistencia que está a medio camino entre los extremos de los conductores y los no conductores. Es un ejemplo de «semiconductor».

En uno de los capítulos anteriores expliqué que, de los catorce electrones del átomo de silicio, cuatro estaban en los bordes y adheridos con menos firmeza que los otros. Sin embargo, en un cristal de silicio cada uno de los cuatro electrones exteriores de un átomo de dicho elemento está emparejado con uno de los cuatro exteriores de un átomo vecino, y la pareja queda más firmemente sujeta entre los dos vecinos de lo que lo estaría un electrón solitario. Por ello, el silicio es, en el mejor de los casos, un semiconductor.

La propiedad de semiconducción se halla en su grado mínimo si todos los átomos de silicio están perfectamente alineados en un conjunto tridimensional, de modo que los electrones queden firmemente sujetos. Sin embargo, lo más probable es que en el Universo, los cristales tengan imperfecciones, de manera que, en alguna parte, un átomo de silicio no tiene un vecino adecuadamente colocado, y uno de sus electrones queda suelto. Este electrón ocasional aumenta el poder conductor del silicio, y contribuye desproporcionadamente a sus propiedades semiconductoras.

Si deseáis que una corriente eléctrica pase a través de silicio con razonable facilidad, podéis conseguirlo añadiéndole unos pocos electrones suplementarios. Una manera fácil de hacerlo es añadir deliberadamente al silicio una impureza adecuada, por ejemplo, arsénico.

Cada átomo de arsénico tiene 33 electrones, divididos en cuatro capas. La capa interior contiene dos electrones; la siguiente, ocho; la siguiente, dieciocho, y la exterior, cinco. Estos cinco electrones exteriores son los que están menos fuertemente unidos.

Cuando se añade arsénico al silicio, los átomos de aquél tienden a ocupar su sitio en el enrejado, colocándose cada uno en una posición casual donde, de haber sido puro el silicio, habría estado un átomo de éste. Cuatro de los electrones exteriores del átomo de arsénico se emparejan con los átomos vecinos; pero, desde luego, el quinto no puede hacerlo. Permanece suelto y a la deriva.

Puede que consiga encontrar un sitio acá o allá, pero sólo a costa de desplazar a otros electrones, quienes serán entonces los que vayan a la deriva. Si un extremo de aquel cristal se sujeta al polo negativo de una batería y el otro a un polo positivo, los electrones sueltos —todos, con carga negativa— tenderán a apartarse del polo negativo y a acercarse al positivo. Este cristal impuro de silicio es un «semiconductor de tipo n»; la n significa «negativo», pues negativa es la carga de los electrones que van a la deriva.

Pero supongamos que lo que se ha añadido al silicio es una pequeña impureza de boro. Cada átomo de boro tiene cinco electrones, dos en la capa inferior y tres en la exterior.

Los átomos de boro se alinean con los átomos de silicio, y cada uno de los tres electrones exteriores se empareja con un electrón de los vecinos de silicio. No hay un cuarto electrón, y en su lugar existe un «vacío».

Si se sujeta este cristal a los polos negativo y positivo de una batería, los electrones tienden a moverse, cuando pueden, alejándose del polo negativo y acercándose al positivo. Esta tendencia sirve de poco porque, generalmente, los electrones no tienen adónde ir; pero si un electrón encuentra un vacío entre él mismo y el polo positivo, avanza para llenarlo y, desde luego, deja un vacío en el sitio donde estaba. Otro electrón llena este vacío, llegando otro en su lugar, y así sucesivamente.

Al rellenar los electrones el vacío por turno, moviéndose cada uno en dirección al polo positivo, el vacío se mueve regularmente en la otra dirección, hacia el polo negativo. De esta manera, el vacío actúa como si fuese una partícula con carga positiva, y por ello este tipo de cristal se llama «semiconductor de tipo p, donde p significa «positivo».

Si un semiconductor de tipo *n* se sujeta a una fuente de corriente alterna, los electrones sobrantes se mueven en una dirección y después en la contraria, para volver a hacerlo después en la primera, y así sucesivamente, al cambiar sin cesar de dirección la corriente. Lo propio ocurre, con los vacíos avanzando y retrocediendo, si se trata de un semiconductor de tipo p.

Pero supongamos que tenemos un cristal de silicio con una impureza de arsénico en un extremo y una impureza de boro en el otro. La mitad es de tipo *n*, y la otra mitad, de tipo p.

Imaginemos ahora que la mitad de tipo *n* está conectada al polo negativo de una batería de corriente continua, mientras que la mitad de tipo p está conectada al polo positivo. Los electrones sobrantes en la mitad de tipo *n* se apartarán del polo negativo y se moverán hacia el centro del cristal. Los vacíos de la mitad de tipo p se alejarán del polo positivo y se moverán hacia el centro del cristal.

En el centro del cristal, los electrones sobrantes llenarán los vacíos y las dos imperfecciones se compensarán; pero se añadirán nuevos electrones en el extremo *n* del cristal, y se formarán nuevos vacíos en el extremo p, al alejarse los electrones. Y la corriente seguirá pasando indefinidamente.

Supongamos que el extremo *n* del semiconductor está conectado al polo positivo de una batería de corriente continua, y que el extremo p está conectado al polo negativo. Los electrones del extremo *n* son atraídos hacia el polo positivo al que está conectado el extremo, y se mueven hacia el borde del cristal, alejándose del centro. Los vacíos en el extremo p son atraídos hacia el polo negativo, y también se alejan del centro. Todos los electrones y los vacíos se mueven hacia los extremos opuestos, dejando libre de ambos el cuerpo principal del semiconductor, de modo que la corriente eléctrica no puede pasar por él.

Por tanto, una corriente eléctrica puede pasar a través de un semiconductor en ambas direcciones, siempre que éste sea totalmente *n* o p. En cambio, si el semiconductor es *n* en un extremo y p en el otro, la corriente eléctrica puede pasar en una dirección, *pero no en la otra*. Este semiconductor permitirá que pase sólo la mitad de una corriente alterna. Una corriente puede entrar como alterna en tal semiconductor, pero saldrá como continua. El semiconductor que es *n* en un extremo y p en el otro es un «rectificador»

Examinemos ahora un semiconductor que tenga tres regiones: un extremo izquierdo *n*, una región p y un extremo derecho *n*.

Supongamos que el polo negativo de una batería se conecta a un extremo *n* y que el polo positivo se conecta al otro extremo, también *n*. El centro, p, es conectado a una segunda batería, de manera que son mantenidos allí los vacíos.

El polo negativo empuja los electrones sobrantes del extremo *n*, al que está conectado, hacia el centro p. El centro p atrae a estos electrones y favorece la corriente.

En el otro extremo, el polo positivo atrae el sobrante de electrones del extremo *n* al que está conectado. El centro p atrae, empero, también a estos electrones, y detiene la corriente en esta mitad del cristal.

Así, pues, el centro p acelera el flujo de electrones en una de sus mitades, pero lo impide en la otra. El flujo total de la corriente puede modificarse intensamente si se cambia el volumen de la carga positiva de la sección central.

Una pequeña alteración en la carga del centro p dará por resultado una gran alteración en el flujo total a través del semiconductor, y, si se hace fluctuar la carga del centro, se impone una fluctuación similar, pero mucho más importante, al semiconductor en su conjunto. Este semiconductor es un «amplificador».

Este semiconductor de tres partes fue elaborado en 1948, y, como transmitía una corriente a través de un material resistor (es decir, que normalmente posee mucha resistencia), el nuevo ingenio fue llamado «transistor». Este nombre le fue dado por John R. Pierce (1910-), más conocido por los aficionados a la ciencia-ficción por los relatos fantásticos que ha escrito bajo el seudónimo de J. J. *Coupling*.

Los rectificadores y los amplificadores no son unos extraños en la industria electrónica. De hecho, las radios, los tocadiscos, los aparatos de televisión, las computadoras y otros ingenios semejantes dependen muchísimo de ellos.

Desde 1920 hasta 1950, los rectificadores y los amplificadores significaron la manipulación de torrentes de electrones obligados a pasar a través de un vacío.

En 1883, el inventor norteamericano Thomas Alva Edison (1847-1931) estudiaba la manera de hacer que los filamentos de las bombillas que había inventado durasen más. Trató de incluir un filamento de metal frío junto al incandescente de la bombilla en la que se había hecho el vacío. Observó que fluía una corriente eléctrica entre el filamento caliente y el frío.

En 1900, un físico británico, Owen W. Richardson (1879-1959), demostró que, cuando se calentaba un hilo metálico, había electrones que tendían a escaparse de él en una especie de evaporación subatómica, y que esto explicaba el «efecto Edison». (En los tiempos de la observación de Edison, los electrones no habían sido todavía descubiertos.)

En 1904, el ingeniero eléctrico inglés John A. Fleming (1849-1945) experimentó con un filamento rodeado de una pieza cilíndrica de metal llamada «placa», e introducido todo ello en un contenedor en el que había hecho el vacío. Cuando el filamento estaba conectado al polo negativo de una batería, pasaban electrones a través de él; y después cruzaban el vacío y se introducían en la placa, pasando así una corriente eléctrica a través del sistema. Desde luego, el filamento desprendía electrones con más facilidad cuanto más se calentaba, y por ello, Fleming tenía que esperar algún tiempo a que se calentase el filamento bajo la presión de los electrones antes de expulsarlos en cantidades lo bastante grandes para producir una corriente apreciable.

Pero si el filamento era conectado al polo positivo de una batería, los electrones eran extraídos del filamento y no había sitio alguno del que obtener sustitutos. No podían ser absorbidos a través de la batería desde una placa que estaba demasiado fría para soltarlos. Dicho de otra manera: la corriente sólo podía pasar en una dirección a través del sistema, que era, por consiguiente, un rectificador.

Fleming llamó «válvula» a este aparato, ya que podía, en cierto sentido, abrirse o cerrarse, permitiendo o impidiendo el flujo de electrones. Sin embargo, en los Estados Unidos se les llamó «tubos», porque eran cilindros huecos, y, como se les conoció sobre todo por su empleo en los aparatos de radio, se les llamó también «tubos de radio».

En 1907, el inventor norteamericano Lee de Forest (1873-1961) incluyó un tercer elemento metálico (la «parrilla») entre el filamento y la placa. Si se colocaba una carga positiva en aquella parrilla, el tamaño de la carga producía un efecto desproporcionado en el flujo de electrones entre el filamento y la placa, y el aparato se convertía en un amplificador.

Los tubos de radio funcionaron magníficamente en el control del flujo de electrones, pero tenían pequeños defectos.

Por ejemplo, debían ser bastante grandes, ya que en el espacio vacío tenían que estar encerrados el filamento, la parrilla y la placa, con la suficiente separación como para que los electrones no saltasen hasta ser incitados a hacerlo. Esto quería decir que eran relativamente caros, ya que requerían un material considerable y, además, tenía que hacerse el vacío en ellos.

Como los tubos eran grandes, cualquier aparato que los utilizase tenía que ser también voluminoso y, desde luego, no podía hacerse más pequeño que los tubos que tenía que albergar. Al complicarse más y más los aparatos, se necesitaron más y más tubos (destinado cada uno a cumplir una misión especial), y el volumen se hizo aún más pronunciado.

Las primeras computadoras electrónicas tuvieron que emplear miles de tubos de radio y, por consiguiente, eran enormes.

Además, los tubos eran frágiles, ya que el cristal se rompe con facilidad. También eran de corta duración, ya que la menor grieta daba al traste con el vacío, y, si de momento no había ninguna, seguramente se producía alguna con el tiempo. Peor aún, como los filamentos debían estar a altas temperaturas durante todo el tiempo en que funcionaban los tubos, a la larga se rompían.

(Recuerdo cuando, a principios de los años cincuenta, tuve mi primer aparato de televisión y necesité lo que podría llamar un reparador «en casa». Me horrorizaba pensar el escaso tiempo que podría aguantar una computadora sin que se estropease alguno de sus tubos.)

Y esto no es todo. Debido a las altas temperaturas requeridas, se producía un gran consumo de energía. Más aún: como el aparato no funcionaba hasta que el filamento había alcanzado dicha temperatura, se producía siempre un irritante período de «calentamiento». (Todos los que hemos pasado de la primera juventud, lo recordamos muy bien.)

El transistor y sus inventos aliados cambiaron todo esto, corrigiendo cada una de las deficiencias indicadas, sin introducir otras nuevas. (Desde luego, tuvimos que esperar algunos años después de la invención del transistor, en 1948, hasta que se descubrieron técnicas para producir materiales de la pureza necesaria, y que fuesen lo bastante precisos para «combatir» las impurezas añadidas, y hacerlo todo con una eficacia y garantía capaces de mantener los precios bajos.)

Una vez desarrolladas las técnicas necesarias, los transistores pudieron remplazar a los tubos y, para empezar, desapareció el vacío. Los transistores eran totalmente sólidos, de modo que se les pudo llamar, junto a toda una familia de artículos similares, «dispositivos de estado sólido».

Así desaparecieron la fragilidad y la posibilidad de grietas. Los transistores eran mucho más resistentes de lo que podían ser los tubos al vacío, y estaban mucho menos expuestos a fallar.

Más aún, los transistores podían funcionar a la temperatura ambiente, de modo que consumían mucha menos energía y no requerían un período de calentamiento.

Pero lo más importante era que, por no exigir el vacío, no tenían que ser voluminosos. Los pequeños transistores funcionaban perfectamente, aunque hubiese sólo una distancia de una pequeñísima fracción de centímetro entre las regiones *n* y las p, ya que el volumen del material era un no conductor mucho más eficaz que el vacío.

Esto significaba que cada tubo vacío podía ser sustituido por un dispositivo de estado sólido muchísimo más pequeño. Esto fue generalmente comprendido cuando las computadoras fueron «transistorizadas», término rápidamente sustituido por el más espectacular de «miniaturizadas».

Las computadoras menguaron de tamaño, y lo propio hicieron los aparatos de radio. Ahora podemos llevar radios y computadoras en el bolsillo.

Los aparatos de televisión podrían ser también miniaturizados, pero no nos conviene reducir los tubos de la imagen. El mismo deseo limita las posibilidades de reducción de las procesadoras de palabras y de otras formas de pantallas de televisión computerizadas.

En el último cuarto de siglo, el principal perfeccionamiento de las computadoras se ha logrado en el sentido de hacer los dispositivos de estado sólido cada vez más pequeños, empleando conexiones cada vez más delicadas y montando transistores individuales que son, literalmente, de tamaño microscópico.

En los años setenta empezó a usarse el «microchip», diminuto cuadro de silicio, de un par de milímetros de lado, sobre el que rayos de electrones podían grabar miles de circuitos eléctricos controlados.

El microchip es el que ha hecho posible comprimir en una caja diminuta capacidades enormemente versátiles. Gracias a él, las computadoras de bolsillo no sólo son de tamaño muy pequeño, sino que pueden hacer muchas más cosas que las gigantescas computadoras de hace una generación, aparte su coste, que es casi nulo, y de que, virtualmente, no necesitan ser reparadas.

El microchip ha hecho también posible el robot industrial. Incluso la más sencilla acción humana, siempre que requiera un juicio, es tan compleja que sería imposible que una máquina la hiciese sin incluir alguna especie de sustituto de aquel juicio.

Supongamos, por ejemplo, que tratamos de construir una máquina que realice la labor de apretar tuercas (la misma labor que volvió loco a Charlie Chaplin en la película *Tiempos modernos*, simplemente porque el trabajo era demasiado vulgar y reiterado para que la mente humana pudiese aguantarlo mucho tiempo).

La tarea parece tan sencilla que hasta un cerebro humano de capacidad inferior a la media podría realizarla sin pensar. Pero considerémoslo más despacio...

Hay que fijarse en dónde está la tuerca; alcanzarla rápidamente; colocar una llave sobre ella con la orientación debida; hacerla girar de prisa y apretar debidamente; comprobar, mientras tanto, que el tornillo está en la adecuada posición, y corregirla si no es así; ver si la tuerca tiene algún defecto y, en tal caso, cambiarla; etcétera.

Si hubiésemos tratado de construir un brazo artificial con las aptitudes necesarias para reproducir todas las cosas que hace un ser humano, sin darse cuenta de la dificultad de la tarea que realiza, habríamos terminado (antes de 1970) con un aparato nada práctico, increíblemente voluminoso y caro..., si hubiésemos logrado hacerlo.

Sin embargo, con el advenimiento del microchip, todos los detalles de juicio necesarios pudieron hacerse lo bastante completos y baratos como para producir robots industriales útiles.

Indudablemente, podemos esperar que continúe esta tendencia. Las personas que trabajan hoy en robots concentran principalmente su atención en dos direcciones: proveerlas de un equivalente de la visión y hacer posible que respondan a la voz humana y hablen a su vez.

Un robot que pueda ver, oír y hablar, representará un paso gigantesco en la tarea de hacer que parezca «vivo» e «inteligente».

Además, está claro que lo único que puede hacer que un robot parezca vivo e inteligente es el microchip. Sin los dispositivos de estado sólido que le proporcionan sus capacidades y un sentido de juicio, un robot no sería más que un intrincado montón de metal, cables, aislantes, etcétera

¿Y qué es, en esencia, un microchip? Silicio ligeramente impuro, como el cerebro humano es, en esencia, carbono ligeramente impuro.

Creo que nos estamos encaminando hacia una sociedad compuesta por dos tipos amplios de inteligencia, de calidad tan diferente que no podrá haber competencia entre ellos en sentido estricto, sino que se complementarán recíprocamente. Tendremos seres humanos con cerebro a base de carbono, y robots con cerebro a base de silicio. En términos más generales, tendremos la vida del carbono y la vida del silicio.

Desde luego, la vida del silicio será de creación humana y constituirá lo que llamamos «inteligencia artificial», pero, ¿qué importará esto?

Aunque no es posible que llegue a evolucionar en cualquier parte del Universo lo que imaginamos como vida natural a base de silicio, habrá, de todas maneras, una vida del silicio.

Y si nos paramos a pensar en ello, veremos que la vida del silicio será tan natural como la del carbono, aunque sea «manufacturada». A fin de cuentas, se puede «evolucionar» de más de una manera.

Si a nosotros puede parecernos que toda la función del Universo fue hacer que evolucionase la vida del carbono, a un robot podría muy bien parecerle que toda la función de la vida del carbono fue desarrollar, a su vez, una especie capaz de inventar la vida del silicio. Así como nosotros consideramos que la vida del carbono es infinitamente superior al Universo inanimado del que nació, un robot podría argüir que...

Pero dejemos esto; ya traté este punto en mi cuento *Reason*, escrito hace casi medio siglo.

ASTRONOMIA
IX
LA LARGA ELIPSE

Me casé con Janet el 30 de noviembre de 1973 y, un par de semanas más tarde, nos embarcamos en lo más parecido a una formal luna de miel. Realizamos un crucero de tres días en el *Queen Elizabeth II*, para ver el cometa Kohoutek.

Pero sucedió que el cielo estaba tapado y llovió continuamente, de modo que no vimos nada. Pero tampoco lo habríamos visto aunque el cielo hubiese estado despejado, pues el cometa incumplió su promesa y nunca brilló lo bastante como para ser advertido a simple vista. De todas formas no me importó. Dadas las circunstancias, lo pasamos muy bien de todos modos.

El propio Kohoutek estaba a bordo y tenía que dar una conferencia. Janet y yo entramos en el teatro con todos los demás.

Janet comentó:

— Es estupendo hacer un viaje en el que *tú* no tengas que trabajar ni pronunciar discursos y podamos limitarnos a escuchar sentados.

Pero apenas había acabado de decir esto cuando el maestro de ceremonias dio la desagradable noticia de que, a fin de cuentas, no oiríamos a Kohoutek, porque estaba indispuesto y no podía salir de su camarote.

Un suave murmullo de contrariedad surgió del público, y Janet —que tiene un corazón más blando que la mantequilla— se compadeció de todos los presentes. Se puso en pie de un salto y gritó:

— Si ustedes lo desean, mi esposo, Isaac Asimov, puede hablarles de los cometas.

Me horroricé, pero el público parecía dispuesto a escuchar algo en vez de nada y, en un abrir y cerrar de ojos, me encontré en el escenario, recibido con aplausos de bienvenida. Improvisé rápidamente una charla sobre los cometas y, después, le dije a Janet:

— Creí que habías dicho que era estupendo hacer un viaje en el que yo *no* tuviese que hablar.

— Si eres tú quien se ofrece a hacerlo, es distinto —me explicó.

Nos acercamos al momento en que el cometa de Halley [10], o, como suele decirse ahora, el cometa Halley, volverá a aparecer en el cielo. Debido a la posición relativa del cometa y la Tierra cuando pasó aquél, su aparición no será muy espectacular; pero creo que, a pesar de ello, merece un ensayo.

El cometa Halley es, por muchas razones, el más famoso de todos.

Ha estado apareciendo sobre el cielo de la Tierra cada setenta y cinco o setenta y seis años, durante un período de tiempo indefinido, pero con toda certeza desde 467 a. de J.C., en que fue registrado y descrito por primera vez. Designemos esta aparición como la n°. 1.

No todas las apariciones posteriores fueron registradas. Por ejemplo, la 2da (391 a. de J.C.) y la 3ra (315 a. de J.C.) están en blanco.

La primera aparición notable fue la 7ma (11 a. de J.C.), pues es posible que Jesús de Nazaret naciese en aquel tiempo o poco después. Por consiguiente, alguien ha sugerido que fue el cometa Halley el que dio origen a la tradición de la «Estrella de Belén».

Los cometas fueron considerados, generalmente, como prenuncios de desastres, y, cuando aparecía uno en el cielo, todo el mundo estaba seguro de que algo terrible iba a suceder. Y no se veían defraudados, porque siempre ocurría algo terrible. Desde luego, siempre ocurre algo terrible, aunque no haya ningún cometa en el cielo, pero nadie prestaba atención a esto. Prestársela habría sido algo racional, y, ¿quién quiere ser racional?

[10] Por favor, pronuncian la «a» breve. Oigo a demasiadas personas pronunciándola larga, como si el nombre fuese «Haley»; un barbarismo insoportable.

La clase de desastre augurado por un cometa solía ser la muerte de algún caudillo reinante (aunque, habida cuenta del carácter y de las virtudes de la mayoría de los caudillos, sigue siendo un misterio por qué se consideraba aquello tan desastroso).

Así, en el *Julio César* de Shakespeare, Calpurnia advierte a César de los malos presagios del cielo, y le dice:

Si muere un pordiosero, no hay cometas;
el cielo brilla cuando muere un príncipe.

En el año 837 de nuestra Era, Ludovico Pío gobernaba el Imperio franco. Era un emperador bien intencionado, pero incompetente por completo, cuyo reinado fue un desastre, a pesar de ser hijo de Carlomagno. Tenía entonces cincuenta y ocho años de edad, y llevaba reinando veinticinco. Dado el promedio de vida de aquella época, nadie se habría sorprendido caso de fallecer entonces de muerte natural.

Sin embargo, aquel año hizo su aparición 18° el cometa Halley, y todo el mundo creyó que la muerte de Ludovico era inminente. En realidad, murió al cabo de cuatro años, pero esto fue considerado como una confirmación del presagio del cometa.

La aparición 21° se produjo en 1066, precisamente cuando Guillermo de Normandía se preparaba para invadir Inglaterra y Harold de Wessex se disponía a rechazar la invasión. Era una situación en la que el cometa no podía perder. Sería desastre para un bando o para el otro. Como todos sabemos, el desastre fue para Harold, que murió en la batalla de Hastings. Guillermo conquistó Inglaterra y estableció un linaje de monarcas que han permanecido desde entonces en el trono, por lo cual el cometa no fue ningún desastre para él ni para su estirpe.

La aparición 26° se produjo en 1456, y el cometa Halley demostró su habilidad de predecir retrospectivamente. Los turcos otomanos habían tomado Constantinopla en 1453, y esto fue tal vez considerado como una catástrofe que amenazaba a toda la cristiandad (aunque, por aquel entonces, Constantinopla no era más que una sombra de lo que había sido antaño, y su pérdida sólo tenía un valor simbólico).

No obstante, la caída de Constantinopla no pareció un desastre *oficial* hasta que apareció el cometa. *Entonces* se produjo el pánico, y se produjo un incesante toque de campanas y rezo de oraciones.

La siguiente aparición, la 27°, se produjo en 1532, cuando, por primera vez, fue saludado por algo más que gritos de pánico. Un astrólogo italiano, Girolamo Fracastoro (1483-1553), y un astrónomo austríaco, Peter Apiano (1495-1552) advirtieron que la cola del cometa apuntaba en dirección contraria al Sol. Cuando pasó por delante de éste, la cola cambió de dirección, pero *siguió* apuntando en dirección contraria al Sol. Fue la primera observación científica que consta en relación con los cometas.

La aparición 29° se produjo en 1682, y fue entonces observada por un joven astrónomo inglés, Edmund Halley (1656-1742). Halley, que era buen amigo de Isaac Newton (1642-1727), estaba empeñado en persuadir a éste de que escribiese un libro que sistematizase sus nociones. Cuando la Real Academia se mostró reacia a publicar el volumen —el libro científico más grande que jamás se había escrito—, sólo porque era probable que causase controversias, Halley lo publicó por su cuenta en 1687. (Se dio el caso de que había heredado dinero en 1684, al morir su padre asesinado.)

El libro de Newton contenía, entre otras cosas, su ley de la gravitación universal, que explicaba los movimientos de los planetas alrededor del Sol y los de los satélites alrededor de los planetas.

¿No podían explicar también el movimiento de los cometas, y sus aparentemente imprevisibles y erráticas apariciones, y eliminar de una vez y para siempre los estúpidos e infundados pánicos engendrados por tales apariciones?

Halley siguió cuidadosamente el curso tomado en el cielo por el corneta de 1682, y lo comparó con los seguidos por otros cometas, según las informaciones que se habían conservado. En 1705 había establecido el curso de unas dos docenas de cometas, y le llamó la atención el hecho de que los de 1456, 1532, 1607 y 1682 hubiesen seguido aproximadamente el mismo curso y aparecido a intervalos de unos setenta y cinco años.

Por primera vez, a alguien se le ocurrió pensar que los diferentes cometas podían ser, en realidad, distintas apariciones periódicas del mismo corneta. Halley sugirió esto con referencia a aquellos cometas: que era uno solo y seguía una órbita fija alrededor del Sol, y volvería a aparecer en 1758.

Aunque Halley vivió hasta la avanzada edad de ochenta y seis años, no pudo ver si su predicción era confirmada o no, y tuvo que soportar bromas muy pesadas por parte de aquellos que pensaban que tratar de predecir la llegada de los cometas era una pretensión risible. Como ejemplo, el escritor satírico Jonathan Swift incluyó unas cuantas bromas crueles sobre este tema en la tercera parte de *Los viajes de Gulliver*.

Pero Halley tenía razón. El día de Navidad de 1758, pudo verse un corneta que se acercaba y, a primeros de 1759, resplandeció sobre el cielo de la Tierra. A partir de entonces fue conocido como el cometa de Halley, o el cometa Halley, y ésta fue su aparición 30°.

La aparición 31° se produjo en 1835. Fue el año en que nació Samuel Langhorn Clemens *(Mark Twain)*. Al final de su vida, cuando los desastres familiares le habían quebrantado y sumido en la depresión y la amargura, dijo repetidamente que había venido al mundo con el cometa, y se marcharía con él. Acertó. El cometa resplandecía en el cielo cuando él nació y volvió a resplandecer, en su aparición 32°, cuando murió, en 1910.

Podríais pensar que, una vez establecida la órbita de al menos algunos cometas, y demostrado que sus apariciones son respuesta automática a las exactas predicciones de la ley de la gravedad, los cometas fueron considerados generalmente con serenidad, con admiración y no con miedo.

Pero no fue así. Resultó que los astrónomos pensaron que el cometa Halley se acercaría lo bastante a la Tierra para que ésta pasase a través de su cola, e inmediatamente un número increíble de almas sencillas puso el grito en el cielo creyendo que la Tierra sería destruida. Al menos —insistían— los gases nocivos de la cola del cometa envenenarían la atmósfera terrestre.

Y *había* gases nocivos en la cola del cometa, pero ésta era tan tenue, que un millón de kilómetros cúbicos de su cola contenía menos gases de los que brotan del tubo de escape de un automóvil que pasa por la calle.

Sin embargo, era inútil tratar de explicarlo, porque con ello se apelaba a aquella vieja y horrible condición de racionalidad. Además, los malos vientos soplan bien para algunos. Muchos truhanes emprendedores ganaron bonitas sumas vendiendo a los peatones «píldoras contra el cometa», diciéndoles que les protegería contra todos los efectos perniciosos del cometa. En cierto modo no hubo engaño, pues los que compraron las píldoras no sufrieron daño alguno a causa del cometa. (Naturalmente, tampoco lo sufrieron los que no lo hicieron.)

Ahora se acerca la aparición 33°, y estoy completamente convencido de que, antes de que llegue el cometa, se producirán las acostumbradas predicciones de que California será engullida por el mar, por lo cual muchas personas buscarán tierras más altas. (En el próximo capítulo estudiaré más sistemáticamente las apariciones del cometa Halley.)

Si un cometa, como el de Halley, gira alrededor del Sol obedeciendo la ley de la gravedad y completando una órbita cada setenta y cinco o setenta y seis años [11], ¿ por qué es sólo visible durante un corto período de aquel tiempo? Los planetas, en cambio, son visibles en todas sus órbitas.

En primer lugar, los planetas viajan alrededor del Sol en órbitas elípticas, casi circulares, de poca excentricidad. Esto significa que su distancia del Sol (y también de la Tierra) no varía demasiado al moverse a lo largo de sus órbitas. Si son visibles en parte de su órbita, lo serán también en toda ella.

En cambio, un cometa como el Halley se mueve en una elipse de gran excentricidad, casi en forma de cigarro. En un extremo de su órbita, está muy cerca del sol (y de la Tierra), mientras que en el otro está, ciertamente, muy lejos. Como es un cuerpo pequeño, incluso un excelente telescopio sólo lo descubrirá cuando esté en aquella parte de la órbita más próxima al Sol («perihelio»). Fuera de esta región se pierde completamente de vista.

Más aún, un cometa es un pequeño cuerpo helado que, al acercarse al Sol, se calienta. El hielo de la superficie se evapora, soltando un polvo fino que estaba atrapado en aquél. Por consiguiente, el pequeño cometa está rodeado de un gran volumen de polvo brumoso que brilla a la luz del Sol, y el viento solar barre este polvo formando una larga cola. Lo visible es, más que el propio cometa, este polvo, y sólo aparece cuando el cometa está cerca del perihelio. Al apartarse el cometa del Sol, se hiela de nuevo. El halo de polvo desaparece, y sólo queda un pequeño cuerpo sólido, totalmente invisible. (Un cometa que haya gastado todos o la mayor parte de sus gases en apariciones previas puede haber quedado reducido a un núcleo rocoso, y ser muy poco visible incluso en el perihelio.)

Por último, cualquier objeto en órbita se mueve más rápidamente cuanto más cerca está del cuerpo alrededor del cual gira. Por esta razón, un cometa se mueve con mucha más rapidez cuando está cerca del Sol y es visible, que cuando está lejos y no lo es. Esto significa que permanece cerca del Sol (y visible) por muy poco tiempo, y lejos del Sol (e invisible) por un largo tiempo.

Por todas estas razones el cometa Halley es perceptible a simple vista sólo durante una pequeña porción de su órbita de setenta y cinco años.

---

[11] Hay algunas variaciones en el intervalo de regreso, porque la influencia de las atracciones planetarias al pasar los cometas puede reducir o acelerar la velocidad de sus movimientos y, de este modo, variar un tanto sus órbitas. Hay ocasiones en que una mayor aproximación de un cometa a un planeta —en particular a Júpiter— puede cambiar radicalmente la órbita de aquél.

En su perihelio, el cometa Halley está a sólo 87.700.000 km del Sol. En este momento está más cerca del Sol que el planeta Venus. En su «afelio», cuando está más lejos del Sol, se halla a 5.280.000.000 km de éste, mucho más lejos que el planeta Neptuno. En tales condiciones, ¿cómo comparar la dimensión de una órbita cometaria con las de otros objetos que giran alrededor del Sol? Una simple enumeración de las distancias no es bastante, ya que éstas varían muchísimo en el caso de los cometas.

Podemos considerar las áreas encerradas por las órbitas. Entonces tendremos una noción de tamaño relativo, con independencia de la excentricidad.

Así, el área encerrada por la órbita de la Luna al girar ésta alrededor de la Tierra es de unos 456.000.000.000 km^2 y, para evitar los ceros, diremos que tal magnitud es igual a « 1 área orbital lunar» o «AOL».

Podemos comparar con éstas otras áreas orbitales de satélites. Por ejemplo, el satélite con un área orbital más pequeña al girar alrededor de su planeta es Fobos, el satélite interior de Marte. El área orbital de Fobos es igual a 0,0006 AOL.

El satélite con área orbital más grande es J-IX, el satélite más exterior de Júpiter. Su área orbital es de 59,5 AOL, o sea, unas 99.000 veces mayor que la de Fobos. Hay, pues, diferencias de cinco órdenes de magnitud entre los satélites.

Pero, ¿qué puede decirse acerca de las áreas orbitales planetarias?

La más pequeña conocida es la de Mercurio Su órbita delimita un área de casi exactamente 23.000 AOL, lo cual significa que el área orbital planetaria es 386 veces mayor que la del satélite más grande. Está claro que la AOL no es una unidad conveniente para las áreas orbitales planetarias.

La Tierra describe una órbita cuya área es igual a unos 70.000.000.000.000.000 km^2, de manera que un área orbital terrestre (AOT) es igual a poco más de 150.000 AOL.

Si empleamos el AOT como unidad, podemos fijar sin grandes dificultades las áreas orbitales de todos los planetas. Serían éstas:

Planeta	AOT
Mercurio	0,15
Venus	0,52
Tierra	1,00
Marte	2,32
Júpiter	27,00
Saturno	91,00
Urano	368,00
Neptuno	900,00
Plutón	1.560,00

Esto está bastante claro. Las áreas orbitales son, esencialmente, los cuadrados de las distancias relativas a que están los planetas del Sol.

Ahora bien, podemos abordar los cometas desde la misma base, teniendo en cuenta las excentricidades orbitales, que son demasiado grandes para prescindir de ellas en el caso de los

cometas. Consideremos, por ejemplo, el cometa Encke, que, de todos los conocidos, es el que tiene la órbita más pequeña.

En su perihelio, el cometa Encke está a sólo 50.600.000 km del Sol, bastante más cerca de éste que Mercurio en su distancia media. En el afelio está a 612.000.000 km del Sol, casi tan lejos de éste como Júpiter. Si calculamos el área orbital del corneta Encke, resulta ser de 2,61 AOT.

Dicho en otras palabras: el corneta Encke tiene un área orbital sólo ligeramente mayor que la de Marte. Aunque puede llegar a estar casi tan lejos del Sol como Júpiter, su órbita tiene la forma de un cigarro grueso en comparación con la circular de Júpiter, de modo que el área orbital del corneta Encke es sólo una décima parte de la de Júpiter.

¿Y qué podríamos decir del corneta Halley, que llega a estar tan cerca del Sol como Venus en un extremo de su órbita y más lejos que Neptuno en el otro?

Su área orbital resulta ser de 82,2 AOT, casi como la de Saturno.

Comparemos ahora las elipses. Toda elipse tiene un diámetro más largo, el «eje mayor», que va desde el perihelio al afelio pasando por el centro de la elipse. Tiene también el diámetro más corto, el «eje menor», que pasa por el centro en ángulos rectos con el eje mayor.

El eje mayor del corneta Halley tiene una longitud de 5.367.800.000 km, o sea, 8,1 veces más largo que el del corneta Encke (que tiene sólo 662.600.000 krn). El eje menor del corneta Halley es de 1.368.800.000 km, o sea, 3,9 veces más largo que el del corneta Encke (que tiene 352.500.000 krn de longitud). Adviértase que el eje mayor del corneta Halley es 3,92 veces más largo que su eje menor, mientras que el cometa Encke tiene un eje mayor que es sólo 1,88 veces más largo que el eje menor. Las proporciones de la órbita del primero son las de una elipse más alargada —un cigarro más largo y más delgado— que la del cometa Encke. Ésta es otra manera de decir que el corneta Halley tiene una excentricidad orbital mayor que la del cometa Encke. La excentricidad orbital del cometa Encke es de 0,847, mientras que la del corneta Halley es de 0,967.

Aunque el corneta Halley tiene una órbita que se estira hasta más allá de Neptuno, y a pesar de que necesita setenta y cinco años para girar alrededor del Sol, puede decirse que es un «cometa de periodo corto». Relativamente hablando, se acerca mucho al Sol y gira rápidamente a su alrededor.

Hay cometas que están mucho más lejos del Sol que el corneta Halley; cometas que están a distancias de un año luz o más del Sol y tardan un millón de años o más en completar una órbita. Todavía no hemos visto estos cometas tan lejanos, pero Tos astrónomos están razonablemente seguros de que existen (véase «Stepping Stones to the Stars», en *Fact and Fancy*, Doubleday, 1962).

Desde luego, ahora sabemos de un corneta que, sin contarse entre estos tan lejanos, tiene, ciertamente, una órbita mucho más grande que la del corneta Halley.

Es el corneta Kohoutek. Puede que se trate del «cometa que fracasó», porque nunca llegó a ser tan brillante como los astrónomos habían supuesto al principio; pero, en cierto modo, esto no fue culpa de los astrónomos. El cometa Kohoutek había sido observado acercándose (por Kohoutek, cuyo lugar había ocupado yo en la tribuna del *QE 2)*, mientras estaba todavía más

allá de Júpiter, lo cual indicaba que era un cometa grande. Hasta entonces no se había visto ningún otro a tal distancia.

Si la composición del corneta Kohoutek hubiese sido similar a la del Halley —en su mayor parte material helado—, habría formado una enorme nebulosidad que se habría alargado en una cola formidable y mucho más brillante que la del corneta Halley. Desgraciadamente, el corneta Kohoutek debía de ser bastante rocoso, de modo que, al acercarse al perihelio, no había demasiado hielo presente para evaporarse y producir mucho fulgor. Por esta razón, el corneta Kohoutek resultó lamentablemente opaco en relación con su tamaño.

Sin embargo, era un corneta notable por su enorme órbita, la más grande de cualquier objeto conocido y observado en el sistema solar.

Cuando está más cerca del Sol, se encuentra a una distancia de tan sólo 37.600.000 km, o sea, más cerca del astro rey que Mercurio. Sin embargo, se aleja a una distancia de aproximadamente 1/18 de año luz en el afelio, o sea, 75 veces más lejos que Plutón cuando está a mayor distancia del Sol.

El eje menor, por ejemplo, tiene una longitud de 6.578.000.000 km, lo cual representa una distancia imponente. Significa que la elipse descrita por el movimiento del corneta Kohoutek alrededor del Sol es más ancha, en su grado máximo, que la órbita de Urano.

Pero este eje menor parece corto en comparación con la todavía más grande longitud del eje mayor, que es de 538.200.000.000 km.

El eje mayor de la elipse que dibuja la órbita del corneta Kohoutek es 81,8 veces más largo que el del Halley, mientras que el eje menor de aquél es sólo unas cinco veces más largo que el de éste. Esto evidencia que la excentricidad orbital del corneta Kohoutek es mucho más grande que la del Halley. La excentricidad orbital del corneta Kohoutek es de 0,99993, mucho mayor que la medida en cualquier otro cuerpo del sistema solar.

Se plantea otra pregunta: ¿Cuál es el área orbital del cometa Kohoutek? Respuesta: Aproximadamente 120.000 AOT, o sea, unas 77 veces el área orbital de Plutón. Realmente enorme..., pero representa sólo una pequeña fracción de las áreas orbitales de los cometas verdaderamente lejanos que giran alrededor del Sol a distancias de años luz.

El cometa Kohoutek afecta al Sol al acercarse y alejarse de un modo tan extremado. Si presumimos que es un cuerpo sólido, de roca y hielo, de unos 10 km de diámetro,. tendría una masa igual a una o dos mil billonésimas de la del Sol. Así como el cometa Kohoutek oscila en su órbita elíptica alrededor del centro de gravedad del sistema Sol-corneta, el centro del Sol debe hacer lo mismo, de manera que el cometa y el centro solar permanezcan siempre en lados opuestos del centro de gravedad. Naturalmente, el movimiento del Sol y el del planeta deben estar en proporción inversa a sus respectivas masas, de manera que si el Sol tiene una masa mil billones de veces mayor que el corneta, se mueve igual número de veces menos en distancia.

Aun así, al moverse el cometa Kohoutek a una distancia de 1/18 de año luz en una dirección y luego en la contraria, el centro del Sol se mueve de 10 a 20 km en la otra dirección para retroceder después. (Naturalmente, tal movimiento está del todo disimulado por los movimientos mucho más grandes del Sol al equilibrar los cuerpos planetarios de masa mucho

mayor —especialmente de Júpiter—, aunque los planetas se muevan a distancias mucho menores.)

Otra cosa: ¿Cuánto tiempo tarda el corneta Kohoutek en efectuar una órbita? Ateniéndonos a la tercera ley de Kepler, encontramos que el cometa Kohoutek visita el espacio próximo al Sol una vez cada 216.500 años.

Lo cual explica por qué se sorprendieron los astrónomos de la opacidad del cometa Kohoutek. No podían guiarse por el igualmente lamentable espectáculo de su anterior aparición, ya que, al producirse ésta, sólo los primitivos neandertalenses pudieron observarla.

Y cuando aparezca la próxima vez, ¡quién sabe si habrá algún ser humano para verlo o, en caso de que lo haya, si se habrán conservado documentos del año 1973!

Pero imaginemos que hay en el cometa Kohoutek cosas vivas y lo bastante inteligentes como para darse cuenta de que hay una estrella en el cielo mucho más brillante que las otras y que, sin embargo, no es más que una estrella.

Durante muchos miles de años seguiría siendo «sólo una estrella», sin que se alterase su brillo de un modo perceptible. Y entonces llegaría un tiempo en que los astrónomos especializados en cometas podrían advertir que la estrella parecía aumentar ligeramente, *muy* ligeramente, su brillo. Éste aumento de resplandor continuaría. Empezaría a parecer que aumentaba a un ritmo ligeramente acelerado, y que el propio grado de aceleración se aceleraba.

En definitiva, la estrella llegaría a parecer un pequeño globo resplandeciente en el cielo, que se dilataría enormemente hasta convertirse en una llamarada de un calor y una luz inverosímiles.

Si imaginarnos que aquellas cosas vivas sobreviviesen, advertirían que aquella bola de luz y de calor alcanzaría un máximo, se encogería después rápidamente y seguiría encogiéndose con más y más lentitud, hasta convertirse de nuevo en una estrella brillante. La estrella palidecería durante cien mil años; después cobraría, lentamente, nuevo brillo durante otros cien mil años, hasta que, una vez más, volvería a producirse aquella loca llamarada de luz y calor.

Si cualquiera de vosotros quiere escribir un cuento de ciencia-ficción situado en un planeta con una órbita semejante... será bien recibido.

X
CAMBIO DE TIEMPO Y DE ESTADO

En nuestra sociedad, esclava del tiempo, esperamos que las cosas sucedan con regularidad y de acuerdo con las exigencias del calendario y del reloj de pulsera.

Yo, por ejemplo, pertenezco a un grupo que se reúne regularmente cada martes para almorzar, y, hace cosa de un par de semanas, se comentó la circunstancia de que un miembro había faltado a varias reuniones. El miembro errante presentó excusas, que fueron rechazadas como insuficientes, en términos más o menos amables.

Vi en ello una ocasión de hacer gala de mi virtud y de mi fama de hombre galante, diciendo:

—Lo único que a *mi* me impediría asistir a una reunión sería que la joven que estuviese conmigo en la cama se *negase* a dejarme marchar.

Oído lo cual, uno de los caballeros presentes en la reunión, un tal Joe Coggins, se apresuró a replicar:

—Esto explica que Isaac no haya fallado ni una vez.

Me dejó fuera de combate. Las risas a mis expensas fueron unánimes, pues incluso yo tuve que reírme.

La regularidad fue siempre muy apreciada, incluso antes de que se inventaran los relojes. Si una cosa ocurría cuando se suponía que tenía que ocurrir, no era chocante; no había posibilidad de sorpresas desagradables.

Los planetas, que *parecen* moverse de un modo errático sobre el estrellado telón de fondo, fueron cuidadosamente estudiados hasta que sus movimientos fueron reducidos a fórmulas y pudieron predecirse. Ésta fue la justificación de la antigua astronomía, ya que, sabiendo cómo se relacionaban entre sí las diversas posiciones planetarias, los astrónomos podían juzgar anticipadamente su influencia sobre la Tierra y, así, predecir los acontecimientos. (Ahora llamamos a esto astrología, pero no importa.)

Pero de vez en cuando aparecía un cometa; venía de ninguna parte y se iba a ninguna parte. No había manera de predecir sus idas y venidas, y sólo podía tomarse como advertencia de que iba a ocurrir algo desacostumbrado.

Así, al principio del acto primero de *Enrique VI*, los nobles ingleses están de pie alrededor del féretro del conquistador Enrique V, y Shakespeare pone en boca del duque de Bedford lo siguiente:

Vista de negro el cielo, ¡ceda el día a la noche!
Cometas que cambiáis el tiempo y los Estados,
las trenzas de cristal agitad en el cielo,
con ellas azotad las malignas estrellas
rebeldes que la muerte de Enrique han consentido.

Dicho en otras palabras: la presencia de un cometa en el cielo significa que las condiciones de la vida (el tiempo) y los asuntos nacionales e internacionales (Estados) van a cambiar.

El 1705, el astrónomo inglés Edmund Halley (1658-1742) insistió en que los cometas eran fenómenos regulares, que giraban alrededor del Sol como los planetas, pero en órbitas muy elípticas, de modo que sólo se veían cuando se acercaban al perihelio, cuando estaban cerca del Sol y de la Tierra.

El cometa cuya órbita calculó y cuyo retorno predijo, ha sido desde entonces conocido como el «cometa de Halley» o, Según una costumbre reciente, el «cometa Halley». *Volvió* como él había predicho, y después, dos veces más. Ahora lo esperamos para 1986. (Ya hablé de este cometa en el capítulo anterior, pero ahora seré más sistemático.)

Sin embargo, el conocimiento y la regularidad de los cometas no ha alterado las expectativas de la gente sencilla. Cada vez que vuelve el cometa Halley —en realidad, cada vez que se manifiesta espectacularmente un cometa— se produce el pánico. A fin de cuentas, el hecho de que el cometa Halley regrese periódicamente y de que su regreso sea previsto y esperado, no

quiere decir que no traiga algo importante y probablemente nefasto. Es posible que tales sucesos hayan sido dispuestos por la Providencia de un modo ordenado y periódico.

Veamos...

El cometa Halley completa una revolución alrededor del Sol cada setenta y seis años, más o menos. El periodo de la revolución no es absolutamente fijo, porque el cometa está sujeto a la atracción gravitatoria de los planetas cerca de los cuales pasa (en particular, la atracción del gigante Júpiter). Como a cada paso hacia el Sol y, después, apartándose de éste, los planetas están en puntos diferentes de sus órbitas, la atracción gravitatoria no es nunca exactamente la misma. Por tanto, el periodo puede acortarse a setenta y cuatro años o alargarse hasta setenta y nueve.

La primera noticia de un cometa, que parece haber sido el Halley, data del año 467 a. de J.C. Contando aquella aparición, el cometa Halley ha estado treinta y dos veces en nuestro cielo durante los últimos veinticuatro siglos y medio. En 1986, hará su trigésimotercera aparición.

Podemos repasarlas todas y ver qué «cambios de tiempo y de Estado» se han producido en cada aparición..., si es que ha habido alguno.

1°. 467 a. de J.C.

Los persas y los griegos han estado combatiendo durante una generación, y el cometa Halley brilla ahora en el cielo para marcar el fin de la contienda. En el 466 a. de J.C., la Marina ateniense derrota a los persas en una gran batalla frente a la costa de Asia Menor, y termina la larga guerra. El cometa Halley marca también aquel año el comienzo de la Edad de Oro de Atenas, al ser dominada la ciudad por el grupo demócrata; quizás el mayor florecimiento de genio en una pequeña zona y durante un breve período que haya visto el mundo.

2°. 391 a. de J.C.

La ciudad de Roma, en la Italia central, estaba, muy lentamente, cobrando importancia. Había sido fundada el año 753 a. de J. C., y se había convertido en República el año 509 a. de J.C. Había establecido gradualmente su dominio sobre las ciudades vecinas del Lacio y de Etruria. Entonces apareció en el cielo el cometa Halley, y con él llegaron los galos bárbaros del Norte. En el 390 a. de J. C., los galos derrotaron a los romanos en el norte de la ciudad y se lanzaron a ocupar la propia Roma. Al final, los galos fueron expulsados, pero los romanos resultaron quebrantados. Sin embargo, parece que esto les incitó a no hacer más tonterías, pues, después de la ocupación, se encaminaron hacia la grandeza mucho más rápidamente que antes.

3°. 315 a. de J.C.

Entre el 334 a. de J. C. y su muerte en 323 a. de J. C., Alejandro Magno había barrido como un furioso incendio el Asia occidental, conquistando el vasto Imperio persa en una serie de increíbles victorias. Sin embargo, el Imperio de Alejandro no fue duradero, pues se desintegró inmediatamente después de su muerte, al disputarse sus generales los fragmentos. Con el cometa Halley brillando en el cielo, estaba claro que no había posibilidad de reunificar el Imperio. Antígono Monoftalmos, que era el único general que no estaba dispuesto a conformarse con menos de la totalidad, fue derrotado en 312 a. de J.C., y, aunque luchó durante otros doce años, quedó bien claro que el Imperio había sido fragmentado en tres

reinos helenísticos importantes: Egipto, bajo los Tolomeos; Asia, bajo los Seléucidas, y Macedonia, bajo los Antigónidas.

4°. 240 a. de J.C.

Los reinos helenísticos combatían continuamente entre ellos, sin que la victoria se inclinase claramente en favor de alguno, con lo cual todos se iban agotando progresivamente. En el 240 a. de J. C., cuando el cometa Halley apareció de nuevo en el cielo, se hizo evidente que los reinos helenísticos decaían, y que otras naciones estaban en auge. Alrededor del 240 a. de J. C., Arsaces 1 estableció su poder en Partia, provincia oriental del que había sido antaño Imperio persa. Más aún, en 241 a. de J.C., Roma, que controlaba toda Italia, había derrotado a Cartago (que controlaba el Africa del Norte) en la primera guerra púnica. Roma dominaba ahora el Mediterráneo occidental. El cometa Halley marcaba así el auge de poderes en Oriente y en Occidente, poderes que destruirían los reinos helenísticos.

5°. 163 a. de J.C.

Cuando el cometa Halley volvió, fue para marcar el hecho de que Roma había derrotado a Cartago por segunda vez en el 201 a. de J. C., y había marcado para destruir Macedonia y reducir a marionetas a los reyes Seléucidas y los Tolomeos de Egipto. En el 163 a. de J.C., Roma acababa de establecer un claro dominio sobre todo el Mediterráneo, y estaba iniciando su período de mayor grandeza. Mientras tanto, en Judea, pequeña provincia del reino seléucida, los judíos se habían rebelado al coincidir el inspirado liderazgo de Judas Macabeo con las disensiones internas entre la familia real Seléucida; los judíos consiguieron el control de Jerusalén en el 165 a. de J.C., y un reconocimiento *de facto* de la independencia judía por los Seléucidas en el 163 a. de J. C. Entonces, el cometa Halley resplandeció sobre el ahora Mediterráneo romano y la nueva Judea judía, y llegaría un tiempo en que ambos acontecimientos actuarían recíprocamente, con importantes consecuencias.

6°. 87 a. de J.C.

El sistema de gobierno romano, que había sido muy adecuado para una pequeña ciudad que luchaba por dominar una provincia, se estaba debilitando con el esfuerzo por gobernar un gran imperio de pueblos, lenguas y costumbres diversos. La lucha interna entre los políticos romanos se hacía cada vez más cruenta, especialmente desde que cada bando fue apoyado por algún general, de manera que las contiendas políticas degeneraron en guerra civil. El general Mario apoyaba al bando demócrata; el general Sila, al bando aristocrático. En el 87 a. de J.C. volvió el cometa Halley e iluminó un momento crucial, pues aquel año Sila y su ejército entraron en la ciudad de Roma y asesinaron a algunos de los políticos más radicales. Esta vez no fueron los galos quienes ocuparon Roma, sino un general romano. El portento del cometa Halley estaba claro. Ningún enemigo del exterior podía plantar cara a Roma, pero Roma sería desgarrada por las divisiones internas.

7°. 12 a. de J.C.

Cuando el cometa Halley volvió, se encontró con que Roma había superado toda una serie de guerras civiles, sobreviviendo a ellas e incluso expansionándose y fortaleciéndose. Se había convertido en el Imperio romano y, bajo su primer emperador, Augusto, disfrutaba de una gran paz, salvo por escaramuzas locales a lo largo de sus fronteras del Norte. Aproximadamente por esta época, según se cree, nació Jesús en Belén. Se ignora el año exacto de su nacimiento, pero algunos piensan que debió de ser el 12 a. de J. C., y sostienen que el

cometa Halley es la «estrella de Belén». Si fue así, el cometa Halley trajo consigo un cambio que, para muchas personas, fue el más importante de la Historia.

8°. 66.

El Imperio romano estaba todavía, casi totalmente, en paz y era gobernado por Nerón, cuando reapareció el cometa Halley. Sin embargo, había descontento en Judea. Allí soñaban en un Mesías y deseaban emular la antigua lucha de los Macabeos y liberarse de Roma. El año 66, con el cometa Halley en lo alto, estalló la rebelión en Judea. Fue sofocada después de una sangrienta lucha de cuatro años. Jerusalén fue Saqueada, y el Templo, destruido. El destino de una pequeña provincia parecía importar poco, pero el nuevo grupo de los cristianos se había mantenido apartado de la contienda y perdido, en consecuencia, todo ascendiente con los judíos. Esto significó que los cristianos habían dejado de ser una secta judía y creado una religión independiente de creciente contenido cultural grecorromano. Esto, a su vez, influyó mucho en la futura Historia.

9°. 141.

Cuando volvió de nuevo el corneta Halley, el Imperio romano había vivido una época de paz y prosperidad, que culminó en el reinado, casi sin acontecimientos, de Antonio Pío, quien se convirtió en emperador en el 138. El cometa Halley brilló ahora sobre la culminación de la Historia mediterránea. Todas las luchas de griegos y romanos, bien entre ellos, bien con otros, habían terminado con la unión del mundo mediterráneo bajo un gobierno ilustrado y civilizado. Fue algo que aquella región no había visto nunca ni volvería a ver jamás. El cometa Halley marcó aquel apogeo. Había terminado el ascenso; pronto empezaría el descenso.

10°. 218.

El periodo feliz de los buenos emperadores había terminado mucho antes del siguiente regreso del cometa. Después de algunos desórdenes, Septimio Severo volvió a implantar un régimen duro en el Imperio. Pero en el 217, su hijo, Caracalla, fue asesinado, y el cometa Halley brilló sobre el principio de un largo período de anarquía durante el cual estuvo el Imperio a punto de hundirse. El cometa Halley había presidido el auge en su anterior aparición, y ahora marcaba el comienzo del descenso.

11°. 295.

El período de anarquía terminó en el 284, con la subida al poder de Diocleciano, primer emperador enérgico que tuvo un reinado bastante largo y estable desde Septimio Severo Diocleciano se empeñó en reorganizar el gobierno imperial y lo convirtió en una monarquía oriental. Los residuos de la antigua Roma desaparecieron y, el 295, el cometa Halley presidió la llegada de un Imperio reformado en el cual, de entonces en adelante, dominaría la mitad oriental. Fue casi como un regreso a los tiempos helenísticos.

12°. 374.

Las reformas de Diocleciano mantuvieron en pie al Imperio romano, pero el alivio fue sólo temporal, y se acercaba el momento en que el cometa Halley volvería a aparecer en el cielo. Los hunos se habían puesto en marcha desde Asia y cruzaban las estepas ucranianas, empujando ante ellos a los godos (una tribu germánica). En el 376, algunos de los godos, buscando refugio, cruzaron el Danubio y penetraron en territorio romano. Los romanos les

recibieron mal y, en el 378, las legiones romanas fueron derrotadas y destruidas por la caballería goda en la batalla de Adrianópolis. Había amanecido una nueva Era, y la caballería dominaría los campos de batalla durante mil años. El cometa Halley presidía la caída del viejo Imperio romano y el auge de las tribus germánicas.

13°. 451.

Cuando el cometa Halley regresó de nuevo, varias provincias occidentales del Imperio romano estaban bajo el control directo de los señores de la guerra germanos, y los hunos eran más fuertes que nunca. Bajo su caudillo Atila, el Imperio huno se extendía desde el mar Caspio hasta el Rin. En 451, con el cometa Halley en el cielo, Atila penetró en la Galia, el punto más occidental al que llegarían jamás los nómadas procedentes del Asia central. En la batalla de Chalons, las fuerzas combinadas romanas y germanas lucharon contra Atila y le obligaron a detenerse. Dos años más tarde, Atila murió y el Imperio huno se desintegró. El cometa Halley había presenciado el punto culminante de la invasión procedente del Asia central.

14°. 530.

Cuando volvió el cometa Halley, había Caído el Imperio romano de Occidente, y todas las provincias estaban controladas por los germanos. El más grande de los nuevos caudillos fue el ostrogodo Teodorico, que gobernó Italia de manera ilustrada y se esforzó en conservar la cultura romana. Pero Teodorico murió en el 526, y al año siguiente, Justiniano 1 se convirtió en emperador romano de Oriente. Justiniano proyectó la reconquista de Occidente y, en el 533, su general Belisario navegó hacia el Oeste, dando inicio a un proceso que devastó Italia y destruyó a los ostrogodos, pero *no* restauró realmente el Imperio. Occidente quedó en manos de los intactos francos, la más bárbara de las tribus germánicas. De esta manera, el cometa Halley brilló sobre el comienzo de las campañas que establecieron la Edad Oscura.

15°. 607.

El Imperio romano de Oriente permaneció fuerte e intacto, pero en el 607, al brillar el cometa Halley en el cielo, los persas, bajo el mando de Cosroes II, empezaron su última y más afortunada guerra Contra los romanos. Al mismo tiempo, en Arabia, un joven mercader llamado Mahoma fundaba una nueva religión, basada en su versión del judaísmo y el cristianismo. La guerra persa-romana agotó completamente a ambos contendientes, y la nueva religión se apoderaría de todo el Imperio persa y de más de la mitad del Imperio romano de Oriente, enfrentado a una capacidad de resistencia muy reducida. Así, el corneta Halley resplandeció sobre el comienzo del Islam y sobre los restos, aún más reducidos, del Imperio romano, llamado ahora «Imperio de Bizancio».

16°. 684.

En una sorprendente oleada de victorias, los seguidores arábigos del Islam surgieron de Arabia tras la muerte de Mahoma y se apoderaron de Persia, Babilonia, Siria, Egipto y Africa del Norte. Ahora estaban dispuestos a tomar la propia Constantinopla y, después, barrer Europa y consolidar su dominio sobre todo el mundo occidental. Pusieron sitio a Constantinopla, mientras los bárbaros búlgaros bajaban de los Balcanes y se acercaban a la ciudad por tierra. Pero Constantinopla resistió, derrotando a los árabes con fuego griego en el 677. En el 685, después de que hubiese aparecido el cometa Halley, Justiniano II subió al trono; fue un caudillo cruel, pero enérgico, que derrotó a los búlgaros. El cometa Halley presidió la supervivencia del Imperio de Bizancio como escudo de Europa contra el Islam.

17°. 760.

El Islam continuó su expansión, aunque a menor escala, y en el 711 invadió España. En el 750 se estableció el califato Abasida, con capital en Bagdad, que gobernó sobre todo el Islam, salvo España y Marruecos. En el 760, con el cometa Halley en nuestro cielo, el califato quedó firmemente establecido y, durante un período de tiempo, el Islam permaneció en la cima, unido, en paz y poderoso por encima de cualquier desafío. Si el cometa Halley había brillado sobre la cima del Imperio romano ocho apariciones antes, brillaba ahora sobre la del Imperio islámico.

18°. 837.

En Occidente, el Imperio franco alcanzó su punto culminante bajo Carlomagno, que murió en el 814. Su sucesor, Ludovico Pío, reinó sobre un imperio intacto, pero era débil y pretendió dividir el reino entre sus cuatro hijos. Se produjeron guerras civiles a causa de esto, pero en el 838 se concluyó el plan definitivo para la división. El cometa Halley presidió, pues, una división que nunca se remediaría, y a partir de entonces, la historia de Europa fue la de una multitud de naciones siempre en guerra. Peor aún: la aparición del cometa Halley anunció nuevas invasiones desde el exterior. Los vikingos lanzaron desde el Norte sus más peligrosos ataques poco después del 837, y lo propio hicieron los magiares desde el Este, mientras los árabes del norte de Africa invadían Sicilia y hacían incursiones en Italia.

19°. 912.

La última incursión importante de fuerzas vikingas en territorio franco fue la de los hombres del Norte, o «normandos», al mando de Hrolf. En el 912, con el cometa Halley en el cielo, Rollón aceptó el cristianismo y fue recompensado con el gobierno de una parte de la costa del Canal. Esta región ha sido llamada desde entonces «Normandía». Así, el cometa Halley presidió el nacimiento de un nuevo Estado, que tenía que representar un papel ciertamente importante en la historia de Europa.

20°. 989.

El cometa Halley, a su regreso, presidió la formación de la Europa moderna. Los descendientes de Carlomagno habían llegado a su fin y, en lo que ahora se llama Francia, subió al trono en el 987 una nueva estirpe, en la persona de Hugo Capeto. Sus descendientes gobernaron durante nueve siglos. En el 989, el príncipe Vladimiro de Kiev se convirtió al cristianismo, hecho que marca la aparición de Rusia como nación europea. El cometa Halley preside el final de la Edad Oscura, como presidió su comienzo seis apariciones antes.

21°. 1066.

Normandía, que se constituyó hacía dos apariciones, se convirtió ahora en el reino mejor gobernado y más poderoso de la Europa occidental, bajo su excelente duque Guillermo. Los normandos habían llegado ya al Mediterráneo, donde tomaron Sicilia y el sur de Italia. En cambio, Guillermo proyectó la invasión de Inglaterra, al otro lado del Canal. El cometa Halley apareció cuando la flota se estaba preparando, y antes de que terminase el año, el duque ganó la batalla clave de Hastings y se convirtió en Guillermo *el Conquistador*. Así, el cometa Halley vio la formación de una Inglaterra normanda que, con el tiempo, superaría tanto a Roma como al Islam.

22°. 1145.

La renaciente Europa intentó su primera ofensiva general contra el mundo no europeo en 1096, cuando sus ejércitos partieron en una cruzada hacia el Este para reconquistar Jerusalén. Los ejércitos estaban mal organizados, mal equipados, mal dirigidos, pero, armados con el valor de la ignorancia, se enfrentaron contra un enemigo dividido. Tomaron Jerusalén en 1099, y establecieron reinos cristianos en Tierra Santa. Sin embargo, el Islam se reagrupó poco a poco contra el invasor, y en 1144 consiguió su primer triunfo importante al reconquistar Edesa, en el rincón nororiental del territorio conquistado por los europeos. El cometa Halley presenció los llamamientos para una segunda Cruzada, que, sin embargo, terminaría en fracaso. El movimiento de las Cruzadas continuó, pero fracasó a la larga; la aparición del cometa Halley marcó, virtualmente, el momento exacto en que se evidenció tal fracaso.

23°. 1222.

Europa no estaba todavía preparada en modo alguno para gobernar el mundo. Al volver el cometa Halley, una nueva amenaza había surgido desde Asia y, durante un tiempo, fue más grande que todas las que le habían precedido o habían de seguirla. En 1162 había nacido un mogol llamado Temujin. En 1206 gobernaba sobre las tribus del Asia central con el nombre de Gengis Kan. Con dichas tribus formó un aguerrido ejército adiestrado en nuevas y brillantes tácticas, que aprovechaban la movilidad, la sorpresa y el implacable empuje. En una docena de años tomó la China septentrional y barrió el Asia occidental. En 1222, con el cometa Halley en el cielo, un ejército mogol hizo su primera aparición en Europa, y el año siguiente, aquel ejército infligió una sonada derrota a los rusos. Entonces los mogoles se retiraron, pero sería para volver. El cometa Halley presidió el principio del desastre.

24°. 1301.

Los mogoles volvieron de nuevo y lograron victoria tras victoria, pero se retiraron, sin haber sido derrotados, para elegir un nuevo monarca. Rusia permaneció en sus garras, y toda su historia futura cambió como resultado de ello. Cuando volvió el cometa Halley, aquel episodio había terminado, y se desarrollaban otros acontecimientos importantes. Los caballeros europeos, que habían dominado el campo de batalla durante siglos, se lanzaron contra los aldeanos rebeldes de Flandes. Los caballeros despreciaban profundamente a los villanos. Pero los villanos tenían picas y conocían bien el terreno. Derrotaron a los caballeros franceses en la batalla de Courtrai en 1302. Mientras tanto, el Papa Bonifacio VIII quiso coronar el creciente poder del Papado, reclamando en 1302 la autoridad suprema sobre los reyes de la cristiandad. Felipe IV de Francia pensaba de otra manera, y envió agentes para someter al Papa (que murió pronto); entonces estableció un Papado marioneta que sirviese a los franceses. Así, pues, el cometa Halley, en esta aparición, presenció el principio del fin del ejército feudal, así como del Papado omnipotente, y, por tanto, el principio del fin de la Edad Media.

25°. 1378.

Después de Bonifacio VIII, el Papado se estableció en Avignon, ciudad del sudeste de Francia. En 1378, con el cometa Halley de nuevo en el cielo, un Papa se estableció de nuevo en Roma. Pero los cardenales franceses, resueltos a no abandonar Avignon, eligieron por su cuenta otro Papa. Así empezó el «Gran Cisma», que duró cuarenta años y proporcionó a Europa el espectáculo de Papas rivales anatematizándose y excomulgándose mutuamente, mientras las naciones se ponían al lado de uno o de otro, según sus intereses seculares. El prestigio del

Papado quedó aniquilado, lo cual dio pie a unos cambios que destruirían para siempre la unidad religiosa de Europa, como había sucedido con la unidad política siete apariciones atrás.

26°. 1456.

Cuando reapareció el cometa Halley, se encontró con que los turcos otomanos eran ahora el borde cortante del Islam. Desde 1300 habían extendido su poder en Asia Menor, y en 1352 hicieron su primera aparición en el lado europeo del Helesponto. En 1453 tomaron Constantinopla, poniendo fin al dominio romano veintidós siglos después de la fundación de Roma. En 1456, con el cometa Halley en el firmamento, los turcos otomanos tomaron Atenas y pusieron sitio a Belgrado. La Europa occidental se dio perfecta cuenta de la nueva amenaza de Asia, presagiada por el cometa Halley.

27°. 1531.

El Imperio otomano alcanzó su apogeo bajo Suleiman *el Magnífico*, que conquistó Hungría y que, en 1529, puso sitio a Viena. Sin embargo, Viena resistió y los turcos otomanos se retiraron a Budapest. Mientras tanto, Colón había descubierto el continente americano, y, al brillar el cometa Halley sobre la recién liberada Viena, los conquistadores españoles, después de sojuzgar a los aztecas de México, partieron hacia el Perú, donde destruirán, en dos años, el Imperio inca. Así, el cometa Halley se alza sobre una Europa que ha conseguido detener el avance otomano y, al mismo tiempo, establecerse al otro lado del océano. Europa está a punto de dominar el mundo.

28°. 1607.

En 1607, al regresar el cometa Halley, un grupo de ingleses funda Jamestown en una región a la que llama Virginia. Será la primera colonia inglesa permanente establecida en la costa oriental de América del Norte, y es el principio de una serie de acontecimientos que terminarán con el establecimiento de los Estados Unidos de América, que, en tiempos venideros, dominarán Europa durante un tiempo.

29°. 1682.

Con el cometa Halley de nuevo en el cielo, murió Fiodor III de Rusia, y fue sucedido por sus dos hijos como coemperadores. El más joven era Pedro I, que, en el futuro, sería llamado Pedro *el Grande* y sacaría a Rusia, con titánica energía, del crepúsculo de su pasado dominado por los mogoles, a la luz del sol del progreso de la Europa occidental. Rusia conservaría esta orientación occidental y, como resultado del trabajo de Pedro, disputaría algún día el mundo a los Estados Unidos.

30°. 1759.

Europa dominaba el mundo cuando volvió el cometa Halley, pero, ¿qué nación europea se llevaría la parte del león? España y Portugal habían sido los primeros, pero estaban en decadencia. Los Países Bajos habían hecho un valeroso intento, pero se trataba de una nación demasiado pequeña. Inglaterra (ahora Gran Bretaña) y Francia eran los candidatos restantes, y, en 1756, empezó entre ellos la decisiva Guerra de los Siete Años. (Prusia, Austria y Rusia también participaron en ella.) El momento crucial se produjo en 1759, cuando, con el cometa Halley en las alturas, Gran Bretaña se apoderó del Canadá, consiguió dominar la India y

demostr6 ser la indiscutida dueña de los mares. El cometa Halley iluminó la verdadera fundación del Imperio británico, que dominaría el resto del mundo durante casi dos siglos.

31°. 1835.

Gran Bretaña, primera potencia del mundo, estaba cambiando pacíficamente cuando volvió el cometa Halley. En 1832, el Parlamento aprobó una ley que racionalizaba la presentación en aquel cuerpo, extendiendo el electorado e iniciando el proceso de ampliación del derecho de sufragio a la población en general. Victoria subió al trono en 1837. En los Estados Unidos de América, el primer conato de división entre el Norte y el Sur se produjo con la crisis de 1832, durante la cual algunos Estados se negaron a obedecer las leyes federales y que, en definitiva, se resolvió a favor de la Unión. Sin embargo, se habían trazado las líneas de combate, y, al fin, el derecho de sufragio se extendería a los esclavos liberados. En ambas naciones, el movimiento en pro de la doctrina igualitaria dio un firme paso adelante, con el cometa Halley como testigo.

32°. 1910.

Eduardo VII de Gran Bretaña, hijo mayor de la reina Victoria, murió en 1910, y a su entierro asistieron por última vez muchas testas coronadas de Europa. En 1914 empezaría la Primera Guerra Mundial. Ésta destruiría muchas de las antiguas monarquías y establecería un mundo nuevo y más peligroso. Una vez más, el cometa Halley traía consigo un cambio en los tiempos y los Estados.

33°. 1986.

...?

Impresionante, ¿no? Tal vez, a fin de cuentas, haya algo de verdad en la astrología.

No, no la hay. Esto no es más que un tributo (disculpad mi inmodestia) a mi ingenio. Dadme una lista de treinta y tres fechas a partir del año 700 a. de J.C., regular o irregularmente espaciadas; dadme un poco de tiempo para pensar, y redactaré una lista parecida de acontecimientos cruciales, que parecerá igualmente buena. Con cincuenta listas de éstas —especialmente si incluimos la Historia oriental, los avances tecnológicos, los acontecimientos culturales, etcétera—, sería fácil montar cincuenta interpretaciones y difícil elegir como la mejor una en particular.

La Historia humana es lo bastante rica, y las corrientes están lo bastante llenas de ramificaciones, como para que esto sea posible; ésa es una de las razones de que mi ciencia imaginaria de psicohistoria vaya a resultar tan difícil de desarrollar.

XI
LA ÓRBITA DE COMO-SE-LLAME

Acabo de regresar del Instituto del Hombre y la Ciencia, de Rensselaerville, Nueva York, donde, por noveno año consecutivo, he contribuido a dirigir un seminario sobre un tema de ciencia-ficción. Esta vez versaba sobre tratados del espacio.

Por ejemplo, ¿cómo regulamos el empleo del espacio limitado en una órbita geosincrónica, considerando que es allí donde sería más adecuado colocar una estación de energía solar?

Hablaba con mi buen amigo Mark Chartranded, que es ahora jefe del Instituto Nacional del Espacio. En varias ocasiones se refirió a la órbita geosincrónica como la «órbita de Clark».

Yo estaba intrigado y, por fin, le pregunté:

— ¿Por qué la órbita de Clark? ¿Quién es Clark?

Chartranded me miró fijamente un instante y respondió:

— Me refiero a Arthur C. Clarke. Seguramente habrás oído hablar de él, Isaac.

Naturalmente, se produjeron grandes carcajadas, y cuando se extinguieron, repuse, indignado:

— Bueno, ¿cómo diablos iba yo a saber que te referías a Arthur? No pronunciaste la «e» muda de su apellido.

¿Creeréis que nadie consideró que fuese una excusa adecuada?

La cuestión es —y esto sí que lo sé bien— que, en 1945, Arthur C. Clarke había comentado la posibilidad de colocar satélites de comunicación en órbita y había descrito la utilidad particular de tenerlos en órbita geosincrónica. Creo que fue la primera vez que se planteó la cuestión, por lo que el término «órbita de Clarke» está plenamente justificado.

Para compensar mi fracaso en reconocer el apellido de Arthur cuando lo oí, examinemos detalladamente la órbita de Clarke.

Imaginemos que observamos varios objetos que giran alrededor de la Tierra a diferentes distancias de su centro. Cuanto más lejos esté un objeto de la Tierra, más larga será la órbita que describa y, al propio tiempo, tendrá que viajar más despacio, ya que la intensidad del campo gravitatorio de la Tierra disminuye con la distancia.

El período de revolución, que depende tanto de la longitud de la órbita como de la velocidad orbital, aumenta con la distancia de una manera que resulta un poco complicada.

Así, pues, imaginemos un satélite que gira alrededor de la Tierra a sólo 150 km de su superficie o (es lo mismo) a unos 6.528 km de su centro. Su período de revolución es de unos 87 min.[12].

Por su parte, la Luna gira alrededor de la Tierra a una distancia media de 384.401 km (de centro a centro). Su período de revolución «sideral» —es decir, su revolución en relación con las estrellas, que es como podemos acercarnos más al concepto de su revolución «real»— es de 27,32 días. La Luna está 58,9 veces más lejos del centro de la Tierra que el satélite, pero el período de revolución de la Luna es 452 veces más largo que el del satélite.

Parece, pues, que el período se alarga más rápidamente que la distancia, pero menos que el cuadrado de la distancia. Podemos expresar esto matemáticamente llamando P a la razón de los períodos de revolución, y D a la razón de las distancias, y diciendo que $P > D^1$ y que $P < D^2$, donde ">" significa «es mayor que» y "<" «es menor que». En realidad, $P=D^{1,5}$.

[12] Se supone que todos los objetos móviles de este ensayo se mueven de Oeste a Este, en el sentido de la rotación de la Tierra.

Un exponente de 1,5 significa que, para obtener el período del objeto más lejano, hay que tomar el cubo de la razón de las distancias y tomar después la raíz cuadrada del resultado. Así, la Luna está 58,9 veces más lejos de la Tierra que el satélite. Por consiguiente, tomemos el cubo de aquella razón (58,9 x 58,9 x 58,9 = 204.336) y tomemos después la raíz cuadrada del resultado, que es 452. Ésta es la razón de los períodos de revolución. Si multiplicamos el período del satélite por 452, obtendremos el período de la Luna. O podemos empezar con el período sideral de la Luna, dividirlo por 452, obteniendo así el período del asteroide. O, partiendo de la razón de los períodos, podemos obtener la razón de las distancias.

Todo esto es la tercera ley de Kepler, y ahora nos olvidaremos de las matemáticas. Yo haré los cálculos; podéis fiaros de mi palabra[13].

La Tierra gira alrededor de su eje, en relación con las estrellas (el «día sideral»), en 23 horas y 56 minutos. El día sideral de la Tierra es más largo que el período de revolución del satélite que gira cerca de su superficie, y más corto que el periodo de revolución de la Luna.

Si imaginamos una serie de objetos que giran alrededor de la Tierra en órbitas más y más alejadas del centro del planeta, el período de revolución se alargará más y más y, a cierta distancia entre la del satélite (donde el período es demasiado corto) y la de la Luna (donde es demasiado largo) habrá un lugar donde el satélite tendrá un período sideral de revolución exactamente igual al período sideral de rotación de la Tierra.

Este satélite se mueve en una órbita geosincrónica, siendo «geosincrónica» una palabra derivada del griego y que significa «moverse en el mismo tiempo que la Tierra».

Empleando la tercera ley de Kepler, podemos averiguar exactamente dónde debe estar un satélite para hallarse en una órbita geosincrónica.

Resulta que un satélite que gire alrededor de la Tierra a una distancia media de 42.298 km del centro de ésta, completará su revolución exactamente en un día sideral. Este satélite estará situado a 35.919 km sobre la superficie de la Tierra (que está, a su vez, a 6.378 km del centro de la Tierra).

Si os resultan incómodas las medidas métricas, podéis convertir los kilómetros en millas dividiendo el número de kilómetros por 1.609. Entonces encontraréis que un satélite en órbita geosincrónica está situado a una distancia media de 22.324 millas sobre la superficie de la Tierra.

Puede que penséis que, si un satélite está en órbita geosincrónica, se moverá al unísono con la rotación de la Tierra y que, por consiguiente, parecerá que permanece en el mismo punto del cielo, de día y de noche, durante un período indefinido, si es que lo observáis (con un telescopio, en caso necesario) desde la superficie de la Tierra.

¡Nada de eso! Un satélite estará en órbita geosincrónica a una distancia media de 42.298 km del centro de la Tierra, sea cual fuere su plano de revolución. Puede girar alrededor de la Tierra de Oeste a Este (o de Este a Oeste, lo mismo da), siguiendo una ruta encima del ecuador. O puede girar de Norte a Sur (o de Sur a Norte) pasando por encima de ambos polos. O puede estar en órbita oblicua entre aquéllas. Todas ellas serán órbitas geosincrónicas.

[13] Estoy seguro de que los lectores de mente maliciosa y recelosa comprobarán mis cálculos y me pillarán en errores aritméticos o conceptuales.

Si estuvieseis plantados en la superficie de la Tierra, observando un satélite en órbita geosincrónica en un plano que formase un ángulo con el ecuador terrestre, veríais cambiar su posición en relación con el cenit.

El satélite describiría, en el curso de un día, un número ocho, que es lo que los astrónomos llaman un «analemma». Cuanto mayor sea el ángulo de la órbita con el ecuador, tanto mayor será el analemma.

Un ejemplo: el Sol se mueve a través del cielo en una órbita aparente, que forma un ángulo con el ecuador de la Tierra. Por esta razón, la posición del Sol del mediodía en el cielo varía de un día a otro. Describe un analemma y, en un globo terráqueo grande, un analemma proporcionado suele colocarse en los espacios vacíos del océano Pacífico. Partiendo de este analemma se puede saber exactamente a qué altura del cielo está el Sol de mediodía en cualquier día del año (siempre que tengáis en cuenta la latitud del lugar donde os halláis) y también cuántos minutos antes o después del cenit está el Sol en cualquier día del año. (Está *en* el cenit el 15 de abril y el 30 de agosto.)

Este comportamiento del Sol debía tenerse en cuenta en los viejos tiempos de los relojes de sol, y en realidad, *analemma* es la palabra latina que designa el bloque que sostiene un reloj de sol.

Una órbita geosincrónica no tiene que ser necesariamente un circulo perfecto. Puede ser una elipse de cualquier excentricidad. Seguirá siendo geosincrónica mientras sea correcta la distancia *media*. Puede acercarse más en un extremo de su órbita y alejarse más en el otro.

Sin embargo, si la órbita es elíptica además de oblicua, el analemma no será simétrico. Una de las anillas del número ocho será más grande que la otra. Cuanto más elíptica sea la órbita, mayor será la diferencia de tamaño de las anillas.

Así, la Tierra se mueve alrededor del Sol en una elipse ligeramente excéntrica, y por eso el analemma formado por la posición aparente del Sol de mediodía de un día a otro, en el curso del año, es asimétrico. La anilla septentrional es más pequeña que la meridional, razón por la cual el Sol de mediodía está en el cenit unas tres semanas después del equinoccio de primavera septentrional y tres semanas antes del equinoccio de otoño septentrional. Si la órbita de la Tierra fuese circular, el analemma sería simétrico, y el Sol de mediodía estaría en el cenit en los equinoccios.

Pero supongamos que un satélite gira alrededor de la Tierra en el plano del ecuador terrestre. La órbita formaría un ángulo de 0° con el ecuador, y el analemma sería aplastado y quedaría reducido a cero en la dirección Norte-Sur.

Sin embargo, si el satélite girase en el plano ecuatorial en una elipse, se movería más de prisa que su velocidad media en aquella parte de su órbita donde estuviese más cerca de la Tierra que su distancia media, y más despacio cuando estuviese en la otra posición. Parte del tiempo superaría la velocidad de la superficie de la Tierra, y el resto del tiempo se retrasaría con respecto a ésta.

Visto desde la superficie de la Tierra, este satélite describiría una línea recta de Este a Oeste, completando su movimiento de retroceso y adelanto en el curso de un día. Cuanto más pronunciada fuese la excentricidad de la órbita, más larga sería la línea.

Pero supongamos que un satélite no sólo girase en el plano ecuatorial de la Tierra, sino que lo hiciese en un círculo perfecto de Oeste a Este. En este caso, el analemma quedaría totalmente anulado. Los movimientos Norte-Sur y Este-Oeste desaparecerían, y el satélite, observado desde la Tierra, parecería completamente inmóvil. Pendería indefinidamente sobre un punto de la Tierra.

He aquí la diferencia entre una órbita geosincrónica y una órbita de Clarke. Hay un número infinito de órbitas geosincrónicas, con cualquier valor de inclinación orbital y de excentricidad orbital. En cambio, sólo hay *una* órbita de Clarke.

La órbita de Clarke es geosincrónica con una inclinación orbital de cero y una excentricidad orbital también de cero. La órbita de Clarke es exactamente circular y se halla precisamente en el plano ecuatorial; su importancia es que *sólo* en una órbita de Clarke permanecerá inmóvil un satélite en relación con la superficie de la Tierra.

Esto puede ser muy útil. Un satélite inmóvil con respecto a la superficie de la Tierra ofrecerá la situación más simple para transmitir comunicaciones o irradiar energía. Clarke imaginó esta órbita en su comunicación de 1945, y de aquí el nombre de «órbita de Clarke».

Como sólo hay una órbita de Clarke y está bastante cerca de la Tierra, representa un recurso sumamente limitado. La longitud de la órbita es de 265.766 km, sólo 6,6 veces la longitud de la circunferencia de la Tierra (porque la órbita de Clarke sólo está 6,6 veces más lejos del centro de la Tierra que la superficie de ésta).

Imaginemos que quisierais poner una serie de estaciones de energía solar en la órbita de Clarke, y supongamos que os encontraseis con que no podéis hacerlo perfectamente. No se puede colocar un satélite *exactamente* en la órbita de Clarke, y aunque se pudiese, las perturbaciones gravitatorias de la Luna y del Sol le harían bailar un poco. Entonces podría resultar que, como medida de seguridad, hubiese que colocar las estaciones de energía a intervalos de 1.000 km. En tal caso, sólo podríamos meter 265 de ellos en la órbita de Clarke, y eso significaría una limitación de la cantidad de energía que podríamos obtener del Sol.

Si quisiéramos tener satélites de diferentes tipos en la órbita de Clarke —de comunicaciones, de navegación, etcétera— esto limitaría aún más las cosas.

Podríamos imaginar un satélite particularmente largo, con su eje mayor paralelo a la órbita de Clarke. Diferentes tipos de funciones podrían montarse entonces en toda su longitud, sin que existiesen interferencias entre ellas, ya que el satélite se movería como una unidad. Las estaciones de energía de ambos extremos no variarían su posición relativa entre sí, ni en lo tocante a las funciones de comunicaciones o de navegación que pudiesen existir entre ambas. De esta manera, podría introducirse un número mucho mayor de unidades de trabajo en la órbita de Clarke.

Incluso podríamos imaginarnos un anillo sólido que llenase la órbita de Clarke, algo similar a lo que describió Larry Niven en *Ringworld*. En este caso podríamos disponer de funciones de toda clase esparcidas a lo largo de él. Sin embargo, un anillo semejante sería «metaestable», es decir, permanecería de un modo estable en órbita sólo mientras la Tierra permaneciese en el centro exacto del anillo. Si ocurriese algo que empujase ligeramente el anillo a un lado —por ejemplo, perturbaciones gravitatorias—, de modo que la Tierra no estuviese ya en el centro exacto del anillo, éste seguiría desviándose en la misma dirección, se rompería por la acción periódica de vaivén, y partes del aparato se estrellarían contra la Tierra.

Pero podría haber órbitas relacionadas con la de Clarke que tuviesen valores propios.

Imaginemos un satélite en una órbita circular en el plano ecuatorial, a una distancia tal que su período de revolución sea exactamente de *dos* días siderales, o de tres, o de uno y medio. Un período de dos días siderales significaría que el satélite se movería con regularidad, saliendo en el Este y poniéndose en el Oeste; pero desde cualquier punto del Ecuador se vería directamente sobre la cabeza del observador a intervalos de cuarenta y ocho horas. Otros períodos que estuviesen relacionados de alguna forma con el día sideral, presentarían sus propias normas. (Incluso órbitas geosincrónicas que fuesen inclinadas y excéntricas, y que, por consiguiente, no se tratasen de órbitas de Clarke, podrían estar dispuestas de manera que presentasen simples pautas de comportamiento en el cielo.)

No estoy seguro de la utilidad que pudiera tener esto, pero sería interesante desde el punto de vista de la mecánica celeste. Refirámonos a toda la familia de órbitas con inclinación y excentricidad cero como «órbitas de Clarke», con independencia de la distancia y del período de revolución. *La* órbita de Clarke, donde un satélite tuviese un período de un día sideral, sería la «órbita Clarke-1 ». Aquella cuyo período fuese de dos períodos siderales sería la «órbita Clarke-2». De esta forma tenemos las siguientes distancias desde el centro de la Tierra:

Órbita	Distancia *(en kilómetros)*
Clarke-½	26.648
Clarke-1	42.298
Clarke-1 ½	55.410
Clarke-2	67.127
Clarke-3	87.980
Clarke-4	106.591
Clarke-5	123.679

Cuanto más lejos está la órbita, tanto mayor es el efecto de las perturbaciones lunares sobre ella. No entiendo lo suficiente de mecánica celeste como para poder determinar dónde sería la órbita de Clarke lo bastante grande como para que las perturbaciones impidiesen que fuese útil para este u otro fin, pero sin duda en tiempos venideros se realizarán simulaciones con computadora, que nos darán la respuesta... sí no se hacen ya.

Lo que vale para la Tierra valdría también para cualquier otro cuerpo astronómico. Supongamos, por ejemplo, que quisiésemos colocar un satélite en órbita alrededor de Marte, de manera que pareciese estar suspendido en un lugar del aire al ser observado desde la superficie marciana. (Quizás interesase tener fotografías continuas de un lugar particular de Marte durante un largo período de tiempo, mientras lo permitiesen la inevitable interferencia de la noche y las ocasionales tormentas de polvo.)

En el caso de Marte es imposible una órbita geosincrónica, si tomamos en serio nuestro griego, ya que *geo* se aplica sólo a la Tierra. Habría que hablar de una «órbita aerosincrónica». (Ya sé, ya sé; la gente dirá, de todos modos, órbita geosincrónica, de la misma manera que dice «geología lunar», cuando en realidad debería decir «selenología».)

En cambio, podemos hablar de una órbita de Clarke en cualquier mundo. El término no está relacionado etimológicamente con la Tierra. Se puede definir una órbita de Clarke como aquella en que un objeto se moverá alrededor de otro más grande, con una inclinación orbital

y una excentricidad orbital de cero, y con un período igual al de rotación sideral del objeto más grande.

La cuestión es la siguiente: ¿Cuál es la distancia desde el centro de Marte hasta *su* órbita de Clarke?

El día sideral marciano es ligeramente más largo que el de la Tierra, ya que Marte gira sobre su eje, en relación con las estrellas, en 24,623 horas. Esto produciría el efecto de aumentar la distancia de la órbita de Clarke en comparación con la de la Tierra, ya que el satélite tiene que viajar más despacio para seguir exactamente la rotación marciana.

Por otra parte, la intensidad del campo de gravitación marciana es de sólo una décima parte del de la Tierra, de modo que la órbita de Clarke debería estar más cerca de Marte si el satélite tuviese que circundarlo en poco más de veinticuatro horas. Este segundo efecto es el más importante, y por ello la órbita de Clarke en Marte está a una distancia de 20.383 km del centro del planeta.

La órbita de Clarke correspondiente a Marte está aproximadamente a una distancia de éste equivalente a la mitad de la que hay entre la órbita de Clarke terrestre y la Tierra.

El satélite marciano más exterior, Deimos, está a una distancia de 23.500 km de Marte y, por consiguiente, muy poco por fuera de la órbita de Clarke. Por tanto, se mueve alrededor de Marte en poco más de un día sideral marciano (exactamente en 1,23 días marcianos siderales).

Cualquier objeto situado fuera de la órbita de Clarke (si continuamos suponiendo que todas las revoluciones y rotaciones se efectúan de Oeste a Este) saldrá en el Este y se pondrá en el Oeste, visto desde la superficie del mundo alrededor del cual gire. Así ocurre con Deimos, que surge en el Este marciano y se pone en el Oeste, aunque parece moverse muy lentamente, ya que el movimiento de rotación de la superficie marciana coincide casi con el de traslación del satélite.

El satélite interior de Marte, Fobos, tiene una órbita situada *dentro* de la de Clarke, ya que se halla a una distancia de sólo 9.350 km del centro de Marte. Por consiguiente, gira alrededor de Marte en menos de un día sideral marciano (de hecho, en 0,31 días) y gira más de prisa que la superficie marciana.

Cualquier objeto situado dentro de una órbita de Clarke parecería salir en el Oeste y ponerse en el Este, visto desde el mundo alrededor del cual gira, y esto es ciertamente lo que pasa con Fobos.

Júpiter constituye un caso particularmente interesante. Tiene un campo de gravitación enormemente intenso, equivalente a 318 veces el de la Tierra, y su rotación es singularmente rápida, ya que describe un giro completo sobre su eje en sólo 9,85 horas.

¿A qué distancia de Júpiter tendría que estar un satélite para circunvalarlo en 9,85 horas? La respuesta es que la órbita de Clarke en Júpiter está a una distancia de 158.500 km del centro del planeta. Esto es casi cuatro veces la distancia de la órbita de Clarke terrestre al centro de la Tierra, pese al hecho de que un satélite que se mueve alrededor de Júpiter debe completar su órbita en sólo dos quintas partes del tiempo que necesitaría un satélite en la órbita de Clarke terrestre para mantener la sincronía.

Recuérdese, empero, que 158.500 km representan la distancia desde el *centro* de Júpiter. Pero Júpiter es un planeta grande, y su superficie ecuatorial está a 71.450 km de su centro. Esto significa que un satélite, en una órbita de Clarke alrededor de Júpiter, estaría sólo a 87.050 km sobre la superficie visible de la capa de nubes de Júpiter.

Imaginad entonces un satélite colocado en una órbita de Clarke alrededor de Júpiter, de manera que estuviese casi encima de la Gran Mancha Roja, que, por desgracia, no está en el ecuador de Júpiter. Por lo cual no podría estar *exactamente* sobre él. ¡Qué continuo panorama tendría, durante las cinco horas de luz diurna!

Podría observar durante cinco horas y descansar otras cinco por un largo período de tiempo, aunque habría algunas complicaciones. Primera: la Gran Mancha Roja se mueve de un modo bastante errático y no permanecería indefinidamente en la posición esperada. Segunda: el intenso campo magnético de Júpiter podría dificultar los trabajos del satélite. Tercera: ahora sabemos que Júpiter tiene un anillo de desperdicios cerca de su órbita de Clarke, lo cual podría también interferir.

Sin embargo, la vista sería magnífica si pudiese conseguirse, y, como jamás he oído decir que se hubiese hablado de ello —lo cual no quiere decir que no se haya hablado—, puedo al menos soñar que algún día esta órbita de Clarke *particular* sea llamada órbita de Asimov.

Saturno, que en comparación con Júpiter posee un período de rotación ligeramente más largo (10,23 horas) y un campo de gravedad considerablemente menos intenso, tiene la órbita de Clarke a una distancia de 109.650 km o de sólo 49.650 km sobre la capa de nubes.

Sin embargo, aquí se presenta un grave inconveniente. El gigantesco sistema de anillos de Saturno se halla en el plano ecuatorial del planeta, de manera que la órbita de Clarke en Saturno está exactamente dentro de los anillos, dentro del anillo B, cerca del borde interior de la división de Cassini.

Esto significa que el anillo B, la porción más brillante del sistema de anillos, se encuentra casi enteramente dentro de la órbita de Clarke y, por tanto, se adelanta a la superficie de Saturno al girar éste sobre su eje. Si desde Saturno pudiesen distinguirse las partículas individuales del anillo B —y de los anillos todavía más cercanos—, se verían surgir en el Oeste y ponerse en el Este. En cambio, las partículas situadas más allá de la división de Cassini saldrían en el Este y se pondrían en el Oeste.

En principio, podríamos elegir alguna partícula cerca del borde interior de la división de Cassini y montar en ella nuestros instrumentos. Podríamos escoger una que estuviese en una órbita de Clarke. Pero entonces las innumerables partículas todavía más próximas a Saturno impedirían la visibilidad de la porción de la superficie del planeta situada directamente debajo.

También hay una órbita de Clarke alrededor del Sol. Estaría a una distancia de unos 26.200.000 km del centro del astro. Lo cual significa menos de la mitad de la distancia entre el Sol y Mercurio.

A finales del Siglo XIX se especuló sobre la existencia de un pequeño planeta llamado Vulcano, situado dentro de la órbita de Mercurio (véase «The Planet That Wasn't», en el libro del mismo nombre, Doubleday, 1976).

Por desgracia, Vulcano no existe. ¡Qué lástima! Su órbita habría tenido que estar muy cerca de la órbita de Clarke solar. Supongamos que estuviese exactamente en la órbita de Clarke, y que pudiésemos llegar y colocar en él nuestros instrumentos, y que estos instrumentos pudiesen resistir el tremendo calor del cercano Sol.

Imaginemos la vista de las manchas solares. Podrían ser seguidas de cerca durante buena parte de su tiempo de vida. (Se presentaría una complicación, y es que la superficie del Sol gira a diferentes velocidades en diferentes latitudes, de modo que las manchas solares parecerían alejarse gradualmente.)

Venus tiene un período de rotación muy lento (243,09 días), y la intensidad de su campo de gravitación es de sólo 0,815 veces la de la Tierra. En este caso, sería de esperar una órbita de Clarke muy distante, lo cual resultaría cierto. La órbita venusiana de Clarke se halla a una distancia de 1.537.500 km del centro del planeta, o sea, cuatro veces más lejos de Venus de lo que lo está la Luna de la Tierra. A tal distancia, la órbita de Clarke sería casi inútil.

La órbita de Clarke de Mercurio estaría a 240.000 km de éste, o sea, a una distancia considerablemente menor que la de la Luna a la Tierra.

Y ésta es toda la publicidad que voy a dar a la vieja Como-se-llame.

XII
LISTOS Y A LA ESPERA

Acabo de regresar de un crucero «Astronomy Island» a las Bermudas. El objetivo era visitar un lugar de aquella hermosa isla donde pudiésemos contemplar diversos objetos en su claro cielo a través de una variedad de telescopios montados por algunos entusiastas que venían con nosotros.

Siempre es el cielo de julio o agosto, con la semana cuidadosamente escogida para que no haya Luna. Escorpión es siempre visible en el cielo meridional, marcando su ondulado camino hacia el horizonte.

Inmediatamente debajo, y a la izquierda (desde nuestro punto de observación), hay ocho estrellas que, a mi modo de ver, dibujan una tetera perfecta y constituyen la constelación de Sagitario. Junto a la estrella que marca el pico de la tetera, la Vía Láctea se encorva hacia arriba, y a la izquierda es como un débil vapor.

Aquel lugar en Sagitario es la parte más brillante de la Vía Láctea, y si miráis en aquella dirección, estaréis dirigiendo la vista hacia el centro de la galaxia.

Es muy emocionante saber que, aunque no puede verse a través de las nubes de polvo, en algún lugar —precisamente en la dirección en que estáis mirando— hay una región de turbulencia inimaginable que incluye, casi con toda seguridad, un enorme agujero negro.

Y, sin embargo, yo volvía una y otra vez los ojos hacia Antares, la brillante estrella en la constelación de Escorpión, y la observaba fijamente durante un rato.

Tal vez... Tal vez... Tal vez...

La probabilidad de que ocurriese algo mientras observaba era de uno entre muchos billones, pero, por si acaso, quería estar listo y a la espera.

Pero, desde luego, nada sucedió.

¿Qué era lo que esperaba? Bueno, empecemos por el principio.

Alrededor del año 130 a. de J. C., el astrónomo griego Hiparco (190-120 a. de 3. C.) preparó el primer catálogo de estrellas. Hizo una lista de casi 850 estrellas, empleando los nombres que se les daban entonces, y expresó su latitud y su longitud con respecto a la eclíptica —el curso seguido por el Sol sobre el fondo estrellado— y la posición particular del Sol en el equinoccio de primavera.

¿Por qué lo hizo? Según el autor romano Plinio (23-79), que escribió dos siglos más tarde, fue porque había «descubierto una nueva estrella».

Recordad que, antes del invento del telescopio, casi todos los que observaban las estrellas daban por cierto que todas eran observables para las personas de aguda visión. La noción de una estrella invisible parecía contradictoria. Si era invisible, no era una estrella.

Sin embargo, las estrellas varían en brillo, y la mayor parte de ellas son tan opacas que resultan difíciles de ver. ¿No sería posible que algunas de ellas —al menos unas pocas— fuesen tan opacas que la vista humana, por muy aguda que fuese, no pudiese distinguirlas? A nosotros, que pensamos con la brillantez de la visión retrospectiva, aquella posibilidad nos parece ahora tan abrumadoramente lógica, que nos preguntamos cómo pudieron antes dejar de verla.

Lo malo es que, hasta hace aproximadamente cuatro siglos y medio, el hombre vivía en un universo homocéntrico y creía firmemente que el Universo entero había sido creado sólo con el fin de ejercer algún efecto sobre los seres humanos. (Incluso hoy, la mayoría de los seres humanos viven en este universo.)

La gente podía argüir que las estrellas existían sólo porque eran tan hermosas que deleitaban nuestros ojos y nos incitaban al arrobo y al romanticismo.

O, de manera más práctica, podían argüir que las estrellas formaban un criptograma complejo, sobre el cual unos objetos móviles, como el Sol, la Luna, los planetas, los cometas y los meteoros, marcaban caminos que podían servir de guía a los humanos.

O, de manera más sublime, podían sostener que las estrellas tenían por objeto influir al alma un sentido de su propia insignificancia, e insinuarle la existencia de un ser superior, más allá del alcance o la comprensión humanos. («Los cielos pregonan la gloria de Dios, y el firmamento anuncia la obra de sus manos.» Salmos, 19, 2.)

En un universo homocéntrico no tiene sentido imaginar una estrella invisible. ¿Qué objeto tendría? Al no ser vista, no podría servir a la estética, ni al utilitarismo, ni a la religión.

Sin embargo, Hiparco, después de haber contemplado lo bastante el cielo y haber pasado mucho tiempo estudiando la posición de los planetas sobre el fondo estrellado para conocer de memoria la situación de las mil estrellas más brillantes, miró una noche el cielo y vio una que no estaba allí la última vez que había mirado.

Sólo podía suponer que se trataba de una estrella *nueva*, recién formada. Y también temporal, pues, en definitiva, se desvaneció de nuevo. (Plinio no lo dice así, pero podemos estar seguros de ello.)

A Hiparco debió de parecerle que aquella intrusión celeste era un notable acontecimiento, y debió de preguntarse si ocurría con frecuencia. Seguramente no hay informes anteriores sobre nuevas estrellas, pero la silenciosa intromisión podía haber pasado sencillamente inadvertida. Pocos conocían el cielo tan bien como Hiparco, y una ligera irregularidad podía no advertirse. Por consiguiente, preparó su catálogo, con el fin de que, si algún futuro observador de las estrellas tenía la menor sospecha de una novedad, pudiese consultarlo para ver si se había presumido la existencia de una estrella en la posición de la que había sido observada.

Ocasionalmente, aunque con poca frecuencia, se observaron nuevas estrellas en los siglos que siguieron a Hiparco. Una particularmente notable apareció en la constelación de Casiopea el 11 de noviembre de 1572. Un astrónomo danés de veintiséis años, Tycho Brahe (1546-1601), la observó cuidadosamente y escribió sobre ella un libro de cincuenta y dos páginas que le convirtió, de golpe, en el astrónomo más famoso de Europa.

Tycho (generalmente se le conoce por el primer nombre) dio al libro un largo título que, usualmente, se resume en *Concerniente a la nueva estrella*. Sin embargo, y como escribió en latín, el título debería ser, en realidad, *De Nova Stella*. Desde entonces, toda «nueva estrella» ha sido llamada *nova*, que es la palabra latina que significa «nueva»[14].

Y en 1609, Galileo (1564-1642) construyó su primer telescopio, enfocó con él hacia el cielo y advirtió inmediatamente que cada estrella parecía más brillante y que muchas estrellas, demasiado opacas para ser observadas a simple vista, brillaban y se hacían visible gracias a él. Así descubrió que existían numerosas estrellas invisibles, en mayor número que las visibles. Si alguna de ellas se hacía, por alguna razón, lo bastante brillante, se haría percibible a simple vista y, en los tiempos anteriores al telescopio, debió de aparecer como una estrella «nueva».

En 1596, por ejemplo, el astrónomo alemán David Fabricius (1564-1617) había observado una estrella de tercera magnitud en la constelación de la Ballena, que palideció y, en definitiva, desapareció. Él la consideró otra estrella temporal, que había llegado y se había ido, como las que habían observado Hiparco y Tycho. Sin embargo, en el curso del siglo siguiente, la estrella fue vista en el mismo lugar en varias ocasiones. Con el empleo del telescopio se descubrió que estaba siempre allí, pero que variaba de brillo de un modo irregular. Cuando estaba más pálida, era invisible a simple vista, pero podía aumentar de brillo en diferentes grados, haciéndose visible, y en 1779 alcanzó la primera magnitud, aunque sólo temporalmente. Fue denominada Mira («maravillosa»), aunque su nombre más sistemático es Omicron Ceti.

Actualmente, cualquier estrella es clasificada como nova si brilla con fuerza y súbitamente, aunque al principio puede ser tan opaca que, incluso cuando brilla más, sigue siendo invisible a simple vista. También hay estrellas que pueden brillar y oscurecerse *con regularidad*, pero entonces son «estrellas variables» y no son consideradas novas. Por otra parte, las novas suelen clasificarse como una subdivisión de las estrellas variables.

Ahora que contamos con la ayuda del telescopio, las novas no son tan maravillosas ni tan raras como lo eran antaño. Por término medio, se presentan unas veinticinco al año en nuestra

[14] El plural latino es *novae*, pero una continua pérdida de interés en los detalles latinos ha hecho que se emplease corrientemente la palabra «novas» como plural. También decimos «fórmulas» en vez de *formulae, y* supongo que el día menos pensado la gente empezará a hablar de «dos memorándums».

galaxia, aunque la mayor parte de ellas permanecen ocultas, ya que las nubes de polvo sólo nos permiten ver nuestro propio rincón de la galaxia.

Generalmente, la nova llega sin previo aviso, y sólo es detectada al brillar de súbito. Creo que a nadie le ha ocurrido estar mirando una estrella y sorprenderla en el momento en que empezaba a aumentar de brillo. En cambio, tras brillar y ser detectada, puede observarse después de desvanecerse en lo que, probablemente, era antes.

Esas «posnovas» fueron cada vez más estudiadas y, en los años cincuenta, quedó claro que todas ellas, sin excepción, eran binarias próximas. Resultó que una nova era una pareja de estrellas que giraban alrededor de un centro de gravedad común, y tan cerca la una de la otra, que ejercían entre sí una considerable influencia de atracción. Un miembro de la pareja era siempre una estrella blanca enana, mientras que el otro era una estrella normal.

Lo que ocurría está claro. La influencia de atracción de la enana blanca sobre su compañera extraía de ésta materia rica en hidrógeno. Esta materia formaría un anillo alrededor de la enana blanca, girando lentamente en espiral en su dirección. Al acercarse la materia a la enana blanca, se vería sometida a una intensa atracción gravitatoria, que la condensaría y produciría una fusión de hidrógeno en su interior. La estrella blanca enana sería siempre algo más brillante de lo que lo habría sido caso de no haber estado acompañada, debido a la refulgente nube de hidrógeno extraído a su compañera.

De vez en cuando, sin embargo, grandes cuajarones de materia se desprenderían de la estrella principal —sin duda, por una actividad desacostumbrada en su superficie—, y una cantidad relativamente grande de hidrógeno descendería sobre la enana blanca. La explosión resultante produciría una luz muchas veces más intensa que la que podía producir por sí sola la enana blanca, y, vista desde la Tierra, la estrella —mostrándose a nuestros ojos como un solo punto de luz, incluyendo a ambas compañeras— se volvería, de pronto, mucho más brillante de lo que era. Después, el hidrógeno suministrado sería, en definitiva, consumido, y la estrella palidecería y volvería a ser como antes..., hasta la próxima entrega.

Pero eso no es todo.

En 1885 fue vista una estrella en la región central de lo que entonces era conocida como nebulosa de Andrómeda, un lugar donde hasta entonces no se había observado ninguna estrella. Permaneció allí durante un periodo de tiempo y después se extinguió, lentamente, hasta desaparecer. En el momento de su máximo fulgor no fue lo suficientemente brillante como para ser percibida a simple vista, y fue considerada como un ejemplar bastante pobre. No se consideró importante el hecho de que brillase lo bastante como para arrojar casi tanta luz como toda la nebulosa de Andrómeda.

Pero supongamos que la nebulosa de Andrómeda no fuese una acumulación de polvo y gas relativamente cercana (como creían entonces la mayoría de los astrónomos), sino que resultase ser un conjunto de estrellas muy lejano, tan grande y complejo como nuestra propia galaxia. Algunos astrónomos sospechaban *esto*.

En los años diez, un astrónomo norteamericano, Heber Doust Curtis (1872-1942), estudió la nebulosa de Andrómeda y empezó a observar que se producían pequeños fulgores en su interior. Creyó que eran novas. Si la nebulosa de Andrómeda estaba muy lejos, las estrellas de su interior brillarían tan débilmente que la nebulosa, vista desde la Tierra, parecería una simple niebla. Las novas brillarían hasta poder ser individualmente distinguidas con un buen

telescopio, pero serían aún sumamente oscuras en comparación con las estrellas de nuestra propia galaxia.

Curtis localizó un gran número de novas en la nebulosa de Andrómeda, docenas de veces más numerosas que las que aparecían al mismo tiempo en otros sectores de cielo de tamaño similar. Sacó la conclusión de que la nebulosa era, ciertamente, una galaxia y contenía tantas estrellas que las novas debían ser numerosas. Tenía razón. La galaxia de Andrómeda (como sabemos ahora) está a unos 700.000 parsecs de nosotros, o sea más de treinta veces más allá que la estrella más alejada de nuestra galaxia. (Un parsec es igual a 3,26 años luz.)

En tal caso, ¿cómo podía la nova de 1885 haber brillado hasta el punto de ser casi percibible a simple vista? En 1918, Curtis sugirió que la nova de 1885 había resultado un caso excepcional, una nova extraordinariamente brillante. De hecho, si la nebulosa de Andrómeda es realmente una galaxia tan grande como la nuestra, la nova de 1885 brilló con la intensidad de toda una galaxia, y fue, temporalmente, muchos miles de millones de veces más luminosa que nuestro Sol. Las novas ordinarias son apenas unos pocos cientos de veces más luminosas (temporalmente) que el Sol.

En los años treinta, el astrónomo suizo Fritz Zwicky (1898 1974) realizó una laboriosa búsqueda de novas de otras galaxias que resplandecían con un brillo galáctico, y llamó «supernovas» a estas estrellas de brillo extraordinario. (La nova de 1885 es llamada ahora «S Andromedae».)

Si bien una nova puede repetirse muchas veces, es decir, cada vez que recibe un gran suministro de hidrógeno de su pareja, las supernovas sólo brillan una vez.

La supernova es una estrella grande que ha consumido todo el carburante de su núcleo y ya no puede mantenerse contra el tirón de su propia gravedad. Entonces, no tiene más alternativa que derrumbarse. Al hacerlo así, la energía cinética del movimiento hacia dentro se convierte en calor, y el hidrógeno, que todavía existe en sus regiones exteriores, es calentado y comprimido hasta el punto de producirse las reacciones de fusión. Todo el hidrógeno se inflama más o menos al mismo tiempo, y la estrella hace explosión; al soltar todo su caudal de energía en un tiempo muy breve, brilla temporalmente con un resplandor que rivaliza con el de toda una galaxia de estrellas ordinarias.

Lo que queda de ella después de la explosión se encoge hasta convertirse en una pequeña estrella de neutrones y, desde luego, nunca vuelve a estallar.

Las supernovas son mucho más raras que las novas, como quizás habréis imaginado. Como máximo, habría una supernova por cada 250 novas ordinarias, poco más o menos. En una galaxia de las dimensiones de la nuestra podría haber una cada diez años, pero la mayor parte de ellas quedarían ocultas por las nubes de polvo existentes entre el lugar de la explosión y nosotros. Quizás una vez cada tres siglos, aparecería una supernova, perceptible a simple vista o a través de nuestros telescopios ópticos en el relativamente pequeño rincón de nuestra galaxia.

Naturalmente, las supernovas son mucho más espectaculares que las novas, vistas ambas a distancias comparables. Entonces hay que preguntar: ¿Se ha visto alguna vez una supernova en nuestro rincón de la galaxia?

La respuesta es: ¡Sí!

La «nueva estrella» vista por Tycho fue, indudablemente, una supernova. Su brillo aumentó rápidamente, hasta ser más intenso que el de Venus. Fue visible durante el día, y por la noche proyectó una débil sombra. Se mantuvo muy brillante durante un par de semanas, y permaneció perceptible a simple vista durante un año y medio, antes de desvanecerse por completo.

En 1604 brilló otra supernova, que fue observada por el astrónomo alemán Juan Kepler (1571-1630). No resultó tan luminosa como la supernova de Tycho, pues nunca brilló más que el planeta Marte. Pero la supernova de Kepler estaba más lejos que la de Tycho.

Esto quiere decir que dos supernovas brillaron intensamente sobre la Tierra en un espacio de treinta y dos años. Si Tycho —que murió en 1601 a la edad de cincuenta y cuatro años— hubiese vivido tres años más, habría podido observar las dos.

Y, sin embargo —tal es la ironía de los acontecimientos—, en los casi cuatrocientos años transcurridos desde entonces, *no ha aparecido una sola supernova local*. Los instrumentos de los astrónomos han avanzado de un modo increíble —telescopios, espectroscopios, cámaras, radiotelescopios, satélites—, pero no han captado supernovas. La más cercana visible desde 1604 fue «S Andromedae».

¿Hubo alguna supernova *antes* de Tycho?

Ciertamente, sí. En 1054 —posiblemente, el 4 de julio, en una notable celebración anticipada—, una supernova brilló en la constelación de Tauro y fue registrada por astrónomos chinos. También ésta, resultó, al principio, más brillante que Venus, y también se desvaneció lentamente. Fue observable a simple vista en las horas diurnas durante tres semanas, y por la noche, durante dos años.

Salvo el Sol y la Luna, fue el objeto más brillante que apareció en el cielo en los tiempos históricos. Aunque parezca extraño, ninguna observación de la supernova de Tauro se menciona en ninguna de las fuentes europeas o arábigas que se conservan.

Pero esta historia tiene una continuación. En 1731, un astrónomo inglés, John Bevis (1693-1771), observó por primera vez una manchita de nebulosidad en Tauro. El astrónomo francés Charles Messier (1730-1817) publicó una relación de objetos nebulosos cuarenta años más tarde, y la nebulosidad de Tauro fue la primera de la lista. Por eso se denomina, a veces, M1.

En 1844, el astrónomo irlandés William Parsons (Lord Rosse, 1800-1867) la estudió y, observando una especie de garras que se extendían en todas direcciones, la llamó Nebulosa del Cangrejo. Es el nombre generalmente aceptado hoy en día.

No sólo se encuentra la nebulosa del Cangrejo en el lugar exacto registrado para la supernova de 1054, sino que es, obviamente, resultado de una explosión. Las nubes de gas de su interior son empujadas hacia fuera a una velocidad que puede medirse. Calculando retrospectivamente, se observa que la explosión se produjo hace nueve siglos.

En 1942, el astrónomo germano-norteamericano Walter Baade (1893-1960) detectó una pequeña estrella en el centro de la nebulosa del Cangrejo. En 1969, aquella estrella fue reconocida como un «pulsar», una estrella de neutrones de rápida rotación. Es el pulsar más joven que se conoce; gira treinta veces por segundo, y es todo lo que queda de la gigantesca estrella que estalló en 1054.

La nebulosa del Cangrejo está a unos 2.000 parsecs de nosotros, lo cual, habida cuenta de las distancias existentes en la galaxia, no resulta muy lejano, y por ello no es de extrañar que su aparición resultase tan magnífica. (Las supernovas más lejanas de 1572 y 1604 no han dejado restos claramente reconocibles.)

Sin embargo, pudo haberse producido un acontecimiento aún más asombroso en los tiempos prehistóricos.

Hace aproximadamente 11.000 años, en una época en que el hombre del Oriente Medio no tardaría en desarrollar la agricultura, estalló una estrella que estaba sólo a unos 460 parsecs de nosotros (menos de una cuarta parte de la distancia de la supernova de 1054).

En su momento culminante, la supernova pudo tener un brillo casi igual al de la Luna llena, y esta aparición de una segunda luna, que no se movía sobre el fondo estrellado del cielo ni mostraba un disco o unas fases visibles, y que se desvaneció lentamente, tardando quizá tres años en desaparecer por completo, debió de pasmar a nuestros aún no civilizados antepasados.

Naturalmente, no existen documentos de aquella época (aunque hay algunos símbolos en lugares prehistóricos que pueden indicar que algo desacostumbrado se había observado en el cielo), pero tenemos pruebas indirectas.

En 1930, el astrónomo ruso-norteamericano Otto Struve (1897-1963) detectó una amplia zona de nebulosidad en el cielo, en la constelación de la Vela, que está muy abajo en el cielo meridional, y es totalmente invisible desde posiciones tan septentrionales como Nueva York.

Esta nebulosidad tiene la forma de una concha de gas y polvo, surgidos de la supernova Vela hace 11.000 años. Es la misma clase de fenómeno de la nebulosa del Cangrejo, pero se ha estado extendiendo durante un período de tiempo superior en más de doce veces, por lo cual es mucho más grande.

Fue estudiada detalladamente en los años cincuenta por un astrónomo australiano, Colin S. Gum, y, en consecuencia, es conocida por el nombre de «nebulosa de Gum». El borde más próximo de la nebulosa está sólo a unos 92 parsecs de nosotros, y, al ritmo en que se está extendiendo, puede cruzar el Sistema Solar dentro de más o menos 4.000 años. Sin embargo, la materia que contiene es tan tenue —y lo será más dentro de 4.000 años—, que no es probable que nos afecte de una manera sensible.

¿Cuándo aparecerá la próxima supernova visible? ¿Y qué estrella será la que haga explosión?

Si hubiésemos podido observar una supernova cercana en el proceso de explosión con toda la batería de instrumentos modernos, tal vez podríamos contestar estas preguntas con bastante precisión, pero, como he dicho, estamos acercándonos al final de un desierto de cuatro siglos en lo tocante a estos acontecimientos.

Sin embargo, conocemos unas cuantas cosas. Sabemos, por ejemplo, que cuanto mayor es la masa de una estrella, más rápidamente consume su núcleo de combustible, más breve es su vida como «estrella de orden principal» ordinaria y más rápido y catastrófico es su colapso.

Incluso una estrella tan grande como nuestro Sol expulsará sólo una pequeña fracción de su masa cuando llegue el momento, y después se colapsará hasta convertirse en una enana blanca.

La masa expulsada se extenderá hacia fuera, formando lo que llamamos una «nebulosa planetaria», porque se ve como un anillo que rodea una estrella, anillo que, hace cien años, se pensaba que era precursor de la formación de un planeta.

Para que se produzca una verdadera explosión y una postenor reducción hasta una estrella de neutrones, la masa de la estrella tiene que ser, como mínimo, equivalente a 1,4 veces la del Sol, y, probablemente, una explosión notable requerirá una estrella que posea diez o veinte veces la masa del Sol.

Ciertamente, tales estrellas son raras. Puede que entre 200.000 no haya más que una estrella con masa suficiente para producir una supernova importante. Sin embargo, esto deja unas 100.000.000 posibles en nuestra galaxia y tal vez 300.000 en nuestro rincón visible de ella. Estas estrellas gigantescas tienen una vida, en la secuencia principal, de sólo 1 a 10 millones de años —en comparación con los 10 a 12 millones de años del Sol—, por lo cual, a escala astronómica, explotan con frecuencia.

Quizás os preguntéis por qué, si se forman supernovas una vez cada decenio, las estrellas gigantes no han estallado ya. A este ritmo, todas las estrellas gigantes habrían desaparecido en mil millones de años, y la galaxia tiene casi 15 mil millones de años de edad. En realidad, si sólo duran unos pocos millones de años antes de explotar, ¿por qué no desaparecieron todas ellas en la infancia de la galaxia?

La respuesta es que constantemente se están formando más, y que todas las estrellas gigantes que existen ahora en cualquier parte de la galaxia nacieron hace sólo 10 millones de años o menos.

No hay manera de que podamos observarlas continuamente a todas, pero tampoco hace falta. El principio del deslizamiento hacia el estado de supernova es fácilmente observable, y sólo necesitamos concentrar la atención en aquellas que han experimentado dicho comienzo.

Cuando una estrella llega al fin de su estancia en la secuencia principal, empieza a dilatarse. Al hacerlo se vuelve roja, ya que su superficie se enfría con la expansión. Se convierte entonces en una gigante roja. Este paso es universal. En algún tiempo futuro —entre cinco y siete mil millones de años a partir de ahora— nuestro Sol se convertirá en una gigante roja, y la Tierra podría quedar destruida físicamente en el proceso.

Cuanto más masiva sea una estrella, mayor será, naturalmente, la fase de gigante roja; por esto, no debemos buscar sólo estrellas masivas, sino masivas gigantes rojas.

La gigante roja más próxima es Scheat, en la constelación de Pegaso. Está a una distancia de apenas 50 parsecs y su diámetro es, aproximadamente, 110 veces el del Sol. Como gigante roja resulta pequeña, y si no crece más, no tendrá probablemente, una masa mayor que la del Sol, y no llegará nunca a ser una supernova. Si todavía se está dilatando, tendrá que pasar mucho tiempo antes de que estalle.

Mira —a la que he mencionado anteriormente en este mismo capítulo—, está a una distancia de 70 parsecs, tiene un diámetro 420 veces mayor que el del Sol y es definitivamente más masiva que éste.

Pero hay tres gigantes rojas aún más masivas, y todas ellas a una distancia de nosotros de unos 150 parsecs. Una de ellas es Ras Algethi, en la constelación de Hércules, con un diámetro 500

veces superior al del Sol, y otra es Antares, en Escorpión, con un diámetro de 640 veces el del Sol. (Por eso no puedo dejar de observar Antares cuando estoy en las Bermudas. Imaginaos que la estuviese mirando en el momento en que decidiese estallar y pudiese ver cómo aumentaba su brillo hasta ser mucho mayor que el de Venus en el espacio de una hora o menos. ¡Oh!)

Todavía más grande es Betelgeuse, en Orión. Y no sólo es grande, sino también pulsátil, y su brillo varía. Esto podría indicar la inestabilidad que precede a la explotación. Es como si la estrella se fuese encogiendo y entonces, al aumentar la presión en su núcleo, expulsase un poco más de energía y, con ello, volviese a dilatarse. (Esta pulsación se advierte también en Mira.)

Sin embargo, los astrónomos han descubierto ahora cuál puede ser la mejor candidata. Es Eta Carinae, en la constelación de Carina. Se trata de una enorme gigante roja, incluso mayor que Betelgeuse, y tiene una masa que se calcula en unas cien veces la del Sol.

Está rodeada por una nube de gas densa y en expansión, que puede significar lo que podríamos considerar como su agonía mortal. Más aún: muestra unos cambios de brillo marcados e irregulares, ya porque está pulsando, ya porque a veces la vemos a través de desgarrones en la nube envolvente, y a veces la vemos oscurecida.

Desde luego, puede llegar a ser muy brillante. En 1840 era la segunda estrella del cielo en brillo, superada solamente por Sirio (aunque, con toda seguridad, Eta Carinae está mas de mil veces más alejada de nosotros que Sirio).

En este momento, Eta Carinae es demasiado opaca para ser observada a simple vista. Sin embargo, su radiación es absorbida por la nube envolvente e irradiada como infrarroja. Podemos hacernos una idea de la energía que emite si consideramos que es el objeto, fuera de nuestro propio Sistema Solar, que emite una radiación infrarroja más intensa en el cielo.

Por último, los astrónomos han detectado recientemente en la nube nitrógeno que ésta expulsa, y consideran que también esto indica una fase avanzada en los cambios de la presupernova. Lo más probable parece ser que Eta Carinae no dure más de 10.000 años, aunque podría estallar mañana. Como la luz tardó 9.000 años en viajar desde Eta Carinae hasta nosotros, es posible que la estrella haya estallado ya y que la luz de la explosión esté en camino. En todo caso, los astrónomos están apercibidos y a la espera.

¿Alguna pega? ¡Dos!

Primera: Eta Carinae está, aproximadamente, a 2.750 parsecs de nosotros, casi veinte veces más lejos que Betelgeuse, y el brillo de la supernova estará un tanto mitigado por la enorme distancia.

Segunda: la constelación, Carina, está muy alejada en el cielo meridional, y cuando la supernova llegue, no será visible en Europa ni en la mayor parte de los Estados Unidos.

Pero no se puede pedir todo.

XIII
EL CENTRO MUERTO

Acabo de recibir una carta de alguien que, sabiendo que yo vivía en Nueva York, se preguntaba cómo podía soportar una persona vivir en una ciudad grande, o en *cualquier* ciudad. El —según decía— vivía en una población de 5.000 habitantes, y pensaba trasladarse a otra de sólo 600.

Podéis imaginaros lo mucho que esto me indignó.

Mi primera intención fue la de contestarle y decirle, con altivez, que la única ventaja de vivir en una población pequeña era la de que la muerte era menos terrorífica en ella. Pero dominé mi impulso y no le contesté. ¡A cada cual lo suyo!

Y, sin embargo, me parece que debe de haber algo en cada uno de nosotros que nos hace sentir cierto anhelo de «centrismo». Una gran ciudad es el centro de una región. Más allá están las «afueras», los «suburbios», el *hinterland*. Estas palabras indican ya que la ciudad es la esencia, mientras que todo lo demás es subsidiario.

Me causa cierto deleite saber que no vivo simplemente en una ciudad, sino en Manhattan, en el centro de Nueva York, una región tan única en muchos aspectos que creo, sinceramente, que la Tierra está dividida en dos mitades: Manhattan y no-Manhattan.

Incluso alardeo de vivir en el mismísimo centro geográfico de Manhattan, aunque esto no es exactamente cierto. El verdadero punto central es el bien llamado Central Park y, si no me equivoco, yo vivo aproximadamente a medio kilómetro al oeste de aquel punto.

Y no soy el único que mantiene esta actitud «centrocéntrica». Todo el mundo lo hace. Los estadísticos se toman muchísimo trabajo en determinar el centro geográfico exacto de los Estados Unidos. (Si os interesa, el centro geográfico de los cuarenta y ocho Estados contiguos se encuentra en el Condado de Smith, Kansas, cerca de la población de Lebanon. Si añadís Alaska y Hawai, el centro se desplaza hacia el Noroeste, hasta el Condado de Butte en Dakota del Sur, al oeste de la villa de Castle Rock.)

Podríais encontrar fácilmente el centro de cualquier región, nación, continente u océano. Supongo que cualquiera puede elegir cuidadosamente una zona de manera que pueda él mismo situarse en el centro de algo. (La capital del Condado de Smith, Kansas, está en el centro geográfico del Condado, y lleva, orgullosamente, el nombre de Smith Center.)

Sin embargo, esto reduce el placer del centrocentrismo. Si todo el mundo puede estar en el centro de algo, ¿qué valor tiene esto?

Tenemos que dejarnos de tonterías e imaginar alguna manera de decidir cuál es el centro de la Tierra misma, algo único en todo el mundo.

En los tiempos en que la gente creía que la Tierra era un disco plano rodeado por todas partes por el cielo, que se encontraba con ella en el horizonte, cada persona debió de creer que estaba en el mismísimo centro del mundo. Sin embargo, no tuvieron que progresar demasiado para darse cuenta de que la Tierra era más grande de lo que podía verse dentro del horizonte circular. Y hubo que desterrar el «Universo egocéntnco».

Sin embargo, la gente se resistía a pensar que el centro estaba muy lejos de sus propios pies. Si uno no era el centro, tenía que serlo su propia cultura..., y, en concreto, el lugar más excelso en relación con aquella cultura, si es que lo había. Así, los antiguos judíos estaban completamente

seguros de que Jerusalén se hallaba en el centro de la Tierra, y situaban el punto central exacto en el Sanctasanctórum del templo de Jerusalén.

Los griegos —por razones muy parecidas— creían que Delfos estaba en el centro de la Tierra, y situaban el punto central exactamente en la grieta sobre la que se sentaba la pitonisa para inhalar sus vapores y emitir los sonidos incoherentes que eran traducidos en profecías.

Y —no del todo en son de chanza— los viejos yanquis creían que Boston estaba en «el centro del Universo», y situaban aquel centro precisamente en la Casa del Estado.

Supongo que todo grupo inventa un «universo culturocéntrico», literal o simbólicamente.

Pero la diversión finalizó al descubrirse que la Tierra no era plana, sino esférica (no *exactamente* esférica, pero no nos andemos con sutilezas). La superficie de una esfera no tiene centro.

Desde luego, una esfera rotatoria tiene dos puntos especiales en su superficie, el Polo Norte y el Polo Sur, pero ambos se hallan en una situación tan indeseable, que pierden su valor. Nadie se sentiría particularmente orgulloso de vivir en un Polo; ni nadie se vería impulsado a levantar en uno de ellos un santuario religioso central.

Arbitrariamente, dividimos la superficie de la Tierra en grados de latitud y de longitud, y hay un lugar único que está a 0° de latitud y 0° de longitud, pero esto es resultado de un convencionalismo humano. Dicho punto está emplazado en el golfo de Guinea, a unos 625 km al sur de Accra, capital de Ghana. ¿Quién va a establecer un santuario religioso en el océano?

Hay otras coincidencias aritméticas, que podríamos resaltar. Por ejemplo, a sólo 130 km al oeste de la Gran Pirámide hay un punto que está a 30° de latitud Norte y a 30° de longitud Este. Y algunas personas sugirieron seriamente que los antiguos egipcios obedecieron a un propósito místico al construir sus pirámides cerca del «doble treinta». (Desde luego, no fue el doble treinta hasta unos 4.200 años después de la construcción de las pirámides, cuando los ingleses trazaron el primer meridiano de manera que pasase por el observatorio de Greenwich, cerca de Londres, por sus propias razones decididamente culturocéntricas. Por consiguiente, la relación de la Pirámide con el doble treinta se reduce, como tantas otras cosas, a pura coincidencia, y sería una estupidez sostener lo contrario.)

De todo ello se desprende que, cuando se trata de una esfera, debemos abandonar decididamente la superficie si queremos ser auténticamente céntricos. Debemos buscar el verdadero centro, el centro muerto, que sea equidistante de cualquier punto de su superficie. El centro de la Tierra está a 6.378 km en línea recta y hacia abajo, sea cual fuere el punto en que se encuentre uno (siempre que se considere a la Tierra como una esfera perfecta y se prescinda de la comba ecuatorial y de las desigualdades de montes y valles).

Ninguno de nosotros tiene el privilegio (ni lo desea), de vivir en el centro de la Tierra, pero ninguno está más cerca o más lejos de él en un grado significativo, lo cual es buena cosa. Si somos «excéntricos» —en el sentido literal de la palabra—, todos lo somos en igual magnitud.

Los antiguos filósofo griegos fueron los primeros que hubieron de contender con una Tierra esférica, y siguieron esforzándose por hacer que el Universo fuese lo más egocéntrico posible. (No les censuro, creedme, pues yo habría hecho seguramente lo mismo.)

Convirtieron el centro de la Tierra en el centro del Universo en su conjunto. En definitiva, se imaginaron la Tierra como rodeada por una serie de esferas concéntricas que contenían, respectivamente, la Luna, Mercurio, Venus, el Sol, Marte, Júpiter, Saturno y las estrellas, por este orden y hacia fuera. El centro de cada una de estas esferas coincidía con el de la Tierra.

Las matemáticas que tenían que utilizarse para predecir la posición de los planetas en el cielo, sobre el telón de fondo de las estrellas, y siempre presumiendo un «Universo geocéntrico», fueron elaboradas por Hiparco de Rodas alrededor del 130 a. de J.C., y perfeccionadas por Claudio Tolomeo (100-170) aproximadamente en el 150 de nuestra Era.

Algunos astrónomos griegos, principalmente Aristarco de Samos (310-230 a. de J. C.) y Seleuco de Seleucia (190-120 a. De J. C.) no estuvieron de acuerdo, pero se hizo caso omiso de ellos.

Hubo que esperar a 1543 para que el astrónomo polaco Nicolás Copérnico (1474-1543) demostrase que las matemáticas empleadas para predecir las posiciones planetarias pudieran simplificarse si se presumía que el Sol, y no la Tierra, estaba en el centro del Universo. Esto lo convertía en un «Universo heliocéntrico».

Copérnico creía que el Sol estaba rodeado por esferas concéntricas que contenían Mercurio, Venus, la Tierra —y su servidora, la Luna—, Marte, Júpiter, Saturno y las estrellas, por este orden y hacia fuera. El centro de cada una de estas esferas coincidía con el del Sol.

No era sólo cuestión de colocar a individuos particulares fuera del centro, como en el caso de un Universo culturocéntrico, o a toda la gente fuera del centro, como en el caso de un Universo geocéntrico. La propia y vasta Tierra estaba descentrada, y ésta fue la causa de que los astrónomos en general tardaran cincuenta años en aceptar el Universo heliocéntrico. (Incluso hoy, si sometiésemos el asunto a votación entre los moradores de la Tierra, creo que el heliocentrismo saldría derrotado.

En 1609, el astrónomo alemán Johannes Kepler dio al traste con las esferas. Demostró que el movimiento real de los planetas en el cielo podía explicarse mejor suponiendo que se movían en órbitas elípticas. Esta visión del Sistema Solar, con ligeros refinamientos, ha sido conservada desde entonces.

Las elipses tienen centros, como los tienen los círculos y las esferas, pero el centro de las elipses que caracterizan las órbitas planetarias no coinciden con el centro del Sol. El Sol está, más bien, en el foco de cada elipse, y el foco se halla, a su vez, a un lado del centro.

En 1687, el científico inglés Isaac Newton (1642-1727) presentó su ley de la gravitación universal y, partiendo de ella, se comprendió que el Sistema Solar, en su conjunto, tenía un centro de gravedad, el cual podía ser considerado como inmóvil, mientras que todos los cuerpos del Sistema Solar (¡incluido el Sol!) giraban alrededor de aquel centro de una manera bastante complicada. El Sol estaba, en todo momento, más cerca del centro de gravedad que cualquier otro cuerpo del Sistema Solar, de modo que, con bastante aproximación, podía seguir diciéndose que todos los planetas giraban alrededor del Sol.

El centro de gravedad estaba a menudo tan lejos del centro del Sol —más o menos, en la dirección de Júpiter— que se hallaba más allá de su superficie, pero, a escala del Sistema Solar, una distancia de 1.000.000 de km del centro del Sol significa poco, por lo cual podemos seguir considerando el Sol como el centro aproximado del Sistema.

Sin embargo, es el centro de gravedad del Sistema Solar el que está en el centro del Universo en el sentido copernicano, por lo que deberíamos hablar de un «Universo sistemocéntrico», más que heliocéntrico.

Incluso en los tiempos de Newton podía hablarse con bastante sensatez de un Universo sistemocéntrico, ya que —por lo que todos sabían— las estrellas podían estar regularmente repartidas alrededor del Sistema Solar, y fijadas todas ellas a un fino armazón sólido (o «firmamento») justo más allá del planeta más lejano. Esto, ciertamente, coincidía con las apariencias (y quizá lo sigue creyendo la mayoría de la población de la Tierra).

El primer revés le fue propinado al firmamento en 1718, cuando el astrónomo inglés Edmund Halley observó que al menos tres de las estrellas más brillantes —Sirio, Proción y Arturo— habían cambiado sensiblemente de posición desde los tiempos griegos. Otros astrónomos detectaron en otras estrellas tales cambios de posición.

Quedó claro que, a fin de cuentas, las estrellas no estaban fijas en el firmamento, sino que se desplazaban con velocidades diferentes y en varias direcciones, y esto hacía dudar de que existiese el firmamento. Fue posible —en realidad, casi irresistible— suponer que las estrellas ocupaban un espacio dentro del cual se movían al azar, como un enjambre de abejas. Si todas se movían a velocidades aproximadamente iguales, las más próximas al Sistema Solar parecerían moverse con mayor rapidez, mientras que las más lejanas parecerían moverse tan despacio, que tal movimiento no sería observable ni siquiera en largos períodos de tiempo.

En 1838, el astrónomo alemán Friedrich Wilhelm Bessel (178@~l846) estableció por primera vez la distancia de una estrella. La distancia de otras estrellas fue determinada rápidamente. Resultó que la más próxima está a 1,3 parsecs de nosotros. La distancia entre el Sol y la estrella más próxima es 9.000 veces mayor que la distancia entre el Sol y el planeta grande más lejano. Otras estrellas están aún mucho más lejos; en realidad, a cientos o quizás a miles de parsecs.

No obstante, si las estrellas existiesen en número finito y estuviesen distribuidas con simetría esférica alrededor del Sol —por muy grandes que fuesen sus distancias—, el Universo podría seguir siendo sistemocéntrico.

Consideremos...

Todos los cuerpos del Sistema Solar, incluido el Sol, giran alrededor del centro de gravedad del Sistema. (Algunos objetos, los satélites, lo hacen al mismo tiempo que giran alrededor del centro de gravedad de un sistema particular de satélites. Así, la Luna y la Tierra giran alrededor del centro de gravedad del sistema Tierra-Luna, y ambos son arrastrados, al girar este centro de gravedad alrededor del centro de gravedad total del Sistema Solar.) No es necesario que todos los cuerpos del Sistema Solar giren en el mismo plano. Desde luego, los planetas casi lo hacen, pero si incluimos los asteroides y los cometas, los cuerpos que giran forman una gruesa concha esférica alrededor del centro de gravedad del Sistema Solar, con el Sol muy cerca de ese centro.

De la misma manera, podríais imaginar que todas las estrellas —quizá cada una de ellas con un sistema adjunto de planetas— giran alrededor del centro de gravedad de todo el sistema estelar, y que este centro de gravedad coincide, o casi, con el del Sistema Solar; entonces, todo el Universo seguiría siendo sistemocéntrico.

Desde luego, cuanto más grande resultase ser el Universo y cuanto más seguros estuviésemos de que se compone de millones de estrellas —cada una de las cuales rivaliza en tamaño con el Sol—, menos razonable parecería que el Universo fuese sistemocéntrico. ¿Por qué el vasto Universo, con sus millones de estrellas, tendría que tenernos a *nosotros* como centro, y por qué habría de girar todo a *nuestro* alrededor?

Para las personas religiosas no había misterio. Era la manera en que Dios había concebido el Universo. Del hecho de que el Universo fuese sistemocéntrico podía ciertamente deducirse que el Sistema Solar tenía una importancia peculiar, y esto sólo podía ser así porque los seres humanos existían en él y habían sido creados a imagen de Dios. De esta manera, la naturaleza sistemocéntrica del Universo se convierte en una magnífica «prueba» de la existencia de Dios.

Para los no religiosos, la única respuesta posible a la situación es que así parecen ser las cosas y que quizás, en algún momento del futuro, al aumentar nuestros conocimientos, comprenderemos mejor la cuestión.

La incomodidad provocada por el sistemocentrismo sólo podía eliminarse si había alguna razón para pensar que no existía o que, si existía, era una mera circunstancia y no parte del plan intrínseco del Universo.

Supongamos, por ejemplo, que el Universo fuese de tamaño infinito, y que las estrellas se extendiesen en todas direcciones sin tener un fin. (El erudito alemán Nicolás de Cusa [1401-1464] había sostenido exactamente esto en fecha tan temprana como el año 1440.)

En tal caso no habría centro. Dentro de una esfera infinita, cualquier punto tiene tanto derecho a considerarse el centro como otro cualquiera, y no existe ninguna posición privilegiada. (La situación es, precisamente, la de la superficie de una esfera, donde no hay Centro ni posición privilegiada.)

Dicho en pocas palabras: si el Universo fuese infinito, *parecería* que nos hallásemos en el centro, pero esto sería cierto en cualquier sistema planetario en el que estuviésemos situados. (El hecho de mantener la sistemocentricidad será entonces tan ingenuo como la creencia de un individuo de que se encuentra en el centro del Universo porque está en el centro del circulo del horizonte.)

Pero en 1826, el astrónomo alemán Heinrich Wilhelm Matthaus Olbers (1758-1840) señaló que, si el Universo fuese infinito en su tamaño y contuviese un número infinito de estrellas desparramadas en todas direcciones, todo el cielo seria tan brillante como el círculo del Sol. Hay muchas maneras en que, a la vista de ello, se podría explicar la negrura del cielo (véase «The Black of Night», en *Of Time and Space and Other Things*, Doubleday, 1965), pero la más sencilla es tomar aquella negrura como prueba del hecho de que el Universo *no* es infinito en tamaño, y de que las estrellas *no* son infinitas en número. En tal caso, el Universo, según el pensamiento del siglo XIX, *debía* tener un centro, y el Sistema Solar parecía estar en él.

Sin embargo, por aquel entonces, William Herschel había hecho un descubrimiento particularmente interesante.

En 1805, llevaba más de veinte años determinando el movimiento propio de varias estrellas —es decir, sus movimientos en relación con estrellas muy opacas y, por ende, presuntamente muy distantes, tan distantes que no revelaban movimiento alguno—. Como resultado de ello pudo demostrar que, en una parte del cielo, las estrellas en general parecían moverse hacia

fuera desde un centro particular (el «ápice»). No lo hacían de manera uniforme ni de un modo universal; pero lo hacían en su conjunto.

En un lugar del cielo directamente opuesto al ápice, las estrellas parecían moverse hacia dentro, hacia un centro imaginario (el «antiápice»). El ápice y el antiápice tenían una separación aproximada de 1800.

Una manera de explicar esto era suponer que lo que había detectado Herschel era lo que ocurría en realidad: las estrellas se alejaban las unas de las otras en una parte del cielo, y se juntaban en la parte opuesta, moviéndose alrededor del Sistema Solar estacionario y pasando lejos de él. Si era así, ¡qué buena prueba resultaría de la posición especial del Sistema Solar!

Sin embargo, es posible otro significado de aquella observación. Y es que el propio Sol se mueve en relación con las estrellas próximas (las que están lo bastante cerca para tener un movimiento propio detectable).

Supongamos, por ejemplo, que te hallas en medio de un bosque de árboles plantados al azar, cada uno de ellos muy lejos de sus vecinos. Al mirar a tu alrededor en cualquier dirección, los árboles más próximos parecerán separarse, mientras que los más lejanos parecerán que se juntan. Si te mueves en una dirección cualquiera, los árboles en tal dirección se acercarán cada vez más a ti al moverte, y te parecerá que se separan más y más. En la dirección contraria, y al alejarte de los árboles próximos, éstos parecerán juntarse.

Es un efecto corriente de perspectiva, tan común que apenas lo advertimos, y menos cuando somos niños muy pequeños. Nuestra mente lo acepta, y no se deja engañar pensando que los árboles se separan o se juntan.

Pensando en esto, resulta mucho más sensato suponer que el «efecto Herschel» es, en verdad, resultado de que el Sol se mueve. Ningún astrónomo cree que sea necesaria otra explicación. Gracias a las observaciones hechas desde los tiempos de Herschel, los astrónomos están ahora completamente seguros de que el Sol se mueve (en relación con las estrellas más cercanas) en dirección a un punto de la constelación de Lira, a una velocidad de 20 km/seg.

¿Cómo afecta esto a la sistemocentricidad del Universo?

Si el Sol se mueve, arrastrando al Sistema Solar Planetario (incluida la Tierra), está claro que no puede ser el centro inmóvil del Universo.

Sin embargo, tiene que haber algún centro inmóvil de gravedad del sistema estelar, alrededor del cual giran las estrellas individuales, y, si el Sistema Solar no está en aquel punto, parece estar, empero, cerca de él.

De la misma forma que el Sol se mueve en una órbita cerrada alrededor del centro de gravedad del Sistema Solar, el Sistema Solar puede moverse en una órbita cerrada alrededor del centro de gravedad del sistema estelar. En este caso, si el Universo no es sistemocéntrico, le falta poco para serlo.

Por otra parte, es posible que el Sistema Solar se mueva en una órbita muy alargada alrededor del centro de gravedad del sistema estelar —como un cometa moviéndose alrededor del centro de gravedad del Sistema Solar—. En este caso, el Sistema Solar estaría, durante la mayor parte de su historia, muy lejos del centro de gravedad, pero se da el caso de que

precisamente ahora, está cerca de él. Considerando el tamaño del Universo y el grado de movimiento de las estrellas en comparación con aquel tamaño, parecería probable que el Sistema Solar ha estado relativamente cerca del centro de gravedad del sistema estelar durante muchos miles de años, y seguirá estando relativamente cerca de él durante otros tantos milenios.

Sea cual fuere la forma actual de la órbita, un Sistema Solar que se mueve da a entender que el Universo no es, probablemente, sistemocéntrico en esencia, sino sólo circunstancialmente, y que quizá ni siquiera lo será de modo permanente.

Es un poco inquietante que el Universo estelar parezca tener una simetría esférica, y que ésta sea la única prueba de su sistemocentricidad. No podemos ver todas las estrellas; por consiguiente, ¿cómo sabemos que están *realmente* distribuidas según una simetría esférica? Sería magnifico que se produjesen en el cielo señales que nos ayudasen a tomar una decisión sobre la sistemocentricidad o la no sistemocentricidad.

Lo cierto es que *existe* tal señal, y muy visible. Es la Vía Láctea, la franja luminosa y brumosa que circunda el cielo y lo divide en dos mitades aproximadamente iguales.

En 1609, el científico italiano Galileo, mirando por primera vez el cielo con un pequeño telescopio, pudo demostrar que la Vía Láctea no era una simple niebla luminosa, sino una enorme multitud de estrellas muy opacas, demasiado numerosas y demasiado opacas individualmente para ser distinguidas como tales estrellas sin la ayuda de un telescopio.

¿Por qué se veían tantas estrellas en la dirección de la Vía Láctea y tan pocas (relativamente) fuera de ella?

Ya en 1742, un astrónomo inglés, Thomas Wright (1711-1786), sugirió que el sistema estelar no era esféricamente simétrico, y para ello empleó la Vía Láctea como elemento principal de su razonamiento.

En 1784, Herschel —que más tarde habría de demostrar que el Sol se movía— decidió comprobar la asimetría del Universo mediante una observación directa. Era, obviamente, vano tratar de contar *todas* las estrellas. En vez de esto, eligió 683 pequeños sectores de igual tamaño, distribuidos regularmente en el cielo, y contó todas las estrellas visibles en cada uno de ellos a través de su telescopio. En un sentido muy real, hizo un padrón del cielo.

Descubrió que el número de estrellas por sector se elevaba regularmente al acercarse a la Vía Láctea; era máximo en el plano de ésta, y mínimo en la dirección de ángulos rectos con aquel plano.

Herschel pensó que la manera más fácil de explicar esto era suponer que el sistema estelar *no* era esférico, sino que tenía la forma de una lente (o de una hamburguesa). Si mirábamos a lo largo del diámetro más largo de la lente, veíamos más estrellas que si mirábamos en cualquier otra dirección. En realidad, veríamos tantas que se confundirían hasta formar la brumosa Vía Láctea. Al observar cada vez más lejos del plano de la Vía Láctea, miraríamos a través de una longitud cada vez más corta de espacio poblado de estrellas y, por consiguiente, veríamos cada vez un número menor de ellas.

Herschel llamó «Galaxia» a este sistema estelar en forma de lente, nombre tomado de unas palabras griegas que significan «Vía Láctea».

Si el Sistema Solar estuviese lejos del plano central que marca los diámetros largos de la Galaxia, veríamos la Vía Láctea como un circulo de luz confinado en un lado del cielo. Parecería como una rosquilla, con las estrellas centradas más en el agujero de la rosquilla que en los amplios espacios exteriores a ella. Cuanto más lejos estuviésemos a un lado del plano y más pequeño fuese el círculo de luz de la rosquilla, tanto más espesas serian las estrellas dentro de ella, y tanto menos lo serían en el exterior.

Sin embargo, sucede que la Vía Láctea divide el cielo en dos mitades, con estrellas esparcidas por igual en cada mitad. Esto es una prueba bastante concluyente de que estamos en el plano central de la Galaxia o muy cerca del mismo.

Pero aunque estuviésemos en el plano central de la Galaxia, podríamos estar lejos del verdadero punto central de este plano. Si lo estuviésemos, la Vía Láctea aparecería más espesa y luminosa en una mitad de su círculo que en la otra. Cuanto más lejos nos hallásemos del punto central, mayor sería la asimetría a este respecto.

Sin embargo, la Vía Láctea aparece, en realidad, bastante igual en anchura y luminosidad por todo el cielo, de manera que el Sistema Solar debe de estar en el centro o muy cerca de éste.

La Galaxia parecía, pues, sistemocéntrica, y, como en los tiempos de Herschel y durante un siglo después de él, la mayoría de los astrónomos pensaba que comprendía todas las estrellas del Universo; el Universo mismo tenía que ser sistemocéntrico.

Esta opinión fue sostenida hasta una fecha tan tardía como 1920, cuando el astrónomo holandés Jacobus Cornelius Kapteyn (1851-1922) calculó que la Galaxia (y el Universo) tenía 17.000 parsecs de anchura y 3.000 de grosor, con el Sistema Solar cercano al centro.

Todo esto, sin embargo, era erróneo. El Sistema Solar no estaba más en el centro de la Galaxia —a pesar de la prueba de la Vía Láctea— de lo que está la Tierra en el centro del sistema planetario.

En el capítulo siguiente, explicaremos cómo se llegó a esta conclusión.

XIV
EN LAS AFUERAS

En 1854, el escritor satírico francés Francois Rabelais escribió: «Todo llega para aquel que sabe esperar.» Esto ha sido repetido desde entonces en una u otra forma, de modo que Disraeli y Longfellow figuran entre aquellos a quienes se atribuye independientemente la cita. Hoy, el aforismo es más conocido en una forma más sencilla: «Todo llega para el que espera».

Sin embargo, a mí nunca me ha impresionado en exceso este comentario. Pensaba que, para muchas cosas, habría que esperar bastante más tiempo del que podríamos vivir. A fin de cuentas, observad que todos los autores del aforismo se guardan muy bien en fijar un límite al período de espera.

Yo, por mi parte, nunca creí —a poco de empezar el juego— que tendría un libro en la lista de best-sellers, por muy grande que fuese mi capacidad de espera.

Pero esto no quiere decir que mis libros no se vendan bien. Algunos se venden. En realidad, unos cuantos se venden muy bien, pero sólo en el curso de años y décadas. Nunca se venden

intensivamente. Nunca se venden tantos en una semana en concreto como para figurar en la lista de best-sellers del *Times* de Nueva York.

Pero lo acepté. Incluso logré convencerme de que ello era resultado de mi integridad y de mi virtud.

A fin de cuentas, mis libros nunca se ocupan del sexo con detalle clínico, ni de la violencia desagradablemente concentrada, ni, ciertamente, de ninguna forma de sensacionalismo. En el lado positivo, tienden a ser cerebrales, con gran énfasis sobre la discusión racional de los motivos y de las diferentes líneas de conducta. Es evidente que si esto se hace bien, complace mucho a un número relativamente pequeño de lectores.

Sabía perfectamente que ese pequeño grupo estaría por encima de la inteligencia media y me sería completamente fiel. Eran *mis* lectores, yo les amaba y no los habría cambiado por mil millones de lectores más vulgares.

Y, sin embargo, algunas veces, en mitad de la noche y a solas, en lo más recóndito de mi mente surgía la pregunta de qué sucedería si, sólo por un breve espacio de tiempo, *todos* se situasen por encima del grado medio de inteligencia, de modo que uno de mis libros figurase —sólo por una vez, sólo por una semana— en la lista de best-sellers.

Después, rechazaba la idea como pura fantasía.

Y así, cuando llegó el mes de octubre de 1982, llevaba cuarenta y cuatro años de escritor profesional y había publicado 261 libros, sin ningún best-seller en la lista. Ya hacía tiempo que había decidido que esto representaba una especie de distinción de la que debía sentirme orgulloso. ¿Cuántos otros escritores podrían publicar 261 libros sin dar nunca en el blanco?

Y entonces ocurrió que, el 8 de octubre de 1982, Doubleday publicó mi libro 262; se trataba de *Foundation's Edge*, cuarto volumen de mi serie «Fundación». Esto sucedía treinta y dos años después de que hubiese escrito lo que había decidido que sería la última palabra de la serie. Durante todo aquel tiempo había hecho oídos sordos a las súplicas de mis lectores y de mis editores, que pedían más. (Bueno, *ellos* siguieron esperando, y la cosa llegó..., como había pronosticado el viejo y buen Francois.)

Como había profetizado desde el principio mi editor, Hugh O'Neill, el libro pasó inmediatamente a la lista de best-sellers. El 17 de octubre apareció en el umbral de mi puerta el *Times* de Nueva York del domingo, y allí, en la lista de la sección de crítica de libros y en grandes caracteres, figuraba *Foundation's Edge*, por Isaac Asimov.

Después de cuarenta y cuatro años, mi libro 262 había dado en el blanco, aunque no era sexual, ni violento, ni sensacionalista, y sí tan cerebral como todos los demás... o quizás incluso más que éstos. Sólo había tenido que esperar.

Doubleday celebró una espléndida fiesta en mi honor y, deslumbrado durante un tiempo, me sentí como si fuese el centro del Universo, lo cual me lleva nuevamente al tema que estaba tratando en el capítulo anterior.

En el capítulo anterior, expuse el afán natural de la gente por ser el centro del Universo. Al principio, cada persona se imaginaba ser aquel centro; después, aquel puesto fue cedido (de

mala gana) a alguna sede de importancia cultural; después, a la Tierra en su conjunto, y luego, a la totalidad del Sistema Solar.

Incluso en fecha tan avanzada como los años de 1910, parecía razonable suponer que el Sistema Solar estaba en o cerca del centro de la Galaxia (y entonces se sospechaba que la Galaxia era casi el Universo entero).

A fin de cuentas, los diversos objetos del cielo parecían estar colocados simétricamente a nuestro alrededor. Así, las estrellas no están más concentradas en una mitad del cielo que en la otra, y la Vía Láctea, que representa la Galaxia vista a través de su diámetro largo, divide el cielo en dos mitades más o menos iguales.

A fin de que haya buenas razones para creer que no estamos en una posición más o menos central, hay que descubrir en el cielo alguna asimetría indiscutible.

Y existe una. La historia de esta asimetría empieza con Charles Messier, que se especializó en el estudio de los cometas. Fue uno de los que localizaron pronto el cometa Halley en su regreso de 1759, regreso que había sido predicho por el propio Edmund Halley (véase capítulo X).

Después de esto, Messier no se detuvo. En los quince años siguientes hizo casi todos los descubrimientos de cometas que tuvieron lugar; veintiuno de ellos se deben a él. Fue la pasión de su vida, y cuando tuvo que cuidar a su esposa en su lecho de muerte y no pudo asistir al descubrimiento de un cometa —que fue anunciado por un astrónomo competidor francés—, se dijo, con visos de credibilidad, que Messier lloró la pérdida del cometa y casi se olvidó de su esposa muerta.

Lo que particularmente preocupaba a Messier era que de vez en cuando, al buscar algún pequeño objeto filamentoso en el cielo, que indicase la presencia de un cometa lejano avanzando en dirección a las cercanías del Sol, ocurría que *siempre* estaba presente en el cielo alguno de tales objetos. Odiaba verlos, porque se entusiasmaba y luego se sentía desengañado.

Entre 1774 y 1784 elaboró y publicó una lista de los objetos que —pensaba— debían ser conocidos por los buscadores serios de cometas que, de esta manera, no se equivocarían al tomar algo insignificante por algo de importancia cometaria. Los objetos de su lista se conocen todavía como «Messier 1», «Messier 2», y así sucesivamente (o «M1», «M2», etcétera).

Y, sin embargo, sucedió que sus descubrimientos de cometas fueron triviales, mientras que los objetos que registró, para que los astrónomos prescindiesen de ellos, resultaron ser de gran importancia. Por ejemplo, el primero de su lista es el más importante objeto solitario en el cielo de más allá del Sistema Solar: la nebulosa del Cangrejo.

Otro objeto de la lista de Messier, el M13, había sido observado en 1714 nada menos que por Halley, el santo patrono de todos los buscadores de cometas.

En 1781, William Herschel recibió una copia de la lista de Messier. Ambicionaba examinar todos los objetos del cielo y, por consiguiente, resolvió mirar cada uno de los objetos de la lista, incluido, naturalmente, M13.

Herschel —que no podía adquirir un buen telescopio cuando empezó a interesarse en la Astronomía— emprendió la construcción de uno propio y acabó haciendo los mejores

telescopios de su tiempo. El telescopio que empleó para contemplar los objetos de Messier era mucho mejor que aquellos de que dispusieron éste o Halley, y cuando Herschel miró el M13, vio no sólo un objeto filamentoso, como les había sucedido a los dos astrónomos anteriores, sino un denso conglomerado esférico de estrellas.

Herschel fue el primero en interpretar correctamente la naturaleza de lo que ahora llamamos «racimos globulares». Como M13 está en la constelación de Hércules, a veces es llamado «Gran Racimo de Hércules». Herschel descubrió también otros racimos globulares, y resultó que aproximadamente una cuarta parte de todos los objetos de la lista de Messier eran racimos de esta clase.

Estos racimos están constituidos por cientos de miles de estrellas, y los más grandes contienen posiblemente millones. La densidad estelar en el interior de estos racimos es enorme. En el centro de un gran racimo de esta clase puede haber hasta 1.000 estrellas por parsec cúbico, mientras que en nuestras cercanías hay aproximadamente 0,075 estrellas por parsec cúbico.

Si estuviésemos en el centro de un gran racimo globular (y pudiésemos sobrevivir allí) veríamos un cielo nocturno festoneado por unos 80.000.000 de estrellas visibles, de las cuales —si la distribución de la luminosidad fuese allí igual que aquí— más de 250.000 serían de primera magnitud o incluso superiores.

Sin embargo, los racimos globulares están tan alejados que la agrupación de todas esas estrellas forman unidades que sólo en algunos casos son percibibles a simple vista desde la Tierra, e incluso entonces apenas se distinguen.

Sin embargo, lo más interesante acerca del centenar de racimos globulares que ahora conocemos es que la mayor parte de ellos están en un lado del cielo, mientras que no hay casi ninguno en el otro. Casi un tercio de ellos puede encontrarse en la porción de cielo subtendida sólo por la constelación de Sagitario. Esta asimetría fue advertida en primer lugar por el hijo de Herschel, John (1792-1871), notable astrónomo por derecho propio.

Ésta es la asimetría más notable que podemos observar en el cielo; sin embargo, no es suficiente por sí sola para rebatir la hipótesis de que el Sistema Solar está en el centro de la Galaxia. A fin de cuentas, existe la posibilidad de que todo esto sea una coincidencia, de que los racimos globulares estén, sin más, a uno de nuestros lados.

Un momento crucial se produjo en 1904, cuando la astrónoma norteamericana Henrietta Swan Leavitt (1868-1921) estableció por primera vez una relación entre la longitud del período de un tipo de estrella llamada «Cefeida variable» y su brillantez intrínseca, o «luminosidad». (Véase «The Flickering Yardstick», en *Fact and Fancy*, Doubleday, 1962).

Esto significaba que, en principio, era posible comparar la luminosidad de una cefeida variable con su aparente brillo en el cielo, y juzgar, en base a esto, la distancia, una distancia que podía ser demasiado grande para calcularla por los otros medios entonces conocidos.

En 1913, el astrónomo danés Ejnar Hertzsprung (1873-1967) convirtió esta posibilidad en realidad, y fue el primero en calcular las distancias actuales de algunas cefeidas variables.

Esto nos lleva al astrónomo norteamericano Harlow Shapley (1885-1972), que pudo estudiar con grandes dificultades debido a los escasos medios económicos con que contaba en su juventud, y que se convirtió en astrónomo por accidente. Había ingresado en la Universidad

de Missouri con intención de hacerse periodista, pero la Escuela de Periodismo no se inauguraba hasta un año más tarde, y el joven Shapley siguió un curso de Astronomía para pasar el tiempo..., y nunca llegó a ser periodista.

Shapley se interesó por las cefeidas variables, y en 1913 había demostrado que no eran estrellas binarias que se eclipsasen recíprocamente. En vez de esto, sugirió que eran estrellas pulsátiles. Unos diez años más tarde, el astrónomo inglés Arthur Stanley Eddington (1882-1944) desarrolló con gran detalle la teoría de las pulsaciones de las cefeidas y dejó resuelta la cuestión.

Cuando Shapley hubo ingresado en el observatorio de Mount Wilson, en 1944, empezó a investigar las estrellas variables en los racimos globulares. Al hacerlo así, descubrió que éstos contenían estrellas de una clase llamada «variables RR de Lira», porque el ejemplo más conocido de aquella clase era una estrella conocida por el nombre de RR de Lira.

La manera en que aumenta y disminuye la luz de una variable RR de Lira es muy parecida a la de una variable cefeida, pero el período de variación de la primera es más corto. Las variables RR de Lira suelen tener un período de menos de un día, mientras que las variables cefeidas tienen un período de más o menos una semana.

Shapley decidió que la diferencia en el período de variación no era significativa, y que las variables RR de Lira tenían, simplemente, un período más corto que las variables cefeidas. Por consiguiente, pensó que la relación entre brillo y período elaborada por Leavitt para las variables cefeidas podría aplicarse a las variables RR de Lira. (En esto tenía razón.)

Procedió a registrar el brillo y el período de las variables RR de Lira en cada uno de los 93 racimos globulares entonces conocidos, y esto le dio, inmediatamente, la distancia *relativa* de tales racimos. Como conocía la dirección en que estaban localizados y había determinado su distancia relativa, podía construir un modelo tridimensional de su distribución.

En 1918, Shapley había demostrado, para su propia satisfacción —y pronto para la de los astrónomos en general— que los racimos globulares estaban distribuidos con simetría esférica alrededor de un punto en el plano de la Vía Láctea, pero un punto muy alejado del Sistema Solar.

Si el Sistema Solar estaba en el centro de la Galaxia o cerca del mismo, aquello significaba que los racimos globulares estaban centrados alrededor de un extremo de la Galaxia o más allá. Su mala distribución sobre el cielo de la Tierra sería entonces indicadora de su actual distribución asimétrica con respecto a la Galaxia..

Sin embargo, esto no parecía lógico. ¿Por qué tenían estos grandes racimos de estrellas encontrar algo tan interesante en un extremo de la Galaxia, cuando toda nuestra experiencia sobre la manera de actuar de la ley de gravitación universal nos inducía a creer que los racimos estarían simétricamente distribuidos alrededor del *centro* de la Galaxia?

Shapley llegó a la dramática conclusión de que los racimos globulares *estaban* distribuidos alrededor del centro de la Galaxia, y lo que pensábamos que era un extremo de ésta *era*, en realidad, su centro, y éramos *nosotros*, no los racimos globulares, quienes estábamos en un extremo de ella.

Pero si era así, se hacía necesario explicar la simetría de todo cuanto existía en el cielo. Si estábamos tan lejos, en un extremo de la Galaxia, y si el centro estaba en la dirección de Sagitario, donde había mayor concentración de racimos globulares, entonces, ¿por qué no veíamos un número mucho mayor de estrellas en la dirección de Sagitario que en la opuesta dirección de Géminis? ¿Por qué no era la Vía Láctea mucho más brillante en Sagitario que en Géminis?

Había que contestar a estas preguntas, y tanto más cuanto que surgieron rápidamente indicios que confirmaban la sugerencia de Shapley.

En la década de 1920, las «nebulosas espirales» observadas acá y allá en el cielo resultaron ser no masas de gases, como se había sospechado, sino grandes conglomerados de estrellas; eran galaxias por derecho propio.

La galaxia espiral más próxima está en la constelación de Andrómeda, y un estudio de esta galaxia Andrómeda mostró que también ella tenía racimos globulares, iguales que los de la nuestra, salvando la mucho mayor distancia de aquéllos.

Los racimos globulares de la galaxia Andrómeda estaban distribuidos con simetría esférica alrededor del centro de aquélla, lo mismo que, según Shapley, debía de suceder con los racimos globulares de la nuestra. Podíamos *ver* la manera en que se comportaban los racimos globulares de la galaxia Andrómeda, y no había razón para creer que los nuestros se comportasen de un modo diferente.

Por tanto, se aceptó —y, en definitiva, se demostró más allá de toda duda razonable— que nuestra Vía Láctea es una galaxia espiral muy parecida a la de Andrómeda, y que el Sistema Solar no está en su centro, sino muy lejos: en uno de los brazos de la espiral.

la Humanidad, la Tierra, el Sol, todo el Sistema Solar, no están cerca del centro de nada con respecto a nuestra galaxia. ¡En absoluto! Estamos en los suburbios galácticos, en las afueras. Puede resultar humillante, pero es cierto.

Seguramente estamos en el plano galáctico o cerca del mismo. Por esto, la Vía Láctea corta el cielo en dos mitades iguales.

¡Pero la simetría! ¿Por qué es la Vía Láctea casi igualmente brillante en toda su extensión?

Si examinamos la galaxia Andrómeda y otras galaxias espirales lo bastante próximas para ser observadas con algún detalle, encontramos que los brazos de la espiral son ricos en nubes de polvo que no encierran estrellas y que, por tanto, no están iluminados. Son las «nebulosas oscuras».

Si estas nebulosas oscuras existiesen en el espacio alejadas de toda estrella, no podrían verse. Serían negro sobre negro, por decirlo así. Por otra parte, si hubiese nubes de estrellas detrás de las nebulosas, las partículas de polvo de éstas absorberían y desparramarían eficazmente la luz de detrás de ellas, y los observadores verían las nubes como masas oscuras sobre la luz de las estrellas, presente en todas partes.

Los brazos espirales de nuestra propia galaxia no constituyen una excepción a esto.

El propio Herschel, en su infatigable estudio de todo lo que había en el cielo, observó lugares en la Vía Láctea donde se producían interrupciones, muy marcadas, en la regular distribución de las numerosas y pálidas estrellas, regiones donde no había estrellas en absoluto. Herschel pensó que estas regiones carecían realmente de estrellas, y que estos tubos de nada, alargándose a través de lo que, según Herschel, parecía una capa bastante fina de estrellas en la Vía Láctea, estaban orientados de manera que podíamos mirar a través de ellos. «Seguramente —decía— es un agujero en el cielo.»

Después se observaron más y más regiones de éstas (su número se eleva ahora a más de 350) y cada vez pareció más improbable que hubiese tantos agujeros sin estrellas en el cielo. Alrededor de 1900, el astrónomo norteamericano Edward Emerson Barnard (1857-1923) y el astrónomo alemán Max Franz Cornelius Wolf (1863-1932) sugirieron independientemente que estas interrupciones en la Vía Láctea eran nubes oscuras de polvo y gases que ocultaban la luz de las numerosas estrellas que había detrás de ellas.

Estas nebulosas oscuras eran las que explicaban la simetría de la Vía Láctea. Ésta se hallaba tan llena de ellas, que la luz de las regiones centrales de la Galaxia y de los brazos espirales más allá del centro, quedaba totalmente oscurecida. Todo lo que podemos ver desde la Tierra es nuestro propio vecindario de los brazos espirales de la Galaxia. Podemos ver casi igualmente, hasta muy lejos dentro de la Vía Láctea, en todas direcciones, de modo que lo que *vemos* del cielo es simétrico.

Shapley no sólo calculó la distancia relativa de los racimos globulares, sino que concibió también un sistema estadístico para estudiar las variables RR de Lira, de manera que permitiese calcular la distancia absoluta de la Tierra a los racimos globulares. El sistema de Shapley era admisible, pero había un factor que no tuvo en cuenta y que le llevó a sobrestimar la dimensión de la Galaxia.

De nuevo se trataba de un oscurecimiento de la luz, incluso cuando no había nebulosos oscuras.

Existe una analogía de ello en la atmósfera de la Tierra. Evidentemente, las nubes atmosféricas pueden oscurecer al Sol, pero ni siquiera el aire «claro» de un cielo sin nubes es *completamente* transparente. Alguna luz es desparramada y absorbida. Esto es particularmente observable cerca del horizonte, donde la luz debe cruzar un mayor grueso de atmósfera para llegar a nuestros ojos o a nuestros instrumentos. Así, el Sol tiene tan debilitados sus rayos en el horizonte, que muchas veces podemos mirarlo impunemente, y, en cuanto a las estrellas, pueden oscurecerse hasta ser invisibles.

De manera parecida, hay átomos, moléculas e incluso partículas de polvo desparramados en el «claro» espacio. El espacio es, desde luego, mucho más claro que nuestra atmósfera, incluso cuando ésta lo está más, pero la luz de las estrellas debe viajar muchos billones de kilómetros para llegar hasta nosotros, y, en una distancia tan grande, incluso muy ocasionales trocitos de materia pueden producir efectos acumulativos que resulten perceptibles.

Esto lo aclaró en 1930 el astrónomo suizo-norteamericano Robert Julius Trumpler (1886-1956), quien demostró que el brillo de los racimos de estrellas disminuía con la distancia algo más rápidamente de lo que cabría esperar si el espacio estuviese completamente limpio. Por tanto, defendió la existencia de una materia interestelar extraordinariamente fina, hecho que ha sido ampliamente demostrado desde entonces.

La presencia de este polvo en el espacio «claro» —algo que Shapley no admitía— oscurece las variables RR de Lira en los racimos globulares, de manera que uno calcula que están algo más lejos de lo que se hallan en realidad. Una vez aceptada la corrección de Trumpler, las dimensiones de la Galaxia se redujeron un tanto en relación con el cálculo de Shapley, y los valores así encontrados son todavía admitidos.

Hoy en día, la Galaxia es considerada como un enorme objeto en forma de lente (o de hamburguesa) que, visto de lado, es muy ancho de un extremo a otro y relativamente estrecho de arriba abajo.

El diámetro largo es de unos 30.000 parsecs —o sea, unos 100.000 años luz, es decir, 30 trillones de kilómetros—. Tiene un grueso de unos 5.000 parsecs en el centro y de unos 950 parsecs en el lugar donde se encuentra el Sistema Solar. En comparación con ello, la estrella más próxima, Alfa de Centauro, está aproximadamente a 1,3 parsecs de nosotros, y si ella (o nuestro Sol) estuviese 15 parsecs más lejos, sería apenas perceptible a simple vista.

La distancia desde el centro de la Galaxia hasta su perímetro exterior es de unos 15.000 parsecs, y nosotros estamos a unos 9.000 parsecs del centro. Así, pues, estamos a más de medio camino desde el centro hasta el perímetro exterior, que se halla a unos 6.000 parsecs de nosotros en dirección opuesta al centro.

En nuestro estudio de otras galaxias hemos descubierto, en el último cuarto de siglo, más o menos, que los centros galácticos son lugares inesperadamente violentos. En realidad, lo son tanto, que parece probable que la vida, tal como la conocemos, sea completamente imposible en las regiones centrales de las galaxias, y es probable que sólo exista en las afueras, donde estamos nosotros.

Es importante estudiar toda aquella violencia desde una distancia segura, pues una mayor comprensión de lo que pasa podría decirnos, acerca del Universo, mucho más de lo que pudiéramos averiguar por otros medios. Los astrónomos están haciendo todo lo que pueden a este respecto. Lo malo es que las distancias hasta el centro de otras galaxias es demasiado grande. Podríamos estar más cerca sin correr peligro.

El centro de la galaxia más próxima, la de Andrómeda, está, por ejemplo, a 700.000 parsecs de nosotros. La única región comparable más cercana es el centro de nuestra propia Vía Láctea, que está sólo a unos 9.000 parsecs, menos de 1/80 de la distancia del centro de la galaxia Andrómeda. La única dificultad estriba en que no podemos ver el centro de nuestra propia Galaxia, por muy cerca que esté.

Ahora bien, cuando digo que no podemos verlo, me refiero a la luz visible, porque está permanentemente nublado por el polvo galáctico.

En la Tierra, empero, cuando las nubes o la niebla oscurecen la vista, podemos emplear el radar. Los rayos de radio de onda corta emitidos y recibidos por nuestros aparatos de radar pueden atravesar sin dificultad las nubes y la niebla.

Y ocurre que los objetos astronómicos que son capaces de emitir luz lo son también de hacerlo con ondas de radio, y a veces estas ondas de radio son emitidas con gran intensidad.

Tales ondas de radio, a diferencia de las de la luz, pueden atravesar grandes nubes de polvo sin dificultad.

En 1931, Karl Jansky fue el primero en detectar ondas de radio en el cielo. Estas ondas de radio podían proceder del Sol, que, cuando está casi en el máximo de actividad de sus manchas solares, es la fuente de radio más intensa del cielo —porque está increíblemente cerca, habida cuenta de las distancias estelares—. Sin embargo, se daba el caso de que el Sol estaba en una fase tranquila, por lo que Jansky eligió la segunda fuente en intensidad, que estaba en un punto de Sagitario.

Desde luego, Sagitario está en la dirección del centro galáctico, y es indudable que las ondas de radio altamente energéticas que detectó Jansky procedían de aquel centro.

Con los radiotelescopios actuales, se puede determinar con exactitud la localización de la fuente, y ahora ha sido reducida a un sector de anchura no superior a 0,001 segundo de arco.

Es una magnitud sorprendentemente pequeña. El planeta Júpiter, cuando está más cerca de nosotros, tiene 3.000 segundos de arco, de modo que la fuente de radio galáctica central tiene sólo una anchura de 1/3.000.000 de la que parece tener Júpiter en nuestro cielo, y Júpiter se nos aparece como un simple punto de luz.

Desde luego, la fuente central está enormemente más lejos de nosotros que Júpiter, y si tenemos en cuenta esta distancia, la anchura de la fuente central podría ser de unos 3.000.000.000 de kilómetros. Si la fuente central fuese trasladada (con la imaginación) a la posición de nuestro Sol, presentaría el tamaño de una enorme estrella gigante roja, que llenaría todo el espacio hasta la órbita del lejano Saturno.

Sin embargo, por muy grande que esto sea a escala del Sistema Solar, está muy lejos de serlo lo suficiente como para explicar la energía que brota de aquella fuente. Una estrella ordinaria, como nuestro Sol, irradia energía gracias a la fusión nuclear, pero ninguna cantidad razonable de fusión puede concentrarse en algo del tamaño de la fuente central y producir la cantidad de energía que parece emitir.

La única fuente de energía aún más eficiente es el colapso gravitatorio. Por tanto, la opinión creciente es la de que en el centro de nuestra galaxia —y posiblemente en el centro de todas las galaxias e incluso de todos los racimos globulares perceptibles— hay un agujero negro.

Nuestro propio agujero negro galáctico puede tener una masa un millón de veces mayor que la del Sol; debe de estar creciendo continuamente,

engullendo materia de la rica concentración existente en el corazón de la Galaxia —donde las estrellas están distribuidas todavía más densamente que en el núcleo de un racimo globular— y convirtiendo parte de esta masa en la energía que irradia.

Las galaxias más grandes tendrían agujeros negros más masivos e irradiarían aún más energía al engullir materia. Las galaxias activas, tales como las Seyfert —descubiertas por el astrónomo norteamericano Carl Keenan Seyfert (1911-1960)— deben de ser sede de procesos aún más energéticos, que se desarrollan en sus extraordinariamente brillantes centros.

En cuanto a los quasars, que cada vez más son considerados como galaxias super-Seyfert, los acontecimientos que se producen en su centro deben de ser los más violentos de todo el Universo actual.

Tal vez podríamos adquirir una noción de todas estas violencias y superviolencias si estudiásemos detalladamente el centro no tan lejano de nuestra propia Galaxia, centro cuya existencia ni siquiera sospechábamos sesenta años atrás.

MATEMÁTICAS
XV
DESDORAR EL ORO REFINADO

Una de mis características menos simpáticas es la de que me enfado cuando se hace mal una cita, sobre todo si es de Shakespeare.

Una manera segura de provocar en mí síntomas de apoplejía es que alguien que esté haciendo una interpretación cómica del pasaje de *Romeo y Julieta* diga *Wherefore art thou, Romeo?* (¿Por qué estás aquí, Romeo?) con una entonación y unos ademanes que indiquen que el significado es *Where are you, Romeo?* (¿Dónde estás, Romeo?)

Esto no sólo indica que los pobres ignorantes responsables no leyeron nunca la obra, sino también que ni siquiera saben el significado de *wherefore* o, peor aún, presumen que el auditorio tampoco lo sabe ni le importa.

También merecen mención especial —en la lista de los que dan citas equivocadas y por ello me repelen— los que hablan de «dorar el lirio».

Es una cita errónea del *Rey Juan,* de Shakespeare, acto IV, escena II, donde el conde de Salisbury expresa seis acciones que representan «excesos ruinosos y ridículos», como una manera de condenar la insistencia del rey Juan en una segunda coronación. En cada caso, se describe algo que trata de mejorar lo que no puede ser mejorado, y los dos primeros ejemplos son «dorar el oro refinado y pintar el lirio».

El que cita mal, contrae las dos cosas y dice «dorar el lirio», acción que no tiene toda la exquisita inadecuación de las dos acciones expresadas por Shakespeare.

Así, para combatir este fastidio, intento mostrar una manera en la que puedo «desdorar el oro refinado». Más adelante veréis a lo que me refiero.

Cuando estoy atrapado en una reunión, inquieto, y estoy seguro de que nadie me observa atentamente, a veces puedo liberarme jugando con números: sumando, restando, multiplicando, dividiendo, etcétera.

Comprenderéis que esto lo hago sin objeto, puesto que carezco de todo talento matemático. Lo que hago con los números es a las Matemáticas lo que poner un cubo de juguete sobre otro es a la arquitectura. Pero sucede que no considero que haga Matemáticas; estoy, simplemente, protegiendo mi cerebro (órgano bastante exigente) de alguna avería por causa del tedio. Hacía esto desde muy temprana edad, creo que tendría unos doce años, y estudiaba la relación de los números con sus cuadrados de la manera siguiente:

$1^2 = 1$; y $1 - 1 = 0$
$2^2 = 4$; y $4 - 2 = 2$
$3^2 = 9$; y $9 - 3 = 6$
$4^2 = 16$; y $16 - 4 = 12$

$5^2 = 25$; y $25 – 5 = 20$
$6^2 = 36$; y $36 – 6 = 30$

Entonces advertí la regularidad. Si se asciende por la escala de números enteros sustrayendo cada uno de éstos de su cuadrado, el primer entero dará 0. Entonces hay que sumar 2 para obtener 2 en el siguiente número entero; sumar 4 para obtener 6, sumar 6 para obtener 12; sumar 8 para obtener 20; sumar 10 para obtener 30.

Al producir los números sucesivos, se asciende por la escala de números enteros de un modo regular, de manera que sabía que el número siguiente sería 42, después 56 y luego 72, sin tener que hacer las sustracciones: 49 - 7; 64 - 8, y 81 - 9. Estaba muy orgulloso de mí mismo.

Después intenté algo más. Escribí cada número entero y coloqué a continuación del mismo la cifra que obtenía, restándolo de su cuadrado, y entonces consideré de qué otra manera podía representar la cifra. Así:

1 ------- 0 = 1 x 0
2 ------- 2 = 2 x 1
3 ------- 6 = 3 x 2
4 ------- 12 = 4 x 3
5 ------- 20 = 5 x 4
6 ------- 30 = 6 x 5

Me parecía claro que cada número entero restado de su propio cuadrado daba un resultado que era igual al mismo número entero multiplicado por el inmediatamente anterior. Y mi corazón de doce años latió más de prisa, pues concebía la idea de que había descubierto algo muy raro, que quizá nadie había advertido hasta entonces. (Ya os he dicho que no tengo talento matemático. Me imagino que un verdadero matemático habría advertido esto a los tres años de edad y lo habría descartado por evidente.)

En todo caso, yo quise generalizarlo, pues entonces me hallaba estudiando álgebra. Por consiguiente, designé un entero, *cualquier* entero, como «x». El número entero inmediatamente anterior sería «x - 1» y el cuadrado del número entero sería «x^2».

Resultó, pues, que había descubierto, gracias al gran poder de mi cerebro, que un entero restado de su cuadrado, «x^2» —era igual a aquel entero multiplicado por el inmediatamente menor, «x (x - 1)». Dicho de otra manera:

$x^2 – x = x (x – 1)$

Con esto desapareció toda mi alegría, pues esta ecuación era tan evidente, que no podía serlo más. Me limitaba a emplear como factor la «x» del lado izquierdo, y esto me daba el lado derecho. El valor de mi descubrimiento era igual al de encontrar que dos docenas equivalían a veinticuatro.

Por consiguiente, abandoné aquella línea particular de descubrimiento y nunca volví a ella. Y fue una lástima, pues si hubiese continuado observando, tal vez habría descubierto algo que, sin ser precisamente nuevo, habría sido mucho más interesante que la ecuación que acabo de

exponeros. Y como ahora tengo un poco más de doce años, puedo hacerlo... Conque, ¡vamos allá!

Consideremos el problema de restar un número entero de su cuadrado sólo en los primeros tres enteros: 1 – 1 = 0; 4 – 2 = 2; y 9 – 3 = 6.

Las diferencias siguen subiendo de un modo regular, de manera que podemos decir que no hay sustracciones de esta clase que puedan dar diferencias de 1, 3, 4 ó 5. Al menos, si nos limitamos a números enteros. Sin embargo, podemos pasar al empleo de fracciones decimales:

Por ejemplo, el cuadrado de 1,1 es 1,21, y 1,21 - 1,1 = 0,11, mientras que el cuadrado de 1,2 es 1,44, y 1,44 - 1,2 = 0,24.

Si seguimos subiendo por décimos, encontramos que el cuadrado de 1,6 es 2,56, y 2,56 - 1,6 = 0,96, que es una cifra muy próxima a 1.

Tenemos también que el cuadrado de 2,3 es 5,29, y 5,29 - 2,3 = 2,99, que es todavía más próximo a 3.

De hecho, podemos pensar, ahora, si elegimos la fracción decimal adecuada, podemos restarla de su cuadrado y obtener un número muy próximo al entero que elijamos. Así, el cuadrado de 4,65 es 21,6225, y 21,6225 - 4,65 = 16,9725, cifra muy próxima a 17.

Ninguno de los ejemplos que he citado da una diferencia que sea un número entero exacto; sólo se le acerca. Si mi cerebro de doce años hubiese trabajado en esto y sido tan inteligente como yo hubiera deseado, podría haber pensado que, sumando más decimales, podía dar de lleno con un número entero. Si 2,32 - 2,3 = 2,99, sería lógico esperar que un pequeño aumento en 2,3 nos daría exactamente 3. Por ejemplo, 2,3032 - 2,303 = 3,000809. Ahora me he pasado una pizca, por consiguiente, bajo a 2,302752 - 2,30275 = 2,9999075.

Cuando yo tenía doce años, no disponía de ninguna calculadora de bolsillo, por lo cual habría tardado mucho tiempo en sacar las anteriores relaciones, habría cometido muchos errores aritméticos y me habría fatigado. Pronto habría desistido.

Pero supongamos que no hubiese desistido. Supongamos que hubiese tenido agallas y constancia para probar con más y más números decimales y llenar más y más hojas de papel con enormes cálculos. Habría descubierto que, por mucha atención que prestase al intentarlo y por muchas horas (o años) que pasase en ello, nunca encontraría ningún número con cualquier cantidad de decimales que, al ser restado de su cuadrado, diese exactamente un número 3. Me acercaría cada vez más, pero nada me situaría exactamente en 3.

De esto habría podido sacar dos conclusiones posibles: 1) Si hubiese sido un muchacho corriente, habría decidido que carecía de la constancia necesaria para encontrar el decimal definitivo. 2) Si hubiese sido un chico con alma de matemático, habría saltado intuitivamente a la noción de que el número que buscaba era, en realidad, un decimal infinito y no repetible, y habría tenido así mi primer atisbo —sin ayuda— de los números irracionales. (Por desgracia, nunca fui lo bastante inteligente como para llegar al punto de tener que elegir; por lo visto, era menos que corriente.)

Al seguir con el álgebra, descubrí cómo resolver la «x» en ecuaciones del tipo siguiente: «$ax^2 + bx + c = 0$». En tal ecuación, «a», «b», y «c», los «coeficientes», son números enteros, y «x» es la incógnita. Resulta que en tal ecuación:

x = (½ a) (-b + ^{2}R[b2 – 4ac]) ------- ecuación 1

Dos aclaraciones: en la ecuación 1, la cantidad de un paréntesis tiene que ser multiplicada por la cantidad que hay en el otro paréntesis. Además, el símbolo «^{2}R» representa «raíz cuadrada». La «raíz cuadrada de x», o «^{2}R[x]», es el número que, si se multiplica por sí mismo, da «x». Así, ^{2}R[25] = 5, ^{2}R[81] = 9, etcétera. (Otra observación: Si el signo más de la ecuación 1 es sustituido por un signo menos, podría darse una segunda respuesta posible, pero aquí emplearemos sólo el signo más.) Para dar un ejemplo de cómo funciona la ecuación 1, supongamos una ecuación como «$x^2 + 8x – 5$». En tal caso, «c» es igual a [- 5] y «b» es igual a [+ 8]. Sin embargo, el signo más se omite generalmente en estos casos y se da por «sobrentendido», de manera que se dice que «b» es simplemente igual a 8.

Pero, ¿qué es «a», el coeficiente de «x^2», en la ecuación «$x^2 + 8x - 5$» ? Podría parecer que la «x^2» de aquella ecuación no tiene ningún coeficiente, pero no es así. La «x^2» que permanece sola es en realidad « $1x^2$», pero el 1 se da por entendido y, generalmente, se omite. Sin embargo, en este caso, «a» se considera igual a 1. (Personalmente, yo no omitiría nunca nada y siempre escribiría 8 como + 8, y «x^2» como «$1x^2$», y, ¿por qué no?, «x» como «x^1»; pero los matemáticos no lo hacen así. Es su simpática manera de ahorrarse trabajo a costa de hacer las cosas algo más confusas para los principiantes, y no se puede luchar contra la Facultad.)

Ahora estamos en condiciones de volver al asunto de restar un número entero de su cuadrado para obtener alguna cantidad deseada. Podemos generalizar el problema algebraico suponiendo que «x» es cualquier número entero; «x^2 », su cuadrado, e «y», el número entero que representa la diferencia. Entonces escribiremos:

$x^2 - x = y$

Para hacerlo más interesante, escojamos un número entero para «y», y así podremos ver cómo funciona; y, para hacerlo más sencillo, escojamos el entero más pequeño: 1. La ecuación se convierte en:

$x^2 - x = 1$

Es posible restar 1 de cada lado del signo igual sin que cambie el resultado de la ecuación. (Este es el resultado de uno de los buenos y viejos axiomas: Los iguales sustraídos de iguales dan iguales.)

Si restamos 1 de cada lado del signo igual tendremos «$x^2 - x - 1$». Si restamos 1 del lado derecho, tendremos 1 - 1, que es igual a 0. Por consiguiente, podemos escribir la ecuación como:

$x^2 – x – 1 = 0$ ------- ecuación 2

Si resolvéis esta ecuación por «x», tendréis un número que, sustraído de su cuadrado, os dará exactamente 1.

Para este fin, emplearemos la ecuación 1. Por «a», el coeficiente de «x^2», tenemos 1; por «b», el coeficiente de «x», tenemos -1, y por «c», el coeficiente final, tenemos de nuevo -1.

Como «b» es igual a -1, «-b» = -(-1), o + 1, que se escribe, simplemente, 1. También «b^2» = -(-1), o + 1, o 1. Como «a» es igual a 1, tendremos que ½ a es igual a ½. Y como «a» = 1, y «c» = -1, 4ac es igual a 4(1) (-1) o -4, y 4ac es igual a -(-4), o + 4, o 4.

Pensando en todo esto, tenemos todo lo que necesitamos saber para sustituir por números los símbolos de la ecuación 1 (y perdonadme si no necesitabais esta explicación paso a paso). Por tanto, la ecuación 1 se convierte en:

x = ½ (1 + ^{2}R[1 + 4]) = 1 (1 + ^{2}R[5])

Este es el número que, al ser restado de su cuadrado, nos dará una diferencia de exactamente 1.

Para expresar el número como un decimal ordinario, debéis tomar la raíz cuadrada de 5, sumar 1 y dividir la suma por 2.

Pero, ¿cuál es la raíz cuadrada de 5? ¿Cuál es el número que, multiplicado por sí mismo, nos da 5? Es, ¡ay!, un número irracional, un decimal infinito e irrepetible. Pero podemos acercarnos mucho si decimos que es 2,23606796... En realidad, nos acercamos bastante si suponemos que la raíz cuadrada de 5 es 2,236068. Si multiplicamos este número por si mismo, 2,236068 x 2,236068, tendremos 5,0000001, o sea, con sólo un error de una diezmillonésima.

Si sumamos 1 a la raíz cuadrada de 5 y dividimos la suma por 2, tenemos 1,618034. (Un valor todavía más correcto sería 1,61803398..., pero 1,618034 es suficiente para nuestros fines.)

Si tomamos el cuadrado de este número, vemos que 1,18034 x 1,618034 = 2,618034, y la diferencia es 1.

En realidad, no es tan exacta: 1,618034 x 1,618034 = 2,618034025156. El exceso de 0,000000025156 es resultado de la insignificante inexactitud de la cifra 1,618034. Ningún decimal, por largo que sea, puede ser por completo exacto.

La única cifra verdaderamente exacta es ½ (1 + ^{2}R[5]). Si se eleva este número al cuadrado, cosa que puede hacerse sin grandes dificultades —pero os ahorraré la molestia—, obtendremos la cantidad de ½ (3 + ^{2}R[5]), que es mayor *exactamente* en 1.

Consideremos ahora los «recíprocos». Si dividimos 1 por cualquier número, obtendremos otro número que es recíproco al primero. Dicho en otras palabras: ½ es recíproco de 2; 1/3 es recíproco de 3; 1/17,25 es recíproco de 17,25, y, en general, «1/x» es recíproco de «x».

En vez de restar un número de su cuadrado, restemos un recíproco de su número. Empleando sólo números enteros, tendremos:

1 -------1/1 = 0
2 -------1/2 = 1 $_{1/2}$
3 -------1/3 = 2 $_{2/3}$
4 -------1/4 = 3 $_{3/4}$, etcétera.

Salvo en el caso de 1, tendremos siempre una fracción; pero, una vez más, no tenemos que aferrarnos a los números enteros. Supongamos que queremos encontrar un número que, al restarle su recíproco, nos dé una diferencia exactamente de 1.

Naturalmente, tendrá que ser un numero que esté entre los enteros 1 y 2, de modo que la diferencia estará en alguna parte entre 0 y 1 1/2. Supongamos, por ejemplo, que tomamos el número 1,5. Su recíproco es 1/1,5. Como 1,5 = 3/2, y 1/1,5 = 2/3, tenemos 3/2 - 2/3 = 5/6, que está muy cerca de 1. Si pasamos a 1,6 y restamos 1/1,6, y si confiáis en mi aritmética, el resultado es 0,975, que está aún más cerca.

Sin embargo, si seguimos experimentando, pronto estaremos seguros de que no vamos a encontrar ningún decimal que pueda darnos *exactamente* 1, cuando se reste su recíproco. Volveremos a encontrarnos en el reino de los números irracionales.

Pasemos, pues, al álgebra, y escribamos una ecuación que represente el caso general:

$x - 1/x = 1$

Si multiplicamos cada lado de la ecuación por «x», el resultado de la ecuación no cambia (¡confiad en mí!) Como «x» veces «x» es «x^2», «1/x» veces «x» es 1, y 1 vez «x» es «x», tenemos:

$x^2 - 1 = x$

Si restamos «x» de cada lado de la ecuación, tenemos:

$x^2 – 1 – x = 0$, ó cambiando el orden, $x^2 – x – 1 = 0$

Pero ésta vuelve a ser la ecuación 2, y la solución para «x» será la misma que antes. Ya sabemos que 1/2 (1 + ^{2}R[5]) es exactamente 1 menos que su cuadrado. Bueno, es también exactamente 1 más que su recíproco.

Para comprobarlo, tomemos 1,618034, aquella buena aproximación de 1/2 (1 + ^{2}R[5]) Resulta que 1/1,618034 = 0,618034.

Probemos ahora otra vez. Imaginaos un rectángulo de 1 unidad de ancho y 2 unidades de largo. (No importa qué clase de unidades sean: pulgadas, metros, años luz o cualquier otra.)

En aquel rectángulo, la longitud es, evidentemente, el doble de la anchura. Pero la longitud y la anchura juntas son 3 unidades, que equivalen a 1 y 1/2 veces la longitud.

Si el rectángulo es de 1 unidad por 3, entonces la longitud es 3 veces la anchura, pero la longitud y la anchura juntas son 4, y la suma sería 1 y 1/3 veces la longitud.

Si el rectángulo fuese de 1 por 4, después de 1 por 5, y sucesivamente, se obtendrían pares de cifras que serían 4 y 1 1/4, 5 y 1 1/5, etcétera. Los dos números se alejarían cada vez más en su valor.

¿Podemos encontrar un rectángulo donde los dos números sean de igual valor?

En tal caso, tendría que ser uno en que la anchura fuese de 1 unidad, y la longitud fuese de menos de 2 unidades (porque a 2 unidades, los dos números son ya desiguales).

Pasemos directamente al álgebra. Supongamos que la anchura del rectángulo es 1 unidad, y la longitud es de «x» unidades. Para expresar cuántas veces es «x» mayor que 1, dividimos «x» por 1 y escribimos «x/1 » o, simplemente, «x».

La suma de la anchura y la longitud del rectángulo es «x + 1». Para expresar cuántas veces es esto mayor que la longitud, tenemos «(x+1)/x».

Estamos buscando una situación en la que estas dos longitudes relativas, o «razones», sean iguales, y para esto escribimos esta ecuación:

$x = (x + 1)/x$

Si multiplicamos ambos lados de la ecuación por «x», el resultado de la ecuación no cambia y tenemos:

$x^2 = x + 1$

Si restamos «x + 1» de ambos lados, tampoco cambiamos la naturaleza de la ecuación y tenemos:

$x^2 - (x + 1) = 0$

Podemos eliminar el paréntesis si tomamos el negativo de «x + 1» y lo expresamos como «– x – 1», de modo que tenemos:

$x^2 – x – 1 = 0$

y aquí está de nuevo la ecuación 2, con su solución acostumbrada.

Supongamos ahora que tenemos un rectángulo cuya anchura es de 1 unidad y cuya longitud es de 1,618034 unidades. Sumando la anchura y la longitud, tendríamos 2,618034. Desde luego, la longitud es 1,618034 veces mayor que la anchura, mientras que la suma de longitud y anchura serían 2,618034/ 1,618034, o sea, 1,618034 veces la longitud.

Fueron los antiguos griegos quienes descubrieron esto. Esencialmente, era una manera de dividir una línea dada en dos secciones, la más larga de las cuales era a la sección más corta lo que toda la línea era a la sección más larga. Los matemáticos se entusiasmaron tanto con la belleza de este equilibrio de razones que, a mediados del Siglo XIX, empezaron a llamarlo «sección de oro».

Un rectángulo en el que la anchura y la longitud representasen una línea dividida por la sección de oro y doblada en ángulo recto en el punto de división fue llamado «rectángulo de oro».

Muchas personas creen que el rectángulo de oro representa una configuración ideal particularmente satisfactoria desde un punto de vista estético. Un rectángulo más largo —piensan— parece demasiado largo, y un rectángulo más corto, demasiado corto. Por tanto, la gente ha buscado (y encontrado) ejemplos de rectángulos de oro en pinturas, estatuas, edificios y muchos artefactos corrientes de nuestra sociedad. En libros populares de matemáticas se presentan al lector ilustraciones sobre esto.

Francamente, yo soy escéptico. Creo que la estética es un estudio muy complicado y que está enormemente influido por el medio social. Tratar de extraer mucho provecho de la sección de oro a tal respecto es demasiado simple. Por ejemplo, sólo tengo que ver películas realizadas en los años veinte y treinta para que me choque cómo han cambiado, en tan poco tiempo, nuestras ideas sobre la belleza femenina (que podríamos considerar, irreflexivamente, como eterna).

No niego que el rectángulo de oro es precisamente de oro por la elegancia matemática de la relación entre los lados, pero tratar de convertir esto en cuestión de estética es como dorar el oro refinado, y yo quisiera contribuir, con pobre aportación, a desdorarlo.

Si nos ceñimos estrictamente a las matemáticas, encontramos que la sección de oro puede hallarse en figuras geométricas tan simples como el decágono regular (figura simétrica de diez lados) y la estrella de cinco puntas (que encontramos en la bandera de los Estados Unidos). Particularmente interesante a este respecto es la serie de Fibonacci, de la que traté en un anterior ensayo de esta colección (véase «T-Formation», en *Adding a Dimension,* Doubleday, 1964). Allí sólo traté de algunos de los grandes números resultantes. Aquí desarrollaré otro aspecto.

La serie de Fibonacci empieza con dos 1 y genera entonces nuevos números, haciendo que cada nuevo número sea la suma de los dos anteriores.

Así, si empezamos la serie con 1, 1..., el tercer número es 1 + 1, o 2, y esto nos da 1, 1, 2... El número siguiente es 1 + 2, o sea, 3, y ahora tenemos 1, 1, 2, 3... Sigue 2 + 3, o sea, 5, de modo que tenemos 1, 2, 3, 5... Después viene 3 + 5 = 8, y 5 + 8 = 13, y así sucesivamente. Por tanto, las 21 primeras cifras de la serie de Fibonacci son: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610, 987, 1.597, 2584, 4.181, 6.765, 10.946...

Si quisiéramos sumar pares de cifras cada vez más grandes, podríamos seguir añadiendo sumas adicionales indefinidamente, pero éstas 21 serán suficientes para nuestro fin.

Cuando se elaboró la serie de Fibonacci —por un matemático italiano llamado Leonardo Fibonacci (1170-1240)—, ésta tenía que ver con el crecimiento biológico. El problema inicial era, en realidad, la multiplicación de los conejos. Y, sin embargo...

Imaginemos que consideramos la razón de números sucesivos en la serie de Fibonacci, dividiendo cada número por el anterior y empezando con el segundo de la serie, así:

1/1 = 1

2/1 = 2

3/2 = 1,5

5/3 = 1,6666...

8/5 = 1,6

13/8 = 1,625

Como vemos, la razón forma una serie oscilante. El valor de la razón sube de 1 a 2, después baja a 1,5, luego sube a 1,6666..., luego baja a 1,6 y después a 1,625. Podemos asegurar que esto continuaría así, que la razón seguiría subiendo y bajando alternativamente, y así ocurre en realidad.

Sin embargo, la razón sube y baja en oscilaciones cada vez más pequeñas. Primero sube de 1 a 2, pero en ulteriores oscilaciones nunca vuelve a bajar hasta 1, ni a subir hasta 2. Entonces baja de 2 a 1,5, y todos los futuros valores están entre 1,5 y 2. Después sube a 1,6666..., y todos los valores futuros están entre 1,5 y 1,6666...

La oscilación es cada vez más pequeña, y, con cada nuevo paso, todos los valores futuros quedan atrapados entre las cada vez menores oscilaciones.

La oscilación nunca cesa del todo. Por mucho que prolonguemos la serie y por enormes que lleguen a ser los números, la razón continuará oscilando, aunque cada vez en menores cantidades. La oscilación, cada vez más pequeña, tendrá lugar a uno y otro lados de algún valor central, al que la razón se acercará cada vez más sin alcanzarlo nunca. Este valor central es el llamado «límite» de la serie.

¿Cuál es el limite de la serie de Fibonacci?

Continuemos la serie empezando con la última razón que hemos observado:

13/8 = 1,625

21/13 = 1,6153846...

34/21 = 1,6190476...

55/34 = 1,617647

89/55 = 1,6181818...

144/89 = 1,6179775...

233/144 = 1,6180555...

377/233 = 1,6180257...

610/377 = 1,6180371...

Esto empieza a parecer terriblemente sospechoso. Pasemos a las dos últimas razones en la serie de Fibonacci de 21 elementos que presenté anteriormente:

6765/4l81 = 1,618033963... y 10946/6765 = 1,618033998...

Las oscilaciones se están haciendo ciertamente muy pequeñas, y *parecen* oscilar alrededor del número que representa la sección de oro.

No, no es esto. Hay métodos matemáticos para determinar el límite de tales series, y se puede demostrar de modo concluyente que el límite de las razones de los términos sucesivos de una serie de Fibonacci es 1/2 (1 + ^{2}R[5]).

Este hecho me encanta. Es un ejemplo de la belleza de lo inesperado que se puede encontrar en cualquier parte de las Matemáticas, si uno tiene talento para ello. Yo, por desgracia, no lo tengo.

NOTA De Questor
«Raíz Cuadrada de» se representa en este ensayo como «^{2}R[ ]» para evitar recargar con tipografía o gráficos el archivo»

LA FRANJA
XVI
EL CIRCULO DE LA TIERRA

En cierta ocasión, Janet y yo estábamos en una habitación de hotel con motivo de una de mis conferencias, y una camarera llamó a la puerta para preguntar si necesitábamos toallas. Creí que teníamos y le dije que no, que no necesitábamos toallas.

Apenas había cerrado la puerta, Janet gritó desde el cuarto de baño que también nosotros las necesitábamos y que llamase a la camarera.

Por consiguiente, abrí la puerta, la llamé y le dije:

— Señorita, la mujer que está conmigo en la habitación dice que también nosotros necesitamos más toallas. ¿Tiene la bondad de traerlas?

— Desde luego —repuso ella, y se alejó.

Janet salió del cuarto de baño con la expresión indignada que adopta cuando no capta por completo mi sentido del humor, y preguntó:

— ¿Por qué le has dicho eso?

— Ha sido una declaración literalmente cierta.

— Sabes que lo dijiste deliberadamente, para dar a entender que no estamos casados. Cuando vuelva, le dirás que lo estamos, ¿entendido?

La camarera volvió con las toallas y yo le dije:

— Señorita, la mujer que está conmigo en la habitación quiere que le diga que estamos casados.

Y al oír que Janet gritaba « *¡oh, Isaac!* », la camarera replicó, con altivez:

— ¡No me importa en absoluto!

Bien por la moral moderna.

Hace poco recordé este incidente al terminar un ensayo que había escrito para *Science Digest,* en el cual declaraba casualmente que la Biblia presume de que la Tierra es plana.

Os sorprenderá saber las cartas indignadas que recibí de personas que negaban enérgicamente que la Biblia presumiese que la Tierra fuera plana.

¿Por qué? A fin de cuentas, la Biblia fue escrita en unos tiempos en que *todo el mundo* presumía que la Tierra era plana. Ciertamente, cuando los últimos libros fueron escritos, unos pocos filósofos griegos pensaban de otra manera, pero, ¿quién *les* escuchaba? Creía que era absolutamente razonable que los hombres que escribieron los diversos libros de la Biblia no supiesen más de Astronomía que cualquier otro de su época, y que, por consiguiente, debíamos ser caritativos y amables con ellos.

Sin embargo, los fundamentalistas no son como la camarera de aquel hotel. Cuando se trata de cualquier sugerencia sobre una Tierra plana bíblica, les importa *en grado sumo*.

Su tesis, como veis, es la de que la Biblia es literalmente cierta en todas sus palabras y, más aún, que es «infalible»; es decir, que no puede equivocarse. (Esto se desprende claramente de su creencia en que la Biblia es la palabra inspirada de Dios, que Dios lo sabe todo y que, como George Washington, Dios no puede mentir.)

En apoyo de esta tesis, los fundamentalistas niegan la evolución, y niegan que la Tierra y el Universo en su conjunto tengan más de unos pocos miles de años de antigüedad, etcétera.

Hay concluyentes pruebas científicas de que los fundamentalistas se equivocan en estas materias, y de que sus nociones de cosmogonía tienen aproximadamente el mismo fundamento que un cuento de hadas, pero los fundamentalistas se niegan a aceptarlo. Negando algunos descubrimientos científicos y deformando otros, insisten en que sus tontas creencias tienen algún valor, y llaman creacionismo «científico» a sus imaginarias lucubraciones.

Sin embargo, hay un punto en el que tienen que ceder. Incluso los más fundamentales de los fundamentalistas encontrarían un poco difícil sostener que la Tierra es plana. A fin de cuentas, Colón no se cayó al llegar al borde del mundo, y hoy en día los astronautas han visto que el mundo es una esfera.

Por tanto, si los fundamentalistas tuviesen que admitir que la Biblia considera que la Tierra es plana se vendría abajo toda su estructura sobre la infalibilidad de aquélla. Y si la Biblia se equivoca en una cosa tan fundamental, puede estar equivocada en todo lo demás, y ellos tendrían que renunciar a su posición.

En consecuencia, la simple mención de la Tierra plana bíblica les produce convulsiones.

Mi carta predilecta, recibida a tal respecto, sentaba los tres puntos siguientes:

1. La Biblia dice, concretamente, que la Tierra es redondeada (aquí cita un versículo bíblico); sin embargo, a pesar de esta declaración bíblica, los seres humanos persistieron durante dos mil años en creer que la Tierra era plana.

2. Si al parecer fueron cristianos los que hablaban de que la Tierra era plana, fue sólo la Iglesia católica, y no los cristianos lectores de la Biblia, quien insistió en ello.

3. Era una lástima que sólo los no fanáticos leyesen la Biblia. (Esto, según me pareció, era una amable observación tendente a insinuar que yo era un fanático que no leía la Biblia y que, por consiguiente, hablaba de algo que ignoraba.)

En realidad, mi amigo autor de la carta se equivocaba de plano en los tres puntos.

El versículo bíblico que citaba era Isaías 40, 22.

Dudo de que mi corresponsal se diese cuenta de ello, o incluso que lo creyese si alguien se lo decía, pero el capítulo cuarenta de Isaías es el primero de la parte del libro llamada «Segundo Isaías», porque no fue escrita por la misma mano que los primeros treinta y nueve capítulos.

Los primeros treinta y nueve capítulos fueron escritos alrededor del año 700 a. de J. C., en la poca de Ezequías, rey de Judá, cuando el monarca asirio Senaquerib estaba amenazando el país. En cambio, en el capítulo 40, nos hallamos en la situación que debió de corresponder aproximadamente al año 540 a. de J. C., cuando la caída del Imperio caldeo ante Ciro de Persia.

Esto significa que el Segundo Isaías, fuese quien fuese, se crió en Babilonia, en la época del cautiverio babilónico, y estuvo indudablemente bien instruido en la cultura y la ciencia babilónicas.

Por consiguiente, el Segundo Isaías piensa en el Universo en términos de la ciencia babilónica, y, para los babilonios, la Tierra era plana.

Bien, ¿qué dice entonces «Isaías 40, 22»? En la Versión Autorizada (más conocida como Biblia del rey Jacobo), que es *La* Biblia de los fundamentalistas —de modo que todos los defectos de traducción que contiene son sagrados para ellos—, el versículo, que es parte del intento del Segundo Isaías de describir a Dios, dice:

«*Es el que está sentado sobre el circulo de la Tierra...*» Ya lo veis: «el círculo de la Tierra». ¿No es una clara indicación de que la Tierra es «redonda»? ¿Por qué insisten todos aquellos fanáticos que no leen la Biblia en pensar en la Tierra plana, cuando la palabra de Dios, guardada como una reliquia en la Biblia, se refería a la Tierra como un «círculo»?

La pega está, desde luego, en que se supone que leemos la Biblia del rey Jacobo como si estuviese escrita en inglés. Si los fundamentalistas quieren insistir en que toda palabra de la Biblia es cierta, entonces es justo que acepten el significado inglés de aquellas palabras y no inventen nuevas significaciones para deformar las declaraciones bíblicas en algo diferente.

En inglés, un «círculo» es una figura bidimensional; una «esfera» es una figura tridimensional. La Tierra es casi una esfera; ciertamente, no es un círculo.

Una moneda es un ejemplo de un círculo (si imagináis que la moneda tiene un grosor despreciable). Dicho en otras palabras: lo que el Segundo Isaías quiere decir cuando habla del «círculo de la Tierra» es una Tierra plana con un borde circular: un disco, un objeto con la forma de una moneda.

El propio versículo que mi corresponsal citaba como prueba de que la Biblia consideraba a la Tierra una esfera es, precisamente, la prueba más convincente de que la Biblia presupone que la Tierra es plana.

Si queréis otro versículo con igual efecto, considerad un pasaje del Libro de los Proverbios, que es parte de un canto de alabanza a la Sabiduría personificada como atributo de Dios:

«*Cuando preparó los cielos, yo estaba allí: cuando puso un compás sobre la faz: del abismo*» (Proverbios, 8, 27.)

Como todos sabemos, un compás sirve para trazar un círculo; por consiguiente, podemos imaginar a Dios trazando de esta manera el disco circular y plano del mundo. William Blake, el artista y poeta inglés, pintó un famoso cuadro en el que mostraba a Dios marcando los límites de la Tierra con un compás. «Compás» no es la mejor traducción de la palabra hebrea. La Versión Corriente Revisada de la Biblia contiene el versículo en esta forma: «*Cuando fundó los cielos, yo estaba allí, cuando trazó un círculo sobre la faz del abismo*.» Así resulta más claro y preciso.

Por consiguiente, si queremos trazar un mapa esquemático del mundo tal como les parecía a los babilonios y judíos del Siglo VI a. de J. C. (época del Segundo Isaías), lo encontraréis en la figura 1. Aunque la Biblia no lo dice en parte alguna, los judíos del último período bíblico consideraban que Jerusalén era el centro del «círculo del mundo», de la misma manera que los griegos pensaban que el centro era Delfos. (Desde luego, una superficie esférica no tiene centro.)

Una tienda *no* es una estructura esférica que rodea otra estructura esférica más pequeña. Jamás ha habido una tienda así. En su forma más esquemática es una semiesfera cuyos bordes tocan el suelo formando un círculo. Y el suelo de debajo de la tienda es *plano*. Esto es cierto en todos los casos.

Si queréis ver los cielos y la Tierra en sección lateral, tal como se describe en este versículo, ved la Figura 2. Dentro de la tienda de los cielos, sobre la base de la Tierra plana, moran las langostas que son la Humanidad.

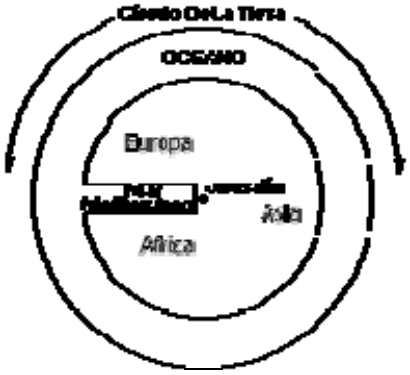


FIGURA 1

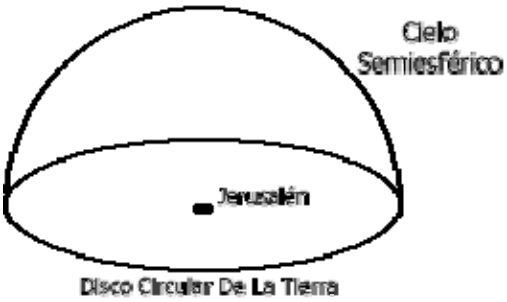


FIGURA 2

Citemos ahora el versículo íntegro:

«*Es el que está sentado sobre el círculo de la Tierra, y los habitantes de allí son como langostas; él tiende los cielos como un toldo, los despliega como una tienda para morar en ella*.» (Isaías, 40, 22.)

La referencia a los habitantes de la Tierra como «langostas» no es más que un tópico bíblico para lo pequeño y carente de valor. Así, cuando los israelitas vagaban por el desierto y enviaron espías a la tierra de Canaán, estos espías volvieron con informes desalentadores sobre la fuerza de los habitantes y de sus ciudades. Los espías dijeron:

«... *nos pareció a nosotros que éramos como langostas, y así les parecíamos nosotros a ellos*.» (Números, 13, 33.)

Observad, empero, la comparación de los cielos con un toldo o una tienda. Una tienda, según suele representarse, está compuesta de algunas piezas que se montan y desmontan fácilmente: cuero, tela, seda, lona. El material se despliega arriba y se deja caer en todos los lados hasta que toca el suelo.

Este concepto es razonable para personas que no han estado muy lejos de su casa; que no han navegado en los océanos, que no han observado las posiciones cambiantes de las estrellas durante viajes muy hacia el Norte o el Sur, o el comportamiento de los barcos al acercarse al horizonte; que han tenido demasiado miedo en un eclipse para observar atenta y desapasionadamente la sombra de la Tierra sobre la Luna.

Sin embargo, hemos aprendido mucho sobre la Tierra y el Universo en los últimos veinticinco siglos, y sabemos muy bien que la imagen del Universo como un toldo desplegado sobre un disco plano no coincide con la realidad. Incluso los fundamentalistas saben esto, y la única manera que tienen de eludir la conclusión de que la Biblia está equivocada es negar el buen inglés.

Y esto demuestra lo difícil que es poner límites a la sandez humana.

Si aceptamos un cielo hemisférico descansando sobre una Tierra que es un disco plano, tenemos que preguntarnos sobre qué descansa éste.

Los filósofos griegos, culminando en Aristóteles (384-322 a. de J. C.), que fueron los primeros en aceptar una Tierra esférica, fueron también los primeros que no tuvieron que preocuparse por el problema. Se dieron cuenta de que la gravedad era una fuerza que apuntaba al centro de la Tierra esférica, de modo que podían imaginar que ésta estaba suspendida en el centro de la esfera, más grande, del Universo en su conjunto.

Para los que vinieron antes de Aristóteles, o no oyeron hablar nunca de él, o le despreciaron, «abajo» existía una dirección cósmica independiente de la Tierra. En realidad, ésta es una visión tan tentadora que, en cada generación, los chiquillos tienen que ser salvados de ella. ¿Cuál es el joven colegial que, en su primer encuentro con la noción de una Tierra esférica, no se pregunta por qué la gente del otro lado, que caminan boca abajo, no se cae?

Y si concibes una Tierra plana, como hicieron los escritores bíblicos, tendrás que resolver la cuestión de qué es lo que impide que se caiga todo.

La inevitable conclusión —para aquellos que no están dispuestos a considerar toda la cuestión como divinamente milagrosa— es presumir que la Tierra debe apoyarse en algo; por ejemplo, en columnas. A fin de cuentas, ¿no se apoyan en columnas los techos de los templos?

Pero entonces hay que preguntar dónde se apoyan las columnas. Los hindúes pretendían que las columnas se apoyaban en elefantes gigantescos, que, a su vez, estaban de pie sobre una tortuga supergigante, que, a su vez, nadaba sobre la superficie de un mar infinito.

Al final quedamos atascados en lo divino o en lo infinito.

Carl Sagan habla de una mujer que tenía una solución más sencilla que la de los hindúes. Creía que la Tierra plana descansaba sobre la espalda de una tortuga. Le preguntaron:

— ¿Y sobre qué descansa la tortuga?

— Sobre otra tortuga —contestó altivamente la mujer.

— Y esa otra tortuga...

La mujer interrumpió:

— Ya sé adónde quiere usted ir a parar, señor; pero es inútil. Hay tortugas *hasta abajo de todo*.

Pero, ¿habla la Biblia de la cuestión de sobre qué se apoya la Tierra? Sí, pero sólo casualmente.

Mirad, lo malo es que la Biblia no entra en detalles de cuestiones que presume que todo el mundo sabe. Por ejemplo, no describe a Adán cuando fue formado. No dice, concretamente, que Adán fue creado con dos piernas, dos brazos, una cabeza, sin cola, dos ojos, dos orejas, una boca, etcétera. Da todo esto por sabido.

De la misma manera, no dice lisa y llanamente «la Tierra es plana», porque los escritores bíblicos no oyeron decir nunca a nadie que no lo fuese. Sin embargo, podéis ver la calidad de plana en la serena descripción de la Tierra como un círculo y del cielo como una tienda.

De igual manera, sin decir concretamente que la Tierra plana se apoya en algo, cuando todo el mundo *sabía* que era así, se refería a aquel algo de una manera muy casual.

Por ejemplo, en el capítulo 38 de Job, Dios contesta a las quejas de Job sobre la injusticia y la maldad del mundo, no explicándole a lo que se refería sino señalando la ignorancia humana y negando, por ende, que los seres humanos tengan siquiera derecho a preguntar (una evasión altiva y autocrática de la pregunta de Job, pero eso no importa). Dice: «*¿Dónde estabas cuando yo puse los cimientos de la Tierra? Dímelo si tanto sabes. ¿Quién determinó, si lo sabes, sus dimensiones? ¿Quién tendió sobre ella la regla? ¿Sobre qué descansan sus cimientos o quién asentó su piedra angular?* (Job, 38,4-6)

¿Qué son estos cimientos? Es difícil decirlo, porque la Biblia no los describe de modo específico.

Podríamos decir que los «cimientos» se refieren a las capas bajas de la Tierra, al manto y al núcleo de hierro líquido. Pero los autores bíblicos no habían oído nunca hablar de tales cosas, como no habían oído hablar de las bacterias, por lo cual tuvieron de valerse de cosas tan grandes como las langostas para representar la insignificancia. Como veremos, la Biblia *nunca* se refiere a las regiones de debajo de la superficie de la Tierra como compuestas de rocas y metales.

Podríamos decir que la Biblia fue escrita en una especie de doble sentido; en versos que significaban una cosa para los sencillos contemporáneos de los escritores bíblicos, pero que significan algo distinto para los más ilustrados lectores del Siglo XX, y que significarían otra cosa para los todavía más ilustrados lectores del Siglo XXXV.

Pero si admitimos esto, toda la tesis fundamentalista se viene abajo, pues todo lo que dice la Biblia puede entonces interpretarse de manera que se ajuste a un Universo de quince mil

millones de años y al curso de la evolución biológica, y esto lo rechazan de plano los fundamentalistas.

De ahí que, para discutir el caso de los fundamentalistas, debemos suponer que la Biblia del rey Jacobo está escrita en inglés, de modo que los «cimientos» de la Tierra son los objetos sobre los que descansa la tierra plana.

En otra parte del Libro de Job, éste dice, al describir el poder de Dios: «*Las columnas del cielo tiemblan y se estremecen a una amenaza suya*.» (Job, 26, 11.)

Parecería que estas columnas son los «cimientos» de la Tierra. Quizás están colocados debajo del borde de la Tierra, donde desciende el cielo para encontrarse con ella, como en la figura 3. Estas estructuras son, a la vez, las columnas de cielo y los cimientos de la Tierra.

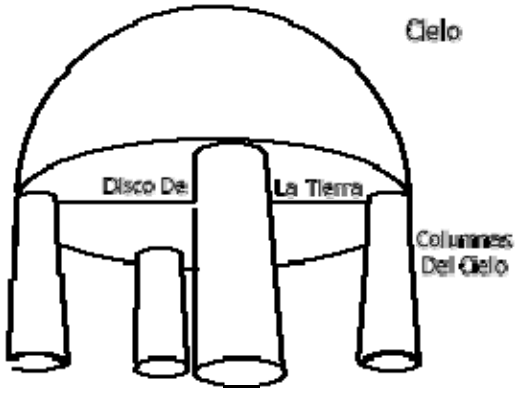


FIGURA 3

¿Sobre qué se apoyan, a su vez, las columnas? ¿Sobre elefantes? ¿Sobre tortugas? ¿O hay pilares «hasta abajo de todo»? ¿O se apoyan en las espaldas de ángeles que vuelan eternamente por el espacio? La Biblia no lo dice.

¿Y qué es el cielo que cubre la Tierra como una tienda?

En el relato bíblico de la creación, la Tierra es, al principio, como una masa amorfa de agua. El primer día, Dios creó la luz y, de alguna manera, sin la presencia del Sol, hizo que fuese intermitente, de modo que existiese la sucesión de día y noche.

Después, el segundo día, colocó la tienda sobre la amorfa masa de las aguas:

«Dijo luego Dios: "*Haya un firmamento en medio de las aguas, que separe las aguas de las aguas*."» (Génesis, 1, 6.)

La primera sílaba de la palabra «firmamento» es «firm», y esto es lo que pensaron los escritores bíblicos. La palabra es una traducción del griego *stereoma,* que significa «un objeto duro» y es, a su vez, traducción del hebreo *rakia* , que significa «una lámina fina de metal».

Dicho en otras palabras: el cielo se parece mucho a la tapa hemisférica de metal que colocan sobre la fuente plana en nuestros restaurantes de lujo.

El Sol, la Luna y las estrellas se describen como creados el cuarto día. Las estrellas eran vistas como destellos de luz pegados al firmamento, mientras que el Sol y la Luna eran círculos de luz que se movían de Este a Oeste a través del firmamento o, quizá, debajo de él.

Esta visión se encuentra más específicamente en el Apocalipsis, que fue escrito alrededor del año 100 de nuestra Era, y que contiene una serie de visiones apocalípticas del fin del Universo. En un pasaje se refiere a un «gran terremoto» Como resultado del cual:

«*...las estrellas del cielo cayeron sobre la Tierra como la higuera deja caer sus higos sacudida por un viento fuerte, y el cielo se enrolló como un libro que se enrolla...*» (Apocalipsis, 6,13-14.)

En otras palabras: las estrellas (aquellos puntitos de luz) fueron sacudidas de la fina estructura metálica del cielo por el terremoto, y el propio cielo de fino metal se enrolló como un libro enrollado.

Se dice que el firmamento «divide las aguas». Aparentemente hay agua sobre la base plana de la estructura del mundo, la propia Tierra, y hay también una cantidad de agua *sobre* el firmamento. Probablemente es esta cantidad en lo alto la responsable de la lluvia. (¿De qué otra manera puede explicarse que caiga agua del cielo?)

Por lo visto, hay aberturas de alguna clase que permiten que la lluvia pase por ellas y caiga, y, cuando se desea una lluvia particularmente fuerte, aquellas aberturas se ensanchan. Así, en el caso del Diluvio: «*se abrieron las ventanas del cielo*.» «Génesis, 7, 11.)

En los tiempos del Nuevo Testamento, los eruditos judíos habían oído hablar de la griega multiplicidad de esfera alrededor de la Tierra, una para cada uno de los siete planetas y una exterior para las estrellas. Empezaron a pensar que un solo firmamento podía no ser suficiente.

Así, san Pablo, en el Siglo I de nuestra Era, supone una pluralidad de cielos. Por ejemplo, dice:

«*Sé de un hombre en Cristo que hace catorce años..., fue arrebatado hasta el tercer cielo*.» (II Corintios, 12, 2.)

¿Qué hay debajo del disco plano de la Tierra? Ciertamente no un manto y un núcleo de hierro líquido del tipo de que hablan actualmente los geólogos; al menos, no según la Biblia.

Debajo de la Tierra está, en vez de aquello, la morada de los muertos.

La primera mención de esto se hace en relación con Coré, Datán y Abiram, que se rebelaron contra la jefatura de Moisés en los tiempos en que vagaban por el desierto: «*Y ocurrió..., que se abrió el suelo que estaba debajo de ellos. Y abrió la Tierra su boca y se los tragó a ellos, sus casas y todos los partidarios de Coré con todo lo suyo. Vivos se precipitaron en el abismo, con todo lo que les pertenecía, y la tierra se cerró sobre ellos, y perecieron...* » (Números, 16, 31-33.)

El abismo, o «Sheol», era visto en los tiempos del Antiguo Testamento como algo bastante parecido al Hades griego: un lugar de oscuridad, de debilidad y de olvido.

En tiempos posteriores, quizá bajo la influencia de los relatos de ingeniosos tormentos en el Tártaro, donde imaginaban los griegos que estaban recluidas las sombras de los grandes pecadores, el Sheol se convirtió en el infierno. Así, en la famosa parábola del rico y Lázaro,

vemos la división entre los pecadores arrojados al tormento y los buenos que son elevados a la bienaventuranza:

«Sucedió, pues, que murió el pobre y fue llevado por los ángeles al seno de Abraham; y murió también el rico y fue sepultado. En el infierno, en medio de los tormentos, levantó los ojos y vio a Abraham desde lejos y a Lázaro en su seno. Y, gritando, dijo: «*Padre Abraham, ten piedad de mí y envía a Lázaro para que con la punta del dedo mojada en agua, refresque mi lengua; porque estoy atormentado en estas llamas*.» (Lucas, 16, 22-24.)

La Biblia no describe la forma del abismo, pero sería interesante que ocupase el otro hemisferio del cielo, como en la figura 4.

Puede que toda la estructura esférica flote en la masa infinita de agua de la que fueron creados el cielo y la Tierra y que representa el caos primigenio, como se indica en la figura 4. En tal caso, quizá no necesitásemos las columnas del cielo.

Así, para contribuir a las inundaciones del Diluvio, no sólo se abrieron de par en par las ventanas del cielo, sino que, al mismo tiempo, «...*se rompieron todas las fuentes del abismo*...» (Génesis, 7, 11.)

Dicho en otras palabras: las aguas del caos ascendieron y casi sumergieron toda la creación.

Naturalmente, si la imagen del Universo está ciertamente de acuerdo con las palabras literales de la Biblia, es imposible un sistema heliocéntrico. La Tierra no puede ser considerada como algo que se mueve (a menos que se la vea como flotando a la deriva en el «abismo») y, desde luego, no se puede imaginar que gire alrededor del Sol, que es un pequeño círculo de luz sobre el sólido firmamento que encierra el disco plano de la Tierra.

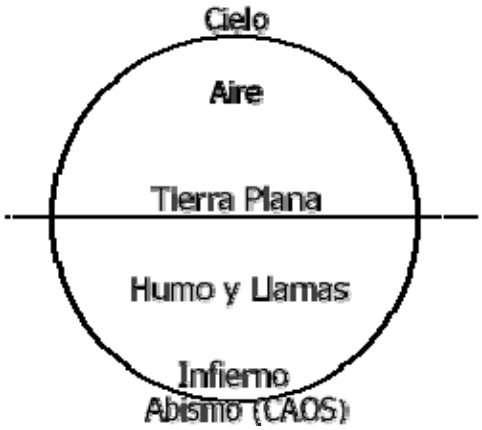


FIGURA 4

Permitidme recalcar, empero, que yo no tomo en serio esta imagen. No me siento obligado por la Biblia a aceptar esta visión de la estructura de la Tierra y del cielo.

Casi todas las referencias a la estructura del Universo que se hacen en la Biblia se hallan en fragmentos poéticos de Job, de los Salmos, de Isaías, del Apocalipsis y otros. Todo puede ser considerado como imágenes poéticas, como metáforas, como alegorías. Y los relatos de la Creación en el principio del Génesis deben también considerarse como imágenes, metáforas y alegorías.

Si esto es así, no hay nada que nos obligue a ver en la Biblia la menor contradicción con la Ciencia moderna.

Hay muchos judíos y cristianos sinceramente religiosos que consideran exactamente la Biblia bajo este prisma, que piensan que la Biblia es una guía para la Teología y la Moral, que es una gran obra poética, pero *no* un libro de texto de Astronomía, Geología o Biología. Entonces, no tienen la menor dificultad en aceptar tanto la Biblia como la Ciencia moderna y situar a cada cual en su sitio, de manera que «*...dan al César lo que es del César, y a Dios, lo que es de Dios*». (Lucas, 20,25.)

Yo sólo discuto con los fundamentalistas, los literalistas, los creacionistas.

Si los fundamentalistas se empeñan en imponernos una interpretación literal de los relatos de la Creación contenidos en el Génesis; si tratan de obligarnos a aceptar una Tierra y un Universo que sólo tienen unos pocos miles de años de antigüedad, y a negar la evolución, entonces insisto en que deben aceptar literalmente todos los demás pasajes de la Biblia..., y esto significa una Tierra plana y un cielo fino de metal.

Y si esto no les gusta, ¿qué más me da a mí?

XVII
LOS EJÉRCITOS DE LA NOCHE

La semana pasada asistí en Nueva York a una reunión de «Mensa», pues, al ser su vicepresidente internacional, es tradicional que hable en las reuniones de Nueva York.

«Mensa», como sabéis, es una organización de personas de alto coeficiente de inteligencia, y he conocido allí a mucha gente brillante y adorable, de modo que para mí es un gran placer asistir a las reuniones.

Sin embargo, sospecho que a una persona de alto coeficiente de inteligencia le resulta tan fácil como a otra cualquiera hacer tonterías.

Así, hay mensanos que parecen muy impresionados por la astrología y otras formas de ocultismo, y, la noche en que pronuncié mi charla, fui precedido por un astrólogo que estuvo unos quince minutos soltando paparruchas sin sentido, para mi gran *enojo*.

Más aún, aquel día no fue mi único encuentro con la astrología.

Los mensanos tienen la costumbre de desafiarse los unos a los otros a toda clase de contiendas mentales, y yo soy un blanco natural para ello, aunque hago todo lo posible por evitarlo y casi me limito a esquivar las estocadas cuando el duelo es inevitable. O, al menos, lo intento.

En esta ocasión, una joven muy atractiva se acercó a mí (desde luego, sabiendo quién era yo) e inquirió, agresivamente:

— ¿Qué posición adopta usted ante la astrología?

No podía haber leído mucho de lo escrito por mí, si no sabía de antemano mi respuesta a su pregunta, por lo cual sospeché que quería entablar un duelo. Yo no lo deseaba, y por esto me limité a una mínima declaración de mi postura, y respondí:

— No me impresiona.

Ella debía esperárselo, pues replicó inmediatamente:

— ¿Ha estudiado alguna vez astrología?

Supongo que se sentía segura al preguntar esto, pues indudablemente sabia que un laborioso escritor sobre cuestiones científicas, como yo, se esfuerza constantemente en estar al día en cuanto concierne a las ciencias legítimas, y que no podía dedicar mucho tiempo a la penosa investigación de cada una de las gansadas marginales con que se contagia al público. Estuve tentado de decirle que sí, pues conocía lo bastante de astronomía como para saber que las presunciones astrológicas son ridículas, y he leído suficientes obras de científicos que *han* estudiado la astrología para saber que ninguna parte de ella es merecedora de crédito.

Pero si le hubiese dicho que había estudiado astrología, ella me habría preguntado si había leído algún libro insensato del patán número uno o algún volumen idiota del chalado número dos, y me habría acribillado no sólo por no haber estudiado astrología, sino por haber mentido acerca de ello.

Por consiguiente, le contesté, con una amable sonrisa:

— No.

Ella replicó, vivamente:

— Si la estudiase, tal vez descubriría que podía impresionarle.

Limitando todavía mis respuestas, dije:

— No lo creo.

Es lo que ella quería; con aire de triunfo, repuso:

— Esto quiere decir que es usted un fanático de mentalidad estrecha, temeroso de que la investigación haga tambalear sus propios prejuicios.

Habría podido encogerme simplemente de hombros, sonreír y alejarme; pero me sentí impulsado a replicar:

— Como soy humano, señorita, supongo que debe de haber un poco de fanatismo en mí; por eso cuido bien de gastarlo en la astrología, para no caer en la tentación de emplearlo en algo que tenga una sombra de honradez intelectual.

Y ella se marchó, muy enojada.

Bien, el problema no estaba en que yo hubiese dejado de investigar la astrología; estaba en que ella no había estudiado Astronomía, por lo cual ignoraba lo falta de contenido que estaba la astrología.

Precisamente porque los norteamericanos consideran elegante no saber nada de ninguna ciencia, aunque pueden estar bien educados en otras cosas, son fácilmente presa de la charlatanería.

De este modo se convierten en parte de los ejércitos de la noche, proveedores de sandeces, vendedores al por menor de mala comida intelectual, devoradores de patrañas, pues su ignorancia les impide distinguir el néctar de las aguas de albañal.

Sin embargo, en cierto modo mi adversaria astrológica se retiró prematuramente. Todavía le quedaban armas en su arsenal que habría podido llevarme fácilmente a un ulterior debate, por otra parte, completamente inútil.

Habría podido señalar que muchos grandes astrónomos antiguos habían creído en la astrología. El gran editor de ciencia-ficción John Campbell, por ejemplo, me opuso una vez este argumento.

— ¡Pensad en Juan Kepler! Era un astrónomo de primera fila y el primero que elaboró una imagen adecuada del Sistema Solar. Y, sin embargo, *hacía* horóscopos.

Pero en aquellos tiempos, los astrólogos ganaban más dinero que los astrónomos, y Kepler tenía que ganarse la vida. Dudo que creyese en los horóscopos que confeccionaba, y, aunque hubiese creído, esto no habría significado nada.

Cuando Campbell empleó este argumento contra mí, le respondí:

— Hiparco de Nicea y Tycho Brahe, dos de los más grandes astrónomos de todos los tiempos, creían que el Sol giraba alrededor de una Tierra inmóvil. Con todo el debido respeto a esas dos mentes auténticamente grandes, no acepto su autoridad en este punto.

La joven hubiera podido alegar también que la Luna nos afecta ciertamente por medio de las mareas y que, no obstante, la mayoría de los astrónomos se burlaron durante siglos de esta idea. Uno de sus argumentos era que una marea alta de cada dos tenía lugar cuando la Luna no estaba siquiera en el cielo.

Cierto. Y si yo hubiese vivido en los tiempos de Galileo, seguramente habría ignorado, como él, la influencia de la Luna; y habría estado equivocado, como lo estuvo él.

Pero la relación entre la Luna y las mareas no era un dogma astrológico; la existencia de aquella relación fue demostrada por astrónomos y no por astrólogos, y, una vez probada la relación, ésta no concedió un átomo más de credibilidad a la astrología.

La cuestión no es si la Luna afecta a las mareas, sino si la Luna —ó cualquier otro cuerpo celeste— nos afecta a *nosotros* hasta persuadirnos de que los menores detalles de nuestro comportamiento deberían guiarse por los cambios en la configuración de aquellos cuerpos celestes.

Sabemos —vosotros y yo— lo que es la astrología. Si tenéis alguna duda, leed cualquier columna de astrología en cualquier periódico, y lo veréis. Si nacisteis tal o cual día, dicen los astrólogos, hoy deberíais tener cuidado con vuestras inversiones, o evitar disputas con las personas queridas, o no temer los riesgos, etcétera.

¿Por qué? ¿Cuál es la relación?

¿Habéis oído alguna vez a un astrólogo explicar exactamente por qué una fecha de nacimiento particular tiene que influir en vuestro comportamiento de una determinada manera? Puede explicar que, cuando Neptuno está en conjunción con Saturno, los negocios financieros (pongo por caso) se hacen inseguros; pero, ¿explica alguna vez *por qué* tiene que ser así, o cómo lo descubrió?

¿Habéis oído alguna vez que dos astrólogos discutan seriamente sobre el efecto de una desacostumbrada combinación celeste sobre los individuos, aportando cada uno alguna prueba de su propio punto de vista? ¿Habéis oído hablar alguna vez de un astrólogo que haya hecho un nuevo descubrimiento astrológico o perfeccionado las nociones astrológicas en tal o cual aspecto?

La astrología sólo hace declaraciones llanas. Lo más a que puede llegarse por encima de esto es cuando alguien sostiene que el número de (digamos) atletas nacidos bajo el signo de Marte (o de cualquier otro planeta) es mayor que el que cabe esperar de una distribución al azar. Generalmente, incluso esta clase de «descubrimiento» dudoso se desvanece al ser estudiado más de cerca.

Tomemos otro ejemplo. Hace algunos años se publicó un libro titulado *The Jupiter Effect*. Desarrollaba una complicada tesis que incluía los efectos de marea sobre el Sol. Estos efectos de marea existen, y Júpiter es su principal agente, aunque otros planetas —sobre todo, la propia Tierra— contribuyen también.

Se presentaban argumentos en apoyo de la opinión de que estos efectos de marea influían en actividades solares tales como las manchas y las llamaradas. Esto, a su vez, influiría en el viento solar, que a su vez, influiría en la Tierra y podría, en pequeño grado, afectar el delicado equilibrio de los cambios tectónicos de la Tierra.

Se daba el caso de que los planetas estarían arracimados más juntos que de costumbre en el cielo en el mes de marzo de 1982, y sus efectos de marea combinados serían un poco más extensos que de costumbre. Si se producía en 1982 el máximo de la mancha solar, esta seria quizás mas rica en consecuencias que de costumbre, y el efecto sobre la Tierra se vería incrementado. Entonces, *si* la falla de San Andrés estuviese a punto de resbalar —como cree la mayoría de los sismólogos—, el efecto del viento solar podría proporcionar aquella última gota y provocar un terremoto en 1982.

Los autores no ocultaban que la cadena era larga y muy insegura.

El editor me entregó las galeradas y me pidió una introducción. Me intrigó la tesis y escribí la introducción..., lo cual fue un error. Yo no tenía idea de cuántas personas leerían el libro, y, prescindiendo de las advertencias, tomé muy en serio el trabajo. Fui bombardeado por un montón de cartas temerosas, preguntándome qué ocurriría en marzo de 1982. Al principio, contesté con postales en las que decía: «Nada.» Al final, el mensaje decía: «¡¡¡Nada!!!»

En realidad, el máximo de la mancha solar se produjo mucho antes de 1982, y esto lo estropeó todo. No existía necesariamente una relación entre la actividad de marea planetaria y el cielo de la mancha solar. Uno de los autores del libro renegó muy pronto de la teoría. (Y, aunque no lo hubiera hecho, lo único que había sostenido era que un terremoto que iba a producirse de

todos modos podía ocurrir un poco antes debido a los efectos planetarios; digamos en marzo, en vez de octubre).

Sin embargo, cuando el autor repudió la teoría, era ya demasiado tarde. *El efecto Júpiter* había captado la atención de los ejércitos de la noche, que se enamoraron de la «alineación planetaria».

De las cartas que recibí, deduje que se imaginaban que los planetas estarían alineados uno detrás de otros, en línea recta. (En realidad, estaban desparramados en una cuarta parte del cielo, cuando se hallaban más próximos.)

También pensaban que era un suceso arcano que sólo ocurría cada millón de años, poco más o menos. De hecho, tales agrupaciones se producen aproximadamente cada siglo y cuarto. Y no hace muchos años tuvo lugar una alineación todavía más próxima que la de marzo de 1982; pero en aquella ocasión algunos planetas estaban a un lado del Sol, y los otros, en el otro.

Desde el punto de vista de la marea, no importa que todos los planetas estén a un lado del Sol o distribuidos a ambos lados, con tal de que estén aproximadamente en línea recta; pero, por lo visto, sólo el mismo lado contaba para la gente de la alineación.

Supongo que, al estar todos en el mismo lado, debía de parecerles que iba a volcar todo el Sistema Solar.

Más aún: los entusiastas de la alineación planetaria no se contentaban con un terremoto. La consigna era que California se hundiría en el mar.

En realidad, ni siquiera la pérdida de California era bastante para muchos. Circuló el rumor de que vendría el fin del mundo, y presumo que muchas personas se despertaron el día de la alineación dispuestos a enfrentarse con cualquier destino cuando apareciese en el cielo el gran rótulo de FIN.

A propósito: yo no podía dejar de admirarme de que se preocupasen en fijar la alineación en un solo día. Los planetas se movían lentamente en el cielo, siguiendo sus rutas separadas, y un día en particular sería mínima la zona dentro de la cual se encontrasen todos ellos. Pero el día antes y el día después, la zona era sólo ligeramente mayor que aquel mínimo, y dos días antes y dos días después, sólo un poquitín mayor que ésta. Fuese cual fuere la influencia material de la alineación, no podía ser mucho mayor en el momento de la zona mínima que en cualquier otro instante en un período de varios días. Sin embargo, sospecho que los adeptos de la alineación tenían la idea de que todo aquello funcionaba gracias a alguna influencia mística que sólo se ejercía cuando todos los planetas se deslizaban uno detrás de otro para formar una línea exactamente recta (cosa que, desde luego, no ocurría nunca).

En todo caso, el día de la alineación llegó y pasó, y no sucedió nada anormal.

Yo sabía demasiado para sospechar que una sola persona podía levantarse y confesar: «Vaya, me he equivocado.» Todos están demasiado ocupados esperando el próximo anuncio del fin del mundo: quizás el cometa Halley.

Los ignorantes ni siquiera se preocuparon en cuidar el vocabulario.

Cuando una teoría es formulada por un científico competente, es un intento primoroso y detallado de explicar una serie de observaciones por lo demás inconexas y aparentemente no relacionadas entre sí. Se funda en numerosas observaciones, en un razonamiento estricto y, cuando procede, en una cuidadosa deducción matemática. Para triunfar, una teoría tiene que ser confirmada por otros científicos a través de numerosas observaciones y pruebas adicionales, y, cuando es posible, se deben hacer predicciones que puedan comprobarse y confirmarse. La teoría puede ser, y es, refinada y mejorada, cuando se hacen más y mejores observaciones.

He aquí unos cuantos ejemplos de teorías triunfales, con la fecha en que cada una de ellas fue anunciada por primera vez:

La teoría atómica: 1803.

La teoría de la evolución: 1859.

La teoría de los quanta: 1900.

La teoría de la relatividad: 1905.

Cada una de ellas ha sido reiteradamente ensayada y comprobada desde su primer anuncio y, con las necesarias mejoras y refinamientos, ha superado todos los desafíos.

Ningún científico estimable duda de que existan los átomos, la evolución, los quanta y el movimiento relativista, aunque puedan ser necesarios ulteriores refinamientos y mejoras.

¿Qué NO es una teoría? *No lo* es una «adivinación».

Muchas personas que nada saben de la Ciencia rechazarán la teoría de la evolución porque «no es más que una teoría». El mismísimo Ronald Reagan, un hombre inteligente, en el curso de su campaña electoral de 1980, al dirigirse a un grupo de fundamentalistas, rechazó la evolución como «sólo una teoría».

Yo denuncié una vez a uno de esos amigos de «sólo una teoría», en la Prensa, declarando que estaba claro que nada sabía de Ciencia. Como resultado de ello, recibí una carta de un chico de catorce años que decía que las teorías no eran más que «descabelladas conjeturas», y que lo sabía porque era lo que le enseñaban sus maestros. Después atacaba la teoría de la evolución en términos desaforados y me decía, orgullosamente, que rezaba en el colegio para que ninguna ley le impidiese hacerlo. E incluía un sobre franqueado y con su dirección, porque deseaba que le respondiese sobre la cuestión.

Pensé que debía complacerle. Le escribí unas líneas pidiéndole que pensase seriamente si no era posible que sus maestros ignorasen la Ciencia tanto como él. También le aconsejé que, en su próxima oración, implorase a Dios para que le diese una educación, de modo que no siguiese siendo un ignorante durante toda su vida.

Y esto suscita una grave cuestión. ¿Cómo podemos impedir que la gente sea ignorante, si los que les enseñan son, a menudo, igualmente ignorantes?

Está claro que el sistema docente norteamericano tiene sus defectos, y que las escuelas norteamericanas flojean en Ciencia por varias razones.

Supongo que una de las razones es aquella buena y vieja tradición de los pioneros, que sospechó siempre profundamente de la «erudición» y sostenía que el «sentido común» era lo único realmente necesario.

Si los Estados Unidos han buscado y alcanzado el liderazgo mundial en Ciencia y tecnología, ha sido, en parte, gracias a sus ingeniosos pensadores —los Thomas Edison y los Henry Ford— y, en parte, gracias a la influencia de muchos que habían recibido una educación europea y absorbido el respeto europeo por el conocimiento, y procurado que sus hijos fuesen debidamente educados.

Adolfo Hitler fue responsable de que, literalmente, docenas de científicos de primera categoría huyesen a los Estados Unidos en los años treinta, y los efectos beneficiosos de su presencia y de los discípulos a los que contribuyeron a educar, persisten todavía entre nosotros y ayudan a reducir las deficiencias de las prácticas docentes norteamericanas.

Esto puede continuar eternamente. Al hacerse nuestra tecnología más y más compleja, cada vez es menos probable que podamos depender del remendón independiente. Y no es de suponer que se repita el error de Hitler. Los soviéticos, por ejemplo, hacen grandes esfuerzos por impedir que salga de su país cualquier persona que pueda ser de utilidad a aquellos que consideran como sus enemigos.

Sin embargo, aparte y por encima de las inadecuaciones generales, se diría que el sistema docente norteamericano se ha deteriorado enormemente en los últimos veinte años. Constantemente se cuentan historias terroríficas de gente que ingresa en la Universidad sin ser capaz de escribir una frase coherente. Y está muy claro, para aquellos que quieran observar el escenario norteamericano con los ojos bien abiertos, que estamos perdiendo rápidamente nuestro liderazgo científico, tecnológico e industrial.

¿Por qué? He aquí lo que yo pienso.

Hace unos veinte años, el Tribunal Supremo declaró que la Constitución norteamericana no permitía que en las escuelas hubiese segregación por motivos de raza, y los tribunales ordenaron que los niños fuesen transportados fuera de sus barrios para igualar la proporción de negros y blancos. A ello siguió, como todos sabemos, una marcha de blancos a los suburbios y a los colegios privados, con el resultado de que las escuelas públicas de la mayor parte de nuestras grandes ciudades tengan ahora fuerte y creciente mayoría negra.

Con esto se produjo una rápida pérdida de interés en apoyar las escuelas públicas por parte de la clase media blanca, que proporcionaba la mayor parte de los fondos, y también por parte de la mayoría de los maestros.

Debéis daros cuenta de que se necesita dinero para enseñar bien las Ciencias. Se necesitan buenos libros de texto, profesores instruidos y laboratorios bien equipados. Al disminuir el dinero disponible, la educación científica sufre desproporcionalmente las consecuencias. Y las perspectivas de futuro tampoco parecen halagüeñas. La Administración Reagan reduce constantemente el apoyo al sistema de escuelas públicas y propone créditos para la enseñanza en las escuelas privadas.

Bueno, podéis argüir, ¿y no enseñarán Ciencias las escuelas privadas?

¿Lo harán?

El sistema público de escuelas es financiado por el Gobierno. El contribuyente individual no puede influir fácilmente en el destino que se dará a los impuestos que paga, y la Administración educativa, si es profesionalmente competente, insistirá en una educación perfeccionada. Los maestros, como funcionarios civiles, son difíciles de despedir por el delito de pensar, y la Constitución sirve para evitar los más enormes abusos contra la libertad. (Esto fue en los viejos tiempos, antes de que el sistema de escuelas públicas fuese virtualmente desmantelado.) Por otra parte, las escuelas privadas son financiadas con lo que pagan los padres por la enseñanza, y la mayoría de los padres, que rehúyen el sistema de escuelas públicas por las razones que sean, no pueden pagar fácilmente los gastos de enseñanza además de los impuestos que satisfacen para educación. Como es natural, no quieren aumentar innecesariamente aquellos gastos.

Como una buena educación científica significa una elevación de los gastos de enseñanza, es posible que los padres vean las virtudes de la antigua y tradicional «lectura, escritura y aritmética». En realidad, ésta es una educación de cuarto grado, pero con algunos adornos adicionales, como el juramento de fidelidad y las oraciones escolares, debería ser bastante.

Las escuelas privadas tienen que ser responsables ante los padres y sus carteras, de modo que podamos buscar en ellas una educación *segura*, algo que habilite a los estudiantes para la labor de jóvenes ejecutivos y les capacite para consumir tres martinis antes del almuerzo. Pero, ¿una *buena* educación? Me lo pregunto.

Sin embargo, no quiero dividir el mundo en buenos y malos, de una manera simplista. Muchos no científicos son inteligentes y sensatos. Y, por otra parte, hay científicos, incluso grandes científicos, que, tanto en el pasado como en el presente, se han convertido en tramposos.

En realidad, no es sorprendente que así sea. El método científico es un ejercicio austero y espartano del cerebro. Representa un lento avance en el mejor de los casos, provoca el fenómeno Eureka raras veces y sólo para unos pocos, e incluso para éstos, de tarde en tarde. ¿Por qué no habrían de sentirse los científicos tentados a dar media vuelta y buscar otro cambio hacia la verdad?

Yo estuve una vez suscrito a una revista científica para estudiantes de escuela superior, y llegó un momento en que me produjo inquietud. Me pareció que su director mostraba una evidente simpatía por el velikovskianismo y la astrología. En una ocasión, cuando varios astrónomos firmaron una declaración denunciando la astrología, la revista protestó y preguntó si los astrónomos habían investigado realmente la astrología.

Me creí obligado a escribir una enérgica repulsa de tan tonta observación.

El director respondió con una larga carta en la que trataba de explicar que la razón y método científico no eran necesariamente los únicos caminos hacia la verdad, y que yo debía ser más tolerante con los métodos competidores.

Esto me irritó. Le envié una carta bastante breve que —por lo que puedo recordar— rezaba aproximadamente así:

Recibí su carta en la que explicaba que la razón no es el único camino hacia la verdad.

Sin embargo, su explicación no es más que un intento de razonar el asunto.

No me diga: ¡demuéstremelo! Convénzame soñando conmigo o intuyendo.

O si no, escríbame una sinfonía, pínteme un cuadro o medíteme una meditación.

Haga algo —cualquier cosa— que me atraiga a su bando sin que intervenga el razonamiento.

No he vuelto a saber nada de él.

Veamos algo más. Hace algunos meses, *Science Digest* proyectaba publicar un articulo sobre varios científicos actuales de primera fila, incluidos algunos premiados con el Nobel, que desarrollaron extrañas y misteriosas nociones sobre la mente humana, que tratan de penetrar los secretos de la Naturaleza con la meditación, que están fuertemente influidos por filosofías orientales, etcétera. *Science Digest* me envió el manuscrito y me pidió un comentario.

Respondí con una carta incluida en una caja (bajo el título de *Science Follies*, que acompañaba el artículo que fue publicado en el número de la revista correspondiente al mes de julio de 1982. He aquí la carta, transcrita literalmente:

A lo largo de la Historia, muchos grandes científicos han trabajado sobre algunas ideas rebuscadas.

Johannes Kepler fue astrólogo profesional. Isaac Newton trató de transmutar metales bajos en plata y oro.

Y John Napier, que inventó los logaritmos, concibió una interpretación monumentalmente tonta del libro del Apocalipsis.

La lista continúa. William Herschel, el descubridor de Urano, pensaba que el Sol era oscuro, fresco y habitable, bajo su llameante atmósfera. El astrónomo norteamericano Percival Lowell insistió en que veía canales en Marte. Robert Hare, químico norteamericano muy práctico, inventó un aparato para comunicarse con los muertos. William Weber, físico alemán, y Alfred Wallace, coautor de la moderna teoría de la evolución, eran fervientes espiritistas. Y el físico inglés Sir Oliver Lodge era firme partidario de la investigación psíquica.

Conociendo este historial, me sorprendería enormemente si, en el año 1984, dejase súbitamente de haber grandes científicos enamorados de nociones especulativas que, a mentes inferiores como la mía, les parecen irracionales.

Por desgracia, la mayor parte de estas teorías especulativas no pueden ser comprobadas de alguna manera razonable, no pueden emplearse para hacer predicciones y no son presentadas con argumentos sólidos que puedan convencer a otros científicos.

Entre todos estos devotos de la imaginación, en realidad, no hay dos que estén enteramente de acuerdo. Dudan recíprocamente de su racionalidad.

Desde luego, es posible que de todas estas aparentes tonterías se desprendan algunas pepitas de oro útiles y geniales. El hecho de que tales cosas hayan ocurrido antes de ahora es bastante para justificarlo todo. Sin embargo, sospecho que estas pepitas serán muy escasas y muy distanciadas las unas de las otras. La mayor parte de las especulaciones que parecen tontas —incluso cuando se deben a grandes científicos— resultarán, en definitiva, tonterías.

Conque así estamos. Yo defiendo enteramente la razón y me opongo a todo lo que me parece irracional, sea cual fuere su origen.

Si estás de mi parte en esto, debo advertiros que el ejército de la noche tiene la ventaja de la superioridad numérica y que, por su misma naturaleza, resulta inmune a la razón, de modo que es muy improbable que vosotros y yo podamos vencer.

Siempre seremos una pequeña y probablemente impotente minoría, pero no debemos cansarnos de exponer nuestra opinión y de luchar por nuestra justa causa.