

---

**Hasta Donde Alcanza El Ojo**  
**Isaac Asimov**

---

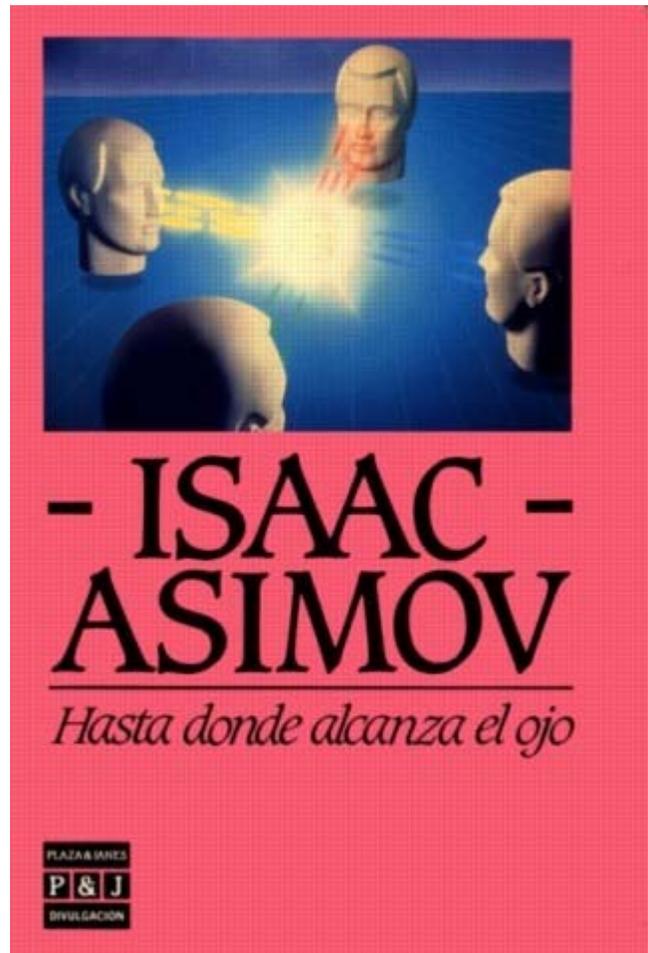
Titulo Original:  
**Far As Human Eye Could See**

Traducción:  
**ROSA S. De NAVEIRA**

Portada:  
**JORDI SANCHEZ**

©1984, 1985, 1986 by Mercury Press, Inc.  
©1988, PLAZA & JANES EDITORES, S.A.  
1º Edición: Abril, 1988  
ISBN: 84-018-0358-6  
Depósito Legal: B.12.293-1988

Este libro se ha publicado originalmente  
en ingles con el título:  
FAR AS HUMAN EYE COULD SEE  
Doubleday & Co., Inc. New York.  
ISBN: 0-385-235-143.



SOBRE EL AUTOR



Isaac Asimov ha escrito alrededor de 350 libros sobre innumerables temas. Ha sido llamado «el Balzac de la Ciencia y la Ciencia Ficción» (Publisher's Weekly) y es, sin duda uno de los más prestigiosos autores de ciencia ficción. Su «ingenio, sabiduría y sentido de lo maravilloso» (Washington Post) ha hecho que se vendiesen en todo el mundo más de diez millones de ejemplares de sus obras.

Plaza & Janés ha publicado los siguientes títulos de Asimov: *Las amenazas de nuestro mundo. La*

*búsqueda de los elementos, Civilizaciones extraterrestres, El código genético, El cometa Halley, Compre Júpiter, Contando los eones, La edad de oro I, II, y III, la edad del futuro I y II, Fotosíntesis, Fundación, Fundación e imperio, Fundación y Tierra, Los gases nobles, Los límites de la Fundación, La medición del Universo, El monstruo subatómico, Nueva guía de la ciencia, Robots, Robots e imperio, Segunda Fundación, El sol brilla luminoso, Viaje alucinante, Vida y tiempo y «X» representa lo desconocido.*

Hasta Donde Alcanza El Ojo  
(Comentario de la contraportada)

El presente volumen, escrito con el mayor rigor científico, pero en un estilo ameno y accesible, demuestra una vez más el porqué de la admiración que tienen a Asimov millones de lectores en todo el mundo. en *Hasta donde alcanza el ojo*, el autor nos ofrece diecisiete ensayos científicos, en los que aborda temas relativos, por ejemplo, tanto al centro de la tierra, como a los lejanos confines del Universo. Aquí, entre muchas otras cosas, se habla de los problemas de las vitaminas, de la energía solar, del posible colapso de nuestras galaxias y del nacimiento de un nuevo Universo quizá dentro de  $10^{500}$  años.

## Índice

---

Los siguientes ensayos de este volumen fueron publicados originalmente en The Magazine of Fantasy and Science Fiction, habiendo aparecido en los números siguientes:

Hasta donde alcanza el ojo	Noviembre 1984
Hecho, no encontrado	Diciembre 1984
Muy, muy por debajo	Enero 1985
Sal y batería	Febrero 1985
Actualidades	Marzo 1985
Forzando las líneas	Abril 1985
¡Levántate, hermoso Sol!	Mayo 1985
La regla de los números pequeños	Junio 1985
¡Veneno a la larga!	Julio 1985
Rastreando los trazos	Agosto 1985
El elemento duende	Setiembre 1985
Un poco de levadura	Octubre 1985
La cuchilla bioquímica	Noviembre 1985
El descubrimiento del vacío	Diciembre 1985
La química del vacío	Enero 1986
El tiempo está desbarajustado	Febrero 1986
Superestrella	Marzo 1986

---

Dedicatoria:

A SAM VAUGHAN, que cuando una vez le dijeron:

«Isaac acaba de entregar un manuscrito autobiográfico  
el doble de largo de lo que está permitido para un solo volumen»

Respondió noblemente: «¡Publíquelo en dos tomos!»

## PRÓLOGO

Llevo ya escritos 329 ensayos de ciencia para la Revista de Fantasía y Ciencia Ficción (F&SF), uno en cada una de las 329 publicaciones mensuales, sin fallar una sola vez, durante los últimos 27 años y 5 meses. Todos ellos, excepto seis de esos ensayos (los primeros seis escritos antes de que me hubiera hecho un nombre), pueden encontrarlos en una u otra colección. Algunos en más de una. En esta colección tenemos desde el ensayo 313 al 329 (ambos inclusive).

Escribir tantos ensayos no es tarea fácil, se lo aseguro, incluso para alguien a quien le gusta escribir tanto como a mí, y lo encuentra tan fácil como yo.

En primer lugar, ¿qué pasa si uno empieza a repetirse? Eso es totalmente imposible de evitar. Después de todo, cada ensayo debe ser tan completo como sea posible, porque aparece uno en cada número de la publicación y tal vez este número sea el único que vea el lector. Por tanto, con frecuencia suelo explicar algo que ya he explicado en otro ensayo. A veces, si la materia es tangencial, puedo arreglarlo con un paréntesis o una nota a pie de página, dirigiendo al lector a otro ensayo de la colección, o incluso de otra colección. Si el tema es esencial, debo volver a explicarlo de nuevo. Pero, ¿y si sin darme cuenta volviera a escribir todo un ensayo que ya he escrito antes? En realidad lo hice así durante el período en que estuve escribiendo los diecisiete ensayos incluidos en esta colección. Encontrarán la espeluznante historia (espeluznante para mí, en todo caso) en los primeros párrafos del capítulo VI.

Esta vez lo descubrí antes de que fuera demasiado tarde, pero inevitablemente (si vivo lo bastante y si, como consecuencia, el cerebro se me deteriora lo suficiente) repetiré un ensayo antiguo y no me daré cuenta de ello. Y si nuestro Noble Editor tampoco lo descubre (¿y por qué iba a hacerlo?), se publicará. Y entonces, un millar de Amables Lectores me escribirán para decirme lo que he hecho, y algunos menos amables mascullarán algo sobre demencia senil, o «enfermedad de Alzheimer», como se la llama ahora. (¡Pobre doctor Alzheimer, qué modo tan triste de alcanzar la inmortalidad!). Incluso si dejamos de lado todo esto, ¿cómo conseguir un nivel decente en los ensayos?

La primera vez que me pidieron esos ensayos para F&SF, cuando el mundo y yo éramos jóvenes..., bueno, más jóvenes, se me aseguró que tendría absoluta libertad para elegir los temas, siempre y cuando creyera que podrían interesar a los lectores de la revista. Naturalmente, el tema que se suponía que yo elegiría con más frecuencia era de naturaleza científica, puesto que los términos del acuerdo definían el producto como un «ensayo científico».

Esto no me preocupó lo más mínimo. No hace falta que les diga que estoy infinitamente interesado por la ciencia, y lo mismo ocurre, insisto con firmeza, con los lectores de ciencia ficción. De todos modos, he aprovechado mi *carte blanche* para escribir, de vez en cuando, ensayos que en principio se interesan por la historia, la sociología, o bien mis propias opiniones sobre esto o aquello. Incluso he escrito algunos que son más o menos autobiográficos.

Esto no me ocurre con frecuencia, claro, pero la revista ha mantenido lealmente su promesa. Nunca, ni una sola vez, me han devuelto un ensayo, ni jamás se me ha pedido que modificara una sola frase.

Pero podemos omitir estos ensayos, digamos «escapados», porque lo cierto es que un 95 por ciento están dedicados a una u otra rama de la ciencia.

Ahora bien, la cuestión es ésta: ¿Consigo equilibrar las diversas ramas de la ciencia? Me siento ante la máquina de escribir, repaso una complicada fórmula matemática y me digo: «Ajá, ya va siendo hora de escribir un artículo sobre biofísica, antropología o astroquímica».

No puedo hacerlo de este modo. Todo el proceso sería demasiado difícil y rutinario. La técnica que sigo, cuando se acerca el final del mes, es sentarme ante la máquina y preguntarme qué es lo que me gustaría escribir. A veces lo veo al instante y otras tengo que pensarlo un poco, pero voy siempre hacia lo que me siento inclinado a hacer.

El resultado es que el equilibrio se desbarata. Algunas ramas de la ciencia me interesan más que otras, y las que me interesan las trato quizá más de lo que se merecen.

Jamás he hecho un análisis estadístico de mis docenas de docenas de ensayos, pero tengo la sospecha de que hay más ensayos sobre temas astronómicos que sobre otros de cualquier rama de la ciencia. Después de todo, la astronomía es mi ciencia favorita. Nunca he seguido un curso de astronomía ni en la facultad ni en la escuela graduada, pero como he sido un entusiasta de la ciencia ficción durante más de medio siglo, la astronomía debe formar la mayor parte de mi mundo. (Un lector sorprendentemente malhumorado me pidió una vez que escribiera menos ensayos sobre astronomía, pero naturalmente no le hice el menor caso.)

Por el contrario, sospecho que la ciencia que más raramente se introduce en mis ensayos (dada su importancia) es la química. Puede que les parezca extraño. Después de todo, me doctore en química hace unos siglos, bueno, me parecen siglos. Y lo que es más, todavía conservo mi título académico de profesor de Bioquímica, en la Facultad de Medicina de la Universidad de Boston. Así pues, ¿por qué no escribo sobre química?

Por dos razones. Primera, sé demasiado sobre el tema y por lo tanto tendría más dificultades en presentarlo de forma clara y lúcida. Siempre se tiende a meter más de lo necesario. Segunda, porque he pasado años estudiando y enseñando la materia y empiezo a estar un poco harto de ella.

Imagínense pues mi sorpresa al descubrir, cuando empecé a ordenar este libro, que los últimos diecisiete ensayos son del todo insólitos respecto al tema. No menos de once, entre los diecisiete, son básicamente químicos. Los seis restantes son astronómicos, pero incluso dos de ellos contienen gran cantidad de química.

Esto jamás me ha ocurrido antes, y lo único que puedo decirles es que deseo que no les importe. La verdad es que no soy tan orgulloso como para no pedirles un favor. Así que, por favor, no me lo tengan en cuenta.

---

# Primera parte FISICA QUIMICA

## I HECHO, NO ENCONTRADO

---

Hace algún tiempo recibí una circular de una revista para escritores. Deseaban que me suscribiera.

En realidad es una causa perdida para ellos porque no me suscribo a revistas para escritores, ni leo libros sobre cómo escribir, ni sigo cursillos sobre el tema. Las pocas veces que accidentalmente me he topado con semejantes cosas, me he enterado rápidamente de que hay infinidad de cosas que hago, y que no hago, que están mal, esto me pone nervioso. Es evidente que si descubro todo lo que hago mal, me sentiré incapaz de escribir y de vender, y esto sería un sino peor que la muerte.

Así que eché un vistazo a la circular con la vista apagada e inmediatamente me llamó la atención el hecho de que la habían personalizado, imprimiendo mi nombre en el espacio vacío apropiado.

He aquí lo que decía: «¡Imagine con qué brillo resaltarían estas palabras en las páginas de una revista nacional o en la cubierta de un best-seller: POR ISAAC ASIMOV.»

Me quedé estupefacto. No tenía que imaginar nada. Lo he **VISTO**.

La circular seguía dirigiéndose a mí: «No hay nada como ver su nombre impreso, o recibir el dinero extra que la venta del manuscrito pueda proporcionar... Hoy tiene cuatro buenas razones para volver a intentar... escribir.»

¿Volver a intentar? Aún no he dejado de hacerlo.

Obviamente, la computadora no había sido programada para omitir de sus listas los nombres de los escritores acreditados, o bien tengo un nombre ruso tan extraño que la computadora no acabó de creer que realmente fuera un escritor.

Bueno, esto no es imposible. Al químico ruso Dimitri Ivanovich Mendeleiev (1834-1907), que consiguió lo que tal vez sea el avance químico más importante del Siglo XIX, le denegaron un Premio Nobel en 1906, principalmente porque tenía un extraño apellido ruso, en lugar de uno con sensata resonancia alemana, francesa o inglesa. Así que empecemos con Mendeleiev.

En 1869, Mendeleiev inventó la tabla periódica de los elementos (véase «Llenando los vacíos», en *Las estrellas y sus cursos*, ed. Doubleday, 1971). En esta tabla ordenó los elementos según su peso atómico, por categorías y filas, de forma que los elementos con propiedades químicas similares se encontraban en la misma hilera.

A fin de que su invento funcionara, Mendeleiev se vio obligado a dejar vacíos aquí y allá; vacíos que, se atrevió a asegurar, serían llenados por elementos todavía sin descubrir.

Así pues, dejó vacíos bajo los elementos aluminio, boro y silicio, y bautizó a los elementos que -según dijo- llenarían eventualmente dichos vacíos: «eka-aluminio», «eka-boro» y «eka-silicio». La palabra eka quiere decir «uno» en sánscrito, así que los elementos que faltaban eran «uno por debajo» del aluminio, boro y silicio, respectivamente.

Mendeleiev resultó estar absolutamente en lo cierto. En 1875 se descubrió el eka-aluminio y se le llamó «galio»; en 1879 se descubrió el eka-boro y se le llamó

«escandio»; y en 1885 fue descubierto el eka-silicio y se le llamó «germanio». En cada caso las propiedades de los nuevos elementos fueron precisamente las que Mendeleiev había profetizado, de acuerdo con las regularidades reveladas por la tabla periódica. No obstante, un par de vacíos previstos por Mendeleiev no se llenaron durante su vida. Fueron dos vacíos debajo del elemento manganeso. El que estaba exactamente por debajo era el «eka-manganeso», y el que estaba situado por debajo de éste, el «dvi-manganeso» (dvi es la palabra «dos» en sánscrito), y ambos permanecieron sin llenar. En 1914, siete años después de la muerte de Mendeleiev, el físico inglés Henry Gwyn-Jeffreys Moseley (1887-1915) racionalizó la tabla periódica en términos de las nuevas teorías sobre la estructura atómica (véase «El Premio Nobel que no fue» en Las estrellas y sus cursos). Moseley hizo posible dar a cada elemento un solo «número atómico». Resultaba obvio que si dos elementos tenían números atómicos consecutivos, no podía haber ningún elemento no descubierto entre ambos. Además, si había un vacío en la lista de números atómicos, tenía que haber un elemento aún sin descubrir para llenarlo.

Los vacíos representados por el eka-manganeso y dvi-manganeso seguían aún sin llenar en tiempos de Moseley, pero ahora en cambio tenían números atómicos. Eka-manganeso era el elemento #43, y el dvi-manganeso era el elemento #75, y de ahora en adelante los indicaremos por esos números.

En vida de Moseley se había descubierto la radiactividad, y parecía ser que todos los elementos con números atómicos de 84 para arriba eran radiactivos. Sin embargo, los elementos con números atómicos de 83 para abajo seguían aparentemente estables. Supongan que ignoramos los elementos radioactivos y nos limitamos por tanto a elementos con números atómicos de 83 o menos. Y supongamos además que clarificamos lo que queremos decir cuando hablamos de un elemento «estable».

En 1913, el químico inglés Frederick Soddy (1877-1956) demostró que los elementos podían existir en cierto número de variedades, que llamó «isótopos». Todos los isótopos de un elemento determinado encajaban en el mismo lugar de la tabla periódica, e isótopo es, realmente, según el griego, «el mismo lugar».

Finalmente se demostró que todos los elementos sin excepción poseían un número de isótopos, a veces tantos como dos docenas. Los isótopos de un determinado elemento difieren entre sí en estructura nuclear. Todos los isótopos de un elemento determinado contienen el mismo número de protones en el núcleo (un número igual al número atómico), pero tienen diferente número de neutrones.

Da la casualidad de que todos los elementos conocidos, con números atómicos de 84 y más altos, carecen de isótopos estables. Todos los isótopos conocidos de todos esos elementos son radiactivos; unos más intensamente que otros. Sólo tres isótopos con números atómicos de 84 y más, son tan poco radiactivos que una fracción apreciable de sus átomos puede seguir invariable durante eones de tiempo. Son el uranio-238, el uranio-235 y el torio-232.

Los números asignados a los nombres de isótopos representan el número total de protones y neutrones en el núcleo. Así pues, el uranio tiene el número atómico 92, de forma que el uranio-238 tiene 92 protones en el núcleo y 146 neutrones, que hacen un total de 238. El uranio-235 tiene 92 protones en el núcleo y 143 neutrones. El torio tiene un número atómico de 90, así que el torio-232 tiene 90 protones en el núcleo y 142 neutrones.

Respecto de los elementos con número atómico de 83 y menos, todos los que eran conocidos en tiempos de Moseley y Soddy tenían uno o más isótopos estables, que podían existir, sin variar, por períodos indefinidos. El estaño tiene diez isótopos estables: estaño-112, estaño-114, estaño-115, estaño-116, estaño-117, estaño-118, estaño-119, estaño-120, estaño-122 y estaño-124. El oro tiene solamente uno: oro-197.

En general sólo existen isótopos estables en la naturaleza, junto con unos pocos

isótopos radiactivos cuya radiactividad es muy débil. La mayor parte de los isótopos radiactivos existen solamente porque en los laboratorios se forman pequeñas cantidades como resultado de reacciones nucleares.

Pues bien, cuando Moseley consiguió establecer la combinación de números atómicos, quedaron exactamente cuatro elementos con números atómicos de 83 o menos que aún no habían sido descubiertos. Se trataba de elementos #43, #61, #72 y #75. Los químicos confiaban en que los cuatro serían descubiertos a tiempo, y que los cuatro eran estables o (como se diría finalmente) que los cuatro tenían por lo menos un isótopo estable.

El elemento #72 está situado directamente debajo del circonio en la tabla periódica, así que podría llamársele eka-circonio según el sistema de Mendeleiev. En realidad (como sabemos ahora), el elemento #72 es muy parecido al circonio en todas sus propiedades químicas. Los dos elementos son los más idénticos entre cualquiera de los grupos de dos, en la tabla periódica.

Esto significa que siempre que el circonio es separado de otros elementos, sacando ventaja del modo en que sus propiedades químicas difieren de las de otros elementos, el elemento #72, con sus propiedades a juego con las del circonio, siempre se separa con él. Cada muestra tratada de circonio, antes de 1923, era siempre en un 3 por ciento elemento #72, pero los químicos no se habían dado cuenta.

Dos científicos, el físico holandés Dirk Coster (1889-1950), y el químico húngaro Gyorgy Hevesy (1885-1966), que trabajaban en Copenhague, se sirvieron del bombardeo de rayos X que, tal como Moseley había demostrado, dio unos resultados que dependían del número atómico del elemento y no de sus propiedades químicas. Si el hafnio se encontraba en la ganga del circonio, debería reaccionar al bombardeo de rayos X diferentemente del circonio, por más similares que fueran químicamente los dos elementos. Finalmente, en enero de 1923, Coster y Hevesy detectaron la presencia del elemento #72 en el circonio y finalmente aislaron #72 en cantidades suficientes para estudiar sus propiedades.

Coster y Hevesy llamaron «hafnio» al #72, por el nombre latinizado de Copenhague, que fue donde encontraron el elemento. El hafnio, como se descubrió con el tiempo, posee seis isótopos estables: hafnio-174, hafnio-176, hafnio-177, hafnio-178, hafnio-179 y hafnio-180.

Entretanto, tres químicos alemanes trabajaban en los elementos #43 y #75 (eka- y dvi-manganeso). Los químicos eran Walter Karl Friedrich Noddack (1893-1960), Ida Eva Tacke (1896- ), que finalmente contrajo matrimonio con Noddack, y Otto Berg. Pudieron apreciar las propiedades químicas de esos dos elementos aún sin descubrir, por su relación con el manganeso, e investigaron muy de cerca esos minerales que, presentían, podían contener cantidades de los dos elementos.

Finalmente, en junio de 1925, tuvieron la evidencia de la presencia del elemento #75 en un mineral llamado gadolinita. Al año siguiente consiguieron aislar un gramo del elemento recién descubierto y determinar sus propiedades químicas. Le llamaron «renio», por el nombre latino del Rin, en Alemania Occidental.

El renio, como se descubrió después, tenía dos isótopos estables: el renio-185 y el renio-187.

El hafnio no es un elemento especialmente raro, siendo considerado más corriente que el estaño, arsénico o tungsteno, y difícil de aislar debido a su gran similitud con el circonio; el renio, por el contrario, es uno de los elementos más raros. Es sólo una quinta parte de corriente que el oro y el platino, así que no es extraño que fuera tan difícil de detectar.

Cuando Noddack, Tacke y Berg anunciaron el descubrimiento del renio, anunciaron también el descubrimiento del elemento #43, al que llamaron «masurio», por una región de la Prusia oriental que entonces formaba parte de Alemania y ahora de Polonia.

En esto, no obstante, los tres químicos se despistaron por culpa de su propia vehemencia. Otros químicos no pudieron confirmar su trabajo y el «masurio» desapareció del conocimiento químico. El anuncio había sido prematuro y el elemento #43 siguió sin ser descubierto.

En 1936 todavía seguían dos vacíos entre los elementos de número atómico #83 o menos; éstos eran el #43 y el #61. Había ochenta y un elementos conocidos con uno o más isótopos estables, y aparentemente faltaban dos.

Trabajando en el problema, después de que el anuncio del masurio hubiera resultado erróneo, estaba el físico italiano Emilio Segre (1905- ). No obstante, fracasaron todos los intentos de aislar al elemento #43 de posibles minerales. Pero afortunadamente Segre tenía gran ventaja de haber trabajado con el físico italiano Enrico Fermi (1901-1954).

Fermi se había ido interesando por el neutrón, que descubrió por primera vez el físico inglés James Chadwick (1891-1974) en 1932. Hasta entonces, los átomos habían sido frecuentemente bombardeados por partículas alfa, que estaban cargadas positivamente, y que eran repelidas por los núcleos atómicos de carga positiva. Esto aumentaba la dificultad de llevar a cabo reacciones nucleares.

Sin embargo, los neutrones carecían de carga eléctrica (de ahí su nombre) y no serían repelidos por núcleos atómicos. Como resultado, las colisiones tuvieron lugar con más facilidad y frecuencia de lo que hubiera ocurrido con partículas alfa. Fermi descubrió que los neutrones eran incluso más efectivos si primero se les hacía pasar por agua o parafina.

En estas condiciones, los neutrones (que generalmente se mueven o viajan a gran velocidad bajo condiciones de su liberación inicial) colisionan con núcleos atómicos de hidrógeno, oxígeno o carbono, y rebotan sin interacción. En el proceso pierden algo de su energía, y para cuando han pasado por el agua o la parafina su velocidad ha disminuido considerablemente.

Estos neutrones lentos golpean los núcleos con menos fuerza y por tanto tienen menos oportunidades de rebotar y una mayor posibilidad de penetrar el núcleo.

Cuando el neutrón lento penetra en el núcleo atómico, ese núcleo suelta frecuentemente una partícula beta (que es en realidad un electrón veloz). El núcleo pierde la carga negativa del electrón, o lo que es lo mismo, gana una carga positiva. Eso equivale a decir que uno de los neutrones del núcleo se ha convertido en protón. Puesto que el núcleo ha ganado un protón, su número atómico es un punto más alto que antes.

Fermi llevó a cabo cierto número de bombardeos de neutrones que convertían un elemento en otro de número atómico más alto y, en 1934, se le ocurrió bombardear uranio con neutrones. El uranio tenía el número atómico más alto (92) de entre los elementos conocidos, y Fermi pensó que el bombardeo de uranio con neutrones podría formar el elemento #93, que aún era desconocido en la naturaleza (véase «Neutralidad» en *El Sol brilla luminoso*, Doubleday, 1981). Fermi creyó incluso que había tenido éxito, pero los resultados eran demasiado complejos para estar seguro, y le condujeron a algo mucho más excitante (y ominoso) de lo que hubiera sido la creación de un nuevo elemento.

Segre, pensando en el trabajo de Fermi, se dio cuenta de que no era necesario salirse de la tabla periódica para crear un elemento nuevo. Si los químicos no podían encontrar el elemento #43, ¿por qué no formarlo bombardeando el molibdeno (de número atómico 42) con neutrones? Así estaría hecho, no encontrado.

Segre visitó la Universidad de California y discutió el asunto con el físico americano Ernest Orlando Lawrence (1901-1958). Lawrence había inventado el ciclotrón y podía realizar los más enérgicos bombardeos subatómicos del mundo (en aquel momento). Por ejemplo, Lawrence podía utilizar su ciclotrón para formar un rayo energético de «deuterones», los núcleos del hidrógeno-2.

El deuterón consiste en un protón y neutrón en asociación algo débil. Cuando un deuterón se acerca a un núcleo atómico, el protón puede ser rechazado y alejado del neutrón, y ese neutrón puede continuar avanzando hacia el núcleo.

Lawrence bombardeó con deuterones una muestra de molibdeno durante varios meses, hasta que la muestra fue altamente radiactiva. Entonces se la mandó a Segre, que había regresado a Palermo y trabajaba ahora en el problema con Carlo Perrier. Segre y Perrier analizaron la muestra de molibdeno y encontraron que podían aislar molibdeno, niobio, y circonio de ella, y que ninguno de estos elementos aislados eran radiactivo. No obstante, si añadían manganeso o renio a la muestra, y luego separaban esas sustancias de la muestra, aparecía en ellas la radiactividad. Eso parecía indicar que la radiactividad estaba asociada con restos de manganeso o renio que ya se encontraban en el molibdeno, o con algún elemento que era tan parecido al manganeso o al renio en propiedades químicas que aparecía con dichos elementos. De ser así, era probable que el elemento en cuestión fuera el elemento #43, que se encontraba entre el manganeso y el renio en la tabla periódica. Más aún, si se tratara del elemento #43, estaría separado más efectivamente del renio que del manganeso, lo que significaría que sus propiedades estaban más próximas a las del renio que a las del manganeso, lo cual era de esperar.

Segre y Perrier trataron de determinar lo mejor que pudieron las propiedades del nuevo elemento mediante el seguimiento de la radiactividad, a medida que trataban sus soluciones de diferentes maneras. Era muy difícil hacerlo así porque calcularon que disponían sólo de una 10 billonésima parte de un gramo de elemento #43, como resultado del bombardeo del molibdeno con deuterones.

Sin embargo, en 1940 Segre descubrió que entre los productos del recién descubierto proceso de fisión de uranio (derivado del trabajo de Fermi sobre el bombardeo de este elemento con neutrones) se encontraba el elemento #43. Podía obtenerse mayores cantidades por los productos de fisión más que por bombardeo de molibdeno. Las propiedades del elemento #43 podían determinarse con considerable precisión.

Debería mencionar que estoy bastante orgulloso de mí en relación con todo esto. En febrero de 1941 escribí una historia llamada «Superneutrón», y conseguí estar a la altura. En el relato que apareció en *Historias Sorprendentes*, en setiembre de 1941, uno de los personajes que hablaba de los métodos primitivos para obtener energía. Decía: «Creo que se sirvieron del método clásico de la fisión de uranio para energía. Bombardeaban uranio con neutrones lentos y lo separaban en masurio, bario, rayos gamma, y más neutrones, estableciendo así un proceso cíclico.»

¡Sí señor! Los escritores de ciencia ficción ya lo sabíamos, pese a que el Gobierno trató de ponerle una tapadera a todo el proceso.

Observarán que en la historia llamo «masurio» al elemento #72. Era el único nombre disponible, aunque no fuera legal, puesto que Nodack, Tacke y Berg no lo habían aislado realmente. Pero luego, en 1947, el químico germano-británico Friedrich Adolf Paneth (1887-1958) sostuvo que cualquier elemento artificialmente producido era idéntico en todas sus formas a uno natural, así que el descubrimiento del primero era equivalente al descubrimiento del segundo.

Segre y Perrier lo aceptaron y no tardaron en hacer uso del derecho de los descubridores a nominar el descubrimiento. Llamaron «tecnecio» al elemento #43, derivado de la palabra griega *technetos*, que quiere decir «artificial».

El tecnecio fue el primer elemento producido artificialmente en el laboratorio, pero no el último. Se han producido dieciséis más, pero de todos ellos el tecnecio es el que tiene el número atómico más bajo. Tampoco parece posible que jamás pueda ser producido artificialmente cualquier elemento nuevo de número atómico más bajo. Resulta que el tecnecio es el primer elemento artificial, tanto en el tiempo como en su posición en la tabla periódica.

Un estudio de las propiedades del tecnecio descubrió inmediatamente algo inesperado.

Aunque se han producido dieciséis isótopos del tecnecio en el laboratorio, ni uno sólo de ellos es estable. Todos son radiactivos. Y es inconcebible, en vista de lo que se sabe ahora, que en el futuro pueda descubrirse ningún isótopo estable de tecnecio. El tecnecio, pues, es el elemento de número atómico más bajo al que le falta un isótopo estable; es el elemento radiactivo más simple.

Claro que algunos de los isótopos de tecnecio son menos intensamente radiactivos que otros. La intensidad de la radiactividad se mide por la «vida media», que es el tiempo que por término medio dura el átomo radioactivo. El tecnecio-92, por ejemplo, tenía una vida media de 4,4 minutos, y el tecnecio-102 pasaría a un solo átomo superviviente en menos de quince minutos.

En cambio, el tecnecio-99 tiene una vida media de 212.000 años; el tecnecio-98, 4.200.000 años; y el tecnecio-97, 2.600.000 años. En términos humanos, éstas son vidas medias largas y si alguna de estas muestras se fabricara, muy poco de la muestra se deterioraría en el curso de la vida humana.

No obstante, en términos geológicos estas vidas medias no son nada. Supongamos que cuando se formó la Tierra, hace 4,6 millones de años, ésta sólo consistía en uno de esos isótopos de tecnecio de larga vida. Si hubiera sido así, la provisión de tecnecio-99 hubiera quedado reducida a un solo átomo después de 35 millones de años; el tecnecio-98 se hubiera reducido a un solo átomo después de 700 millones de años, y el tecnecio-97 se reduciría a un solo átomo después de 430 millones de años. Ninguna cantidad imaginable de tecnecio podía haber sobrevivido tres cuartos de un billón de años, que es solamente el 15 por ciento de la existencia total de nuestro planeta, en este momento.

Cualquier tecnecio que existiera hoy en la naturaleza, existiría únicamente por su reciente formación debida a la fisión natural del uranio. La cantidad así formada sería ínfima, y no debe asombrarnos que ningún químico pudiera localizarla en ningún mineral, o que lo anunciado por Noddak, Tacke y Berg, fuera un error.

Naturalmente, cuando hablamos de que algo existe o no existe en la naturaleza, nos referimos generalmente a la tierra. La tierra representa una insignificante fracción de toda la naturaleza.

En 1952, el astrónomo americano Paul Willard Merrill (1887-1961) detectó líneas espectrales en ciertas estrellas enanas rojas y las que identificó como tecnecio. Esto ha sido confirmado en muchas ocasiones y se ha descubierto que el tecnecio está presente en algunas en cantidad de 1/17.000 del hierro, lo que resulta una concentración sorprendentemente alta.

Es obvio que el tecnecio no pudo haberse formado en tales estrellas frías cuando se formaron, y haber persistido desde entonces. La vida media de los isótopos radiactivos queda disminuida incluso a la temperatura del interior de las estrellas frías. Por lo tanto, el tecnecio detectado en las estrellas debe haberse formado en procesos que aún continúan ahora. Tratando de averiguar exactamente qué cambios nucleares deben existir para formar tecnecio en las cantidades detectadas, puede ser que nos enteremos de algo útil sobre reacciones nucleares en otras estrellas. Incluso puede que nos ayude a comprender un poco mejor nuestro propio sol.

Todavía nos queda un elemento por discutir, en las filas supuestamente estables de números atómicos. Se trata del elemento #61, el último vacío que quedaba en aquella fila estable. Es uno de los elementos raros de tierra (vease «Los elementos multiplicadores», en Las estrellas y sus cursos).

Nadie había detectado jamás el elemento #61 en la naturaleza, aunque en 1926 dos grupos de químicos, uno americano y otro italiano, aseguraron haberlo detectado. Los primeros lo llamaron «illinium» (por el estado de Illinois), y los segundos «florentium» por la ciudad de Florencia), ambos en honor del lugar del descubrimiento. No obstante, los dos demostraron estar equivocados.

En los años 30 un grupo americano bombardeó neodimio (número atómico 60) con un

rayo de deuterones producido por un ciclotrón, con la esperanza de formar el elemento #61. Probablemente produjeron diminutos indicios, pero no los suficientes para proporcionar evidencia definida de su existencia. De todos modos, se sugirió el nombre de «ciclonium».

Finalmente, en 1945, tres americanos, J. A. Marinsky, L. E. Glendenin y C. D. Coryell, localizaron suficientes cantidades del elemento #61 en los productos de la fisión del uranio para poder estudiar y aclarar sus propiedades. Lo llamaron «prometio», por el dios griego Prometeo, que se llevó fuego del sol para la Humanidad, tal como el prometio fue sacado del fuego nuclear de la fisión del uranio.

Se conocen catorce isótopos del prometio y, como en el caso del tecnecio, ni uno sólo de sus isótopos es estable. Esto significa que solamente hay ochenta y un elemento en total que son conocidos porque poseen uno o más isótopos estables, y que a Nodack, Tacke y Berg les cabe el honor de ser los últimos en descubrir un elemento estable (el renio).

El prometio es mucho más inestable que el tecnecio. El isótopo de vida más larga del prometio es el prometio-145, cuya vida media no es superior a 17,7 años.

Incluso 17,7 años es una duración respetable. Existían otros dos vacíos en la lista radiactiva de los elementos por encima del número atómico 83, que no se llenaron hasta después de que se descubriera el tecnecio. Estos eran los elementos #85 y #87. Hubo declaraciones en los años 30 de que habían sido detectados, y se les llamó «alabamine» y «virginium» respectivamente, pero estas declaraciones eran erróneas. En 1940 se formó el elemento #85 bombardeando bismuto (elemento #83) con partículas alfa, y en 1939 se encontraron vestigios del elemento #87 entre los restos de productos de uranio-235. Finalmente, el elemento #85 fue llamado «astato» (de la palabra griega que significa «inestable») y el elemento #87 se llamó «francio» por Francia, patria del descubridor).

El astato era realmente inestable porque su isótopo de vida más larga es el astato-210, que tiene una vida media de sólo 8,3 horas. El francio es aún más inestable, porque su isótopo de vida más larga es el francio-223, con una vida media de tan sólo 22 minutos.

Incluso los elementos situados más allá del uranio, que han sido formados en el laboratorio desde 1940, son en su mayor parte menos inestables que el francio. Sólo los elementos situados más allá del número atómico 102, de los que solamente se les conoce unos pocos isótopos, no tienen ninguno con una vida media más larga que la del francio-223.

---

## II

# SAL Y BATERÍA

---

En un encuentro reciente de Las Arañas del Escotillón (el pequeño e infinitamente interesante grupo en el que me inspiró para mis misterios de Viuda Negra), mi buen amigo L. Sprague de Camp me contó la siguiente anécdota histórica, que debe ser cierta porque no la había oído contar antes.

«-Goethe -dijo- llegó una vez a Viena para visitar a Beethoven y ambos salieron a dar un paseo. Los vieneses, al reconocerlos, se quedaban asombrados. Todos cuantos se encontraban con los dos famosos se apresuraban a apartarse y cederles el paso, los hombres, con una profunda inclinación y las mujeres con una gran reverencia. Por fin, Goethe dijo:

«-Sabe usted, Herr van Beethoven, encuentro agotadoras estas muestras de adulación.

«A lo que respondió Beethoven:

«-No permita que esto le abrume, Herr von Goethe, estoy completamente seguro de que estas muestras de adulación son para mí.»

La historia fue recibida con risas generales y nadie rió con más ganas que yo, pues me entusiasman las declaraciones que representan una ingenua admiración de sí mismo (por lo que mis lectores pueden llamar «razones obvias»).

Sin embargo, tan pronto como dejé de reír, dije:

— Saben, creo que Beethoven tenía razón. Era el más famoso.

—¿Realmente? -comentó Sprague-. ¿Por qué, Isaac?

— Bueno -contesté- porque a Goethe hay que traducirlo.

Siguió un corto silencio y entonces Jean Le Corbeiller (que enseña matemáticas y es el príncipe de las buenas personas) dijo:

— Sabes, Isaac, probablemente no te has dado cuenta, pero has dicho algo muy profundo.

A decir verdad, claro que me había dado cuenta, pero uno debe ser modesto, así que respondí:

— Es terrible Jean. Digo cosas profundas continuamente y nunca me doy cuenta. Yo creo que no se puede ser más modesto.

De lo que me gustaría hablar en este ensayo es de lo que empezó con un profesor de anatomía italiano, Luigi Galvani (1737-1798). Se interesaba por la acción muscular, así como por los experimentos eléctricos. Tenía un recipiente Leyden en su laboratorio, un recipiente que puede guardar gran cantidad de carga eléctrica. Cuando un recipiente Leyden, cargado, se descarga en una persona, puede producirle una sacudida eléctrica muy desagradable. Incluso una pequeña descarga relativamente débil puede hacer que sus músculos se contraigan y causarle una sacudida de lo más divertida (para los demás, claro).

En 1791, Galvani observó que las chispas de un recipiente Leyden en plena descarga, en contacto con los músculos de las ancas de ranas recién disecadas, hacían que estos músculos, aunque muertos, se contrajeran violentamente como si estuvieran vivos.

Esto ya se había observado antes, pero Galvani pasó a observar algo enteramente nuevo. Cuando un escalpelo de metal tocaba los músculos muertos de las ancas en el momento en que se producía una chispa en un recipiente Leyden cercano, el músculo se contraía aunque la chispa no tuviera contacto directo.

Esto era acción a distancia. Galvani supuso que la chispa eléctrica pudo haber inducido una carga eléctrica en el escalpelo de metal y que dicha carga, a su vez, podía haber

afectado el musculo. Si era así, quizás uno podía conseguir la misma acción a distancia por un rayo, que entonces se conocía como una carga parecida a la del recipiente Leyden, pero en una escala infinitamente mayor (véase «El Funesto Rayo» en Las estrellas y sus cursos). Si el recipiente podía hacerse sentir a unos pies de distancia, el rayo debería poder hacerlo a unas millas.

Galvani esperó a que se produjera una tormenta. Entonces sacó sus ancas de rana y las colgó de unos ganchos de cobre a una barra de hierro en el exterior de su ventana. Y, en efecto, cuando cayó el rayo, los músculos de las ancas se contrajeron. Sólo hubo un fallo... cuando no había rayos, los músculos también se contraían.

El desconcertado Galvani experimentó un poco más y descubrió que la contracción ocurría cuando los músculos, en contacto con el cobre, entraban también en contacto con las barras de hierro. Dos metales distintos, en contacto simultáneo con el músculo, no solamente podían producir contracciones musculares, sino que podían hacerlo varias veces. Parecía obvio que una carga eléctrica debía estar involucrada de algún modo, y que esta carga no estaba permanentemente descargada por la contracción, sino que podía regenerarse una y otra vez.

La cuestión era: ¿Dónde estaba la fuente de la electricidad?

Para Galvani, el anatomista, parecía que tenía que estar en el músculo. El músculo es una sustancia muy complicada, mientras que el hierro y el cobre son solamente hierro y cobre. Por lo tanto habló de «electricidad animal».

Los experimentos de Galvani fueron ampliamente difundidos y al público le encantaron. Después de todo, la contracción muscular parecía ser característica de la vida. El músculo muerto no se contrae si se le deja solo. Si se contrae bajo una descarga eléctrica, podría ser que la electricidad poseyera una especie de fuerza vital que movía momentáneamente el músculo muerto como si estuviera vivo.

Esto era sorprendente e hizo que mucha gente pensara que podían encontrarse medios para devolver la vida a un tejido muerto mediante la electricidad. Era una nueva gran noción de «ciencia ficción» y ayudó a la creación de Frankenstein, que cierta gente considera como la primera aparición de la verdadera ciencia ficción.

Hasta hoy, una persona que reacciona con contracciones musculares a un choque eléctrico (o a una sensación o impresión inesperada) se dice que está «galvanizada».

No todo el mundo aceptó la noción de electricidad animal de Galvani. Su adversario principal fue otro científico italiano, Alessandro Volta (1745-1827). Volta pensó que los metales podían ser la fuente de la electricidad y no el músculo. Para confirmar el asunto, probó dos metales distintos en contacto y, en 1794, descubrió que éstos producían una descarga eléctrica aunque no hubiera ningún músculo cerca.

Esto amargó los últimos años del pobre Galvani. Su adorada esposa murió y, en 1797, perdió su puesto profesional al negarse a jurar lealtad al nuevo Gobierno establecido por el invasor Napoleón Bonaparte. Murió poco después, pobre y desgraciado. Volta, por el contrario, juraba lealtad a cualquiera que mandara, así que prosperó durante la ascensión de Napoleón al poder supremo, y luego prosperó igualmente a la caída de Napoleón.

Para Volta, el hecho de una descarga eléctrica en la unión de dos metales no semejantes estaba muy claro, aunque la explicación no lo estuviera. (Ésta es una situación bastante común en la ciencia. Así, hoy en día, el hecho de la evolución biológica no se discute entre científicos cuerdos e incluso la explicación general está clara, pero algunos detalles de la explicación siguen aún en litigio.)

A veces, llegar a una explicación satisfactoria lleva mucho tiempo. En el caso de la electricidad por dos metales, la explicación adecuada no llegó hasta que hubo transcurrido un siglo después de que se observara el fenómeno por primera vez.

Hoy en día sabemos que todas las sustancias están compuestas de átomos, cada uno de los cuales, a su vez, consiste en un diminuto núcleo de carga positiva en el centro,

y un cierto número de electrones de carga negativa en su alrededor. La carga positiva del núcleo equilibra el total de la carga negativa de los electrones, de forma que el átomo, a solas, no tiene carga eléctrica, es decir, es neutro.

En el caso de cada tipo distinto de átomo, pueden retirarse los electrones, pero con diferente grado de dificultad. Así, los electrones pueden separarse de los átomos de cinc con más facilidad que de los átomos de cobre. O dicho de otro modo: los átomos de cobre retienen su electricidad con más tenacidad que los átomos de cinc.

Pues bien, imaginemos un trozo de cobre y un trozo de cinc haciendo contacto entre sí. Los electrones en los átomos de cinc en el límite del metal tendrían tendencia a escapar hacia el cobre. El cobre, con su mayor retención, arrastra los electrones del cinc.

El cobre, al ganar electrones de carga negativa, gana naturalmente una carga negativa total. El cinc, al perder electrones, tiene parte de la carga positiva de su núcleo atómico desequilibrada y por tanto produce una carga positiva. Es esta diferencia de carga la que puede ser detectada por los experimentadores y que presta a la combinación de metales su comportamiento eléctrico.

Podríamos pensar que la carga eléctrica de la unión de metales puede mantenerse indefinidamente a medida que pasan más y más electrones del cinc al cobre, pero no es así. A medida que el cobre desarrolla una carga negativa, empieza a repeler los neutrones cargados negativamente (cargas iguales se repelen) y esto hace más difícil la entrada de más electrones. Por el contrario, a medida que el cinc desarrolla una carga eléctrica positiva, ésta atrae aquellos electrones que permanecen en el cinc (cargas distintas se atraen) y dificulta más la salida de electrones.

Cuanto mayor es la carga desarrollada por los dos metales, más difícil resulta que surja una carga todavía mayor. Rápidamente, el proceso se detiene por completo en el momento en que sólo una carga pequeña (pero detectable) hace su aparición.

Incluso este pequeño efecto tiene su utilidad. A medida que la temperatura cambia, la fuerza que atrae electrones a los núcleos atómicos cambia también, pero generalmente en diferente intensidad para diferentes metales. Esto significa que, a medida que la temperatura cambia, la tendencia de los electrones a pasar de un metal a otro a través de una conexión, y por consiguiente la intensidad de la carga eléctrica desarrollada, aumentará o disminuirá.

Tales «conexiones termoeléctricas» pueden, por tanto, utilizarse como termómetros. Pero lo que Volta tenía en mente era la creación de un aparato del que pudiera conseguirse una carga eléctrica y dentro del cual la carga pudiera regenerarse después. Puesto que los metales diferentes pueden inducir a un músculo a contraerse una y otra vez, deberían también producir una carga eléctrica una y más veces. Si la carga eléctrica no se retira más rápidamente de lo que se produce, dispondríamos de una continua corriente eléctrica.

Esto podía ser una gran novedad porque, hasta entonces, durante más de doscientos años, los científicos sólo habían estudiado la «electricidad estática», una carga eléctrica creada en un lugar determinado, que permanece allí y que fluye, momentáneamente, por una descarga.

Volta se proponía producir «electricidad dinámica», una carga eléctrica que circularía, firmemente, a través de un conductor, por tiempo indefinido. Dicho fenómeno suele llamarse «corriente eléctrica» porque en muchos aspectos es similar, en sus propiedades, a una corriente de agua.

Para hacer que la electricidad fluyera, Volta necesitaba algo por donde hacerla fluir. Se sabía ya que la electricidad podía conducirse mediante soluciones de sustancias inorgánicas y, en 1800, Volta utilizó la más común de tales sustancias; la sal de mesa, el cloruro de sodio.

Su intención fue comenzar con un bol medio lleno de agua salada y sumergir una tira de cobre en un lado y una de cinc en el otro.

Pero Volta se dio cuenta de que el efecto se multiplicaría si utilizaba una serie de recipientes. Para ello dispuso cierto número de tiras metálicas, uno de cuyos extremos era cinc, y el otro cobre.

Colocando una hilera de recipientes con agua salada, Volta dobló cada tira metálica en forma de U, metiendo el extremo del cinc en el agua salada por un lado, y el de cobre por el otro.

La carga eléctrica total aumentaba con el número de recipientes. Volta podía dirigir esta carga desde la tira de cinc de un extremo de la hilera, a la tira de cobre del otro extremo, y luego a través del agua salada de los recipientes a la tira de cinc donde se inició.

Volta conseguía así su corriente eléctrica (que era esencialmente una corriente de electrones, claro está, aunque esto Volta no podía saberlo).

Volta llamó a su grupo de recipientes la «corona de recipientes» porque estaban ordenados en forma de media luna. Hoy en día llamaríamos «célula» al bol individual. La célula es un término común utilizado para una sola unidad de cualquier grupo de volúmenes relativamente pequeños, como en cárceles, monasterios, o también en el tejido viviente. Las células productoras de electricidad se llaman, a veces, «células voltaicas» o «células galvánicas» en recuerdo de los dos grandes pioneros en este campo, pero suelen ser más comúnmente diferenciadas de las otras clases de células como «células eléctricas», sencillamente.

Otra denominación nace del hecho de que cualquier dispositivo utilizado para batir algo es una «batería». En la época de Volta, lo que solía emplearse para batir o demoler la muralla de una ciudad o de una fortaleza (o un grupo de soldados enemigos) era una «batería de artillería», una hilera de cañones, a veces alineados eje contra eje, disparando todos a la vez. Por ello, el término batería se ha utilizado para cualquier serie de objetos similares, trabajando conjuntamente para alcanzar un fin común.

La «corona de recipientes» de Volta es un ejemplo de esto, y él es por tanto el inventor de lo que pasó a ser conocido como la «batería eléctrica».

El término «batería» ha acabado por utilizarse tan corrientemente para cualquier fuente de electricidad producida por metales y productos químicos (incluso cuando la fuente es una sola célula química, y no una batería de ellas) que los demás significados de la palabra han pasado a ser subsidiarios.

Y como en la primera batería de Volta, el cloruro de sodio era un ingrediente esencial, se me ocurrió titular este ensayo tal como lo he hecho. (¿De qué se quejan?)

La utilidad de una batería eléctrica, como la de Volta, iba a quedar limitada por el hecho de que cualquier movimiento torpe o involuntario podía volcar uno o más recipientes. Esto no solamente interrumpiría la corriente, sino que lo mancharía todo. Por tanto merecería la pena hacer una batería menos líquida.

Volta lo consiguió con otro ingenioso dispositivo. Preparó pequeños discos de cobre y de cinc y los amontonó, alternándolos, en una pila cilíndrica. Entre cada pareja de cobre-cinc, introdujo círculos de cartón mojados en agua salada. El agua salada del cartón bastaba para sustituir recipientes a medio llenar. Si la parte de arriba y la de abajo de la «pila voltaica» eran tocados por los extremos opuestos de un alambre, fluiría la corriente eléctrica.

Tan pronto como se inventó la batería, se abrieron nuevas perspectivas para la ciencia. Solamente seis semanas después del informe inicial de Volta, dos investigadores ingleses, William Nicholson (1753-1814) y Anthony Carlisle (1768-1840), pasaron una corriente eléctrica por agua que contenía un poco de ácido sulfúrico para hacerla mejor conductora.

Descubrieron que la corriente eléctrica hacía más fácilmente lo que en aquella época no podía hacerse de otro modo. Separaba las moléculas del agua en sus elementos constituyentes: hidrógeno y oxígeno. Nicholson y Carlisle habían descubierto la

«disociación electrolítica».

Finalmente los químicos pudieron demostrar mediante esta técnica que el volumen de hidrógeno aislado era el doble del de oxígeno. A su vez esto les condujo a darse cuenta de que cada molécula de agua contenía dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, de modo que la fórmula podía escribirse como la ahora familiar «H<sub>2</sub>O».

Naturalmente, los químicos deseaban servirse de las corrientes eléctricas para separar otras moléculas que hasta entonces se habían resistido a todas las técnicas no eléctricas. Así como en el Siglo XX los físicos se precipitaron a construir cada vez mayores «separadores de átomos» en forma de aceleradores de partículas, a principios del XIX, los químicos se apresuraron a montar cada vez mayores «separadores de moléculas» en forma de baterías.

El vencedor fue el químico inglés Humphry Davy (1778-1829) que construyó una batería que incluía 250 placas de metal. Era la mayor hasta entonces y proporcionaba la más fuerte corriente eléctrica. Se dedicó entonces a las sustancias comunes tales como el potasio y la cal que, según los químicos de la época, contenían átomos metálicos en combinación con oxígeno. Pero nada hasta entonces pudo separar los átomos del oxígeno para aislarlos de los otros átomos como metal libre.

En 1807 y 1808, Davy utilizaba su batería para disociar moléculas, aislando el potasio de la potasa, el calcio de la cal, y el sodio, bario y estroncio de otros componentes. Todos éstos eran metales activos, siendo el potasio el más activo. El potasio reaccionaba con el agua, combinándose con el oxígeno y liberando el hidrógeno con tal energía que obligaba a dicho gas a combinarse con el oxígeno del aire con tal fuerza que se encendía. Cuando Davy lo vio y se dio cuenta de que tenía ante sí una sustancia que nadie había visto antes, con propiedades que nadie había imaginado jamás, se lanzó a una danza salvaje... y tenía derecho a hacerlo.

En cualquier batería hay una sustancia que tiende a perder electrones y a cargarse positivamente, y otra sustancia que tiende a ganar electrones y cargarse negativamente. Estos son los dos «polos eléctricos», el «polo positivo» y el «polo negativo».

El americano que sirvió para todo, Benjamin Franklin (1706-1790) fue el primero en insistir en que sólo un fluido móvil estaba involucrado en la electricidad, y que a algunas sustancias les sobraba mientras que a otras les faltaba. No obstante, no tenía forma de saber a qué sustancias les sobraba y a cuáles les faltaba pero alrededor de 1750 lo acertó. Su decisión ha sido universalmente aceptada desde entonces. En la batería cobre/cinc de Volta, por ejemplo, el cobre (de acuerdo con el descubrimiento de Franklin) es el polo positivo y el cinc el negativo. Si la corriente fluye del que le sobra al que le falta, como debería ser, es que (de nuevo según Franklin) fluye del cobre al cinc.

Franklin tenía un cincuenta por ciento de probabilidades de acertar, pero perdió la partida.

El exceso de electrones, como sabemos ahora, se encuentra en el polo eléctrico que Franklin llamó negativo, y el déficit de electrones en el que llamó positivo, y los electrones (por tanto la corriente) fluyen del cinc al cobre. Debido a la equivocación de Franklin nos vemos obligados a decir que el electrón, que es la esencia de la corriente eléctrica, tiene carga negativa.

Al diseñar los aparatos eléctricos no importa en qué dirección se crea que fluye la corriente, mientras se esté siempre seguro de su decisión, pero la equivocación de Franklin nos ha proporcionado una divertida incongruencia.

Michael Faraday, el científico inglés (1791-1867), se sirvió de los términos que le sugirió el erudito inglés William Whewell (1794-1866). Los dos polos eran «electrodos», de las palabras griegas que significan «camino eléctrico». El polo positivo era el «ánodo» (camino superior), y el negativo «cátodo» (camino inferior). Así se

visualizaba la corriente eléctrica fluyendo, como haría el agua, desde la posición alta del ánodo a la más baja del cátodo.

En realidad, ahora que seguimos el fluido de electrones, la corriente eléctrica va del cátodo al ánodo, de modo que si queremos explicarla con palabras diremos que va cuesta arriba. Afortunadamente nadie se preocupa demasiado por el significado de las palabras griegas, y los científicos utilizan esos términos sin la menor sensación de incongruencia. (Bueno, los científicos griegos podrían sonreír.)

Los electrones no se consumen durante la acción de la batería. No pueden. La corriente eléctrica no fluye a menos que el circuito esté «cerrado», es decir, a menos de que los electrones salgan de la batería por un punto y vuelvan a la batería por otro, a través de un camino ininterrumpido. Siempre que el camino conductor es interrumpido por algo no conductor, como una bolsa de aire, la corriente cesa.

En tal caso podría pensarse que la corriente eléctrica debería fluir eternamente, y que se la podría hacer funcionar siempre puesto que los electrones giran en círculos eternos. Una batería debería poder separar todas las moléculas de agua del universo. Pero eso significaría que tendríamos el equivalente del movimiento perpetuo, y ahora sabemos muy bien que eso es imposible.

En otras palabras, la batería debe gastarse finalmente, ¿pero por qué?

Para conocer el porqué, debe comprenderse primero que las baterías del tipo que Volta inventó producen una corriente eléctrica a través de una reacción química. En efecto, ahora sabemos que cada reacción química, sin excepción, lleva consigo la transferencia (parcial o completa) de electrones de algunos átomos hacia otros átomos. Son los electrones, así transferidos, que pueden manipularse a veces a través de un cable y transformarlos en una corriente eléctrica.

Imaginen, por ejemplo, una tira de cinc sumergida en una solución de sulfato de cinc. El cinc consiste en átomos de cinc neutros, cuyo símbolo podría ser  $Zn^0$ . El sulfato de cinc tiene una molécula simbolizada por  $ZnSO_4$ . No obstante, en una solución de sulfato de cinc, el átomo de cinc transfiere sus dos electrones más débiles al grupo de sulfato. El cinc, por lo tanto, al faltarle dos electrones tiene una doble carga positiva y su símbolo es  $Zn^{++}$ . Esto es un «ion» de cinc, otro término introducido por Faraday. Ion, de la palabra griega que significa «viajero», es un término apropiado porque cualquier átomo o grupo de átomos transportando una carga eléctrica (ya sea positiva o negativa) es atraído por uno u otro electrodo y por tanto tiende a deslizarse en aquella dirección.

Los grupos de sulfatos ganan los dos electrones que los átomos del cinc han expulsado. Cada uno tiene una doble carga negativa, y por tanto se transforma en un ion de sulfato, o  $SO_4^{--}$ .

Dado que el cinc tiene un dominio muy débil sobre sus electrones, especialmente los dos más exteriores, los átomos neutros de la tira de cinc tienden a perder dos electrones y se deslizan en la solución como iones de cinc, dejando sus electrones atrás, en la tira de cinc. La tira de cinc tiene estos electrones de sobra y gana una pequeña carga negativa. La solución gana iones de cinc de carga positiva sin nada que los neutralice y por tanto adquiere una pequeña carga positiva. La evolución de estas cargas detiene rápidamente cualquier otro movimiento del cinc, de la tira a la solución. Imaginen a continuación una tira de cobre sumergida en una solución de sulfato de cobre. La situación es casi la misma. La tira de cobre contiene átomos de cobre neutros ( $Cu^0$ ), mientras que el sulfato de cobre está hecho de iones de cobre ( $Cu^{++}$ ) más los iones de sulfato que he descrito más arriba. Pero aquí los átomos de cobre dominan con fuerza sus electrones, y la tira de cobre no tiende a perder átomos hacia la solución. Lo contrario es verdad, porque los iones de cobre tienden a añadirse a la tira llevando consigo su carga positiva. La tira de cobre gana una pequeña carga positiva, la solución una pequeña carga negativa, y eso pronto detiene cualquier otro cambio.

Supongan ahora que cerramos el circuito. Supongan que separamos las dos soluciones no por una barrera sólida, sino por una barrera porosa, a través de la cual los iones pueden vagar bajo la agradable atracción de un electrodo o del otro. Supongan después que conectamos la tira de cinc a la de cobre mediante un cable.

El exceso de electrones pasa del cinc al cobre, que tiene deficiencia de electrones, de modo que las dos cargas negativas de cinc y la positiva de cobre disminuyen. Con ambas cargas disminuidas, el cinc puede seguir cambiando de átomos de cinc a iones y pasar a la solución, mientras que los iones de cobre pueden continuar hasta adherirse a la tira de cobre. Los iones de cinc, amontonados en mitad de la solución haciéndola positiva, cruzarán la barrera porosa hacia la mitad de la solución de cobre, que es negativa debido a la pérdida de los iones de cobre de carga positiva.

Finalmente, mientras los electrones siguen abandonando la batería por el cinc y vuelven a ella por el cobre, la tira entera de cinc desaparecerá y todo el cinc estará presente en la solución como iones de cinc. Simultáneamente, todos los iones de cobre desaparecerán y estarán presentes sólo como átomos de cobre neutros en la tira. En lugar de tener una tira de cinc en sulfato de cinc, y una tira de cobre en sulfato de cobre, al final habrá sólo una tira de cobre en sulfato de cinc. Entonces ya no habrá más cambios químicos, ni más corriente eléctrica. De hecho, mucho antes de que la reacción esté completamente terminada, el fluido eléctrico habrá disminuido hasta el extremo de que la batería ya no resultará útil.

Pero si las baterías sólo pueden utilizarse un tiempo limitado y deben por tanto desecharse, su uso puede resultar muy caro. Estarían bien para los científicos que quieren hacer ciertos experimentos que de otra forma no podrían hacerse, y no importaría el gasto. Pero, ¿qué hay del público en general que puede necesitar baterías para diversos usos? (Y sabemos de sobra los usos para los que se precisan baterías, o puedan utilizarse, desde tiempos de Volta.)

¿Hay alguna forma de reducir el gasto para que la batería pueda formar parte de la tecnología diaria?

Es obvio que la hay, puesto que la gente de pocos medios las utiliza constantemente. Me ocuparé de esto en el próximo capítulo.

---

### III

## ACTUALIDADES

---

Era uno más en la tribuna de oradores aquella primera noche del seminario anual de cuatro días, que dirijo cada verano, y un chiquillo listo, de ojos brillantes, sentado en la primera fila, me hizo una aguda pregunta. Como tengo por costumbre en tales casos, fijé en él mi propio ojo brillante y le dije:

—Tienes doce años, ¿verdad?

Y como ocurre invariablemente, contestó:

—Sí, ¿cómo lo sabe?

Era fácil saberlo. Como ya lo expliqué una vez en un ensayo anterior, los chiquillos listos que tienen menos de doce años se sienten inhibidos por la inseguridad, mientras que los que tienen más de doce lo están por la responsabilidad social. A los doce, su único propósito en la vida es fastidiar al orador.

Ese doceañero, cuyo nombre era Alex, pareció divertido por mi explicación. Era un muchacho simpático y durante los días siguientes disfruté mucho en su compañía.

Naturalmente, no podía resistir jugar verbalmente con él, y tampoco me salí demasiado con la mía... eso creo.

Un día mencionó casualmente que se acercaba su «mitzvah», en Octubre, así que le dije:

—Me figuro que para entonces tendrás trece años.

—En efecto -respondió Max.

—Ya no volverás a tener doce.

—Ya lo sé.

—Serás solamente un bobo de trece años, ¿no crees, Alex? -dije sonriéndole afectuosamente, con un fatuo desconocimiento de la trampa que acababa de tenderme yo mismo.

No obstante, Max sí se dio cuenta. Me miró gravemente y dijo:

—¿Fue eso lo que le ocurrió a usted cuando cumplió trece años?

La sonrisa desapareció de mi cara al momento, porque era un claro jaque mate.

Lo único que se me ocurrió decir fue: -Yo era una excepción.

A lo que el muchacho replicó al instante: -Y yo lo seré también.

Bueno, a veces es saludable que lo corten a uno de vez en cuando, y resultó una anécdota divertida aunque fuera a mi costa. Pero me ha servido para hacerme sentir menos seguro de mí mismo respecto a mi habilidad para seguir con mi relato sobre la producción de electricidad. Aunque no puedo elegir, ¿verdad?

Terminé el capítulo anterior hablando de una posible pila eléctrica en la que estaban involucrados un electrodo de cinc en una solución de sulfato de cinc y un electrodo de cobre en una solución de sulfato de cobre, para demostrar los principios actuantes en células químicas que producen electricidad. Sin embargo, en este ejemplo concreto, las reacciones químicas tendrían lugar con tal lentitud que sólo producirían una pequeña corriente eléctrica, una corriente tan insignificante que no resultaría de uso práctico.

El medio más fácil para corregir esto consiste en acidificar la solución en la que descansan los electrodos. Entonces, efectivamente, el cinc y el cobre están inmersos en ácido sulfúrico diluido. El cinc (que es químicamente mucho más activo que el cobre) reaccionaría demasiado rápidamente con el ácido, de modo que se le protege con una capa de mercurio inactivo para hacer un poco más lenta la reacción.

En la reacción, el cinc libera iones de cinc, mientras que el cobre absorbe iones de cobre. La reacción química esencial es la siguiente: cinc más sulfato de cobre produce

sulfato de cinc más cobre.

En esta reacción, los electrones pasan del cobre al cinc; y del cinc, a través del circuito de cable e instrumentos, otra vez al cobre.

Bajo estas condiciones, la corriente es lo bastante fuerte para resultar de utilidad, y debería continuar hasta que la reacción se complete y todo el cinc se disuelva.

Desgraciadamente no ocurre así.

La corriente disminuye y se detiene en un tiempo sorprendentemente corto.

El científico inglés John Frederick Daniell (1790-1845) estudió el asunto y localizó el problema. En el curso de la reacción, el ácido sulfúrico liberaba gas hidrógeno. Este hidrógeno tiende a acumularse en el electrodo de cobre y lo aísla de tal forma que se va volviendo cada vez menos capaz de participar en la reacción química.

Como consecuencia, la corriente disminuye y muere.

De modo que Daniell intentó que al hidrógeno le fuera menos fácil alcanzar el cobre.

En 1836 ideó una pila eléctrica en la que el cinc y el ácido sulfúrico estuvieran dentro de un esófago de buey.

Este esófago con su contenido se metía a su vez en un recipiente de cobre, que contenía una solución de sulfato de cobre.

El hidrógeno que se forma permanece cerca del cinc y sólo se filtra lentamente a través de los poros del esófago. Una vez fuera del esófago, el hidrógeno reacciona con el sulfato de cobre, formando ácido sulfúrico y cobre, forrando el cobre las paredes del contenedor o recipiente. Pero el hidrógeno va filtrándose tan despacio que una apreciable cantidad no puede evitar la reacción con el sulfato de cobre, acumulándose en el cobre.

Esta "Pila Daniell" continúa produciendo electricidad en cantidades apreciables durante un período prolongado, y fue la primera batería práctica. (El esófago de buey fue rápidamente remplazado por porcelana sin barnizar, que era más fácil de manejar y a través de la cual el hidrógeno podía pasar con la misma facilidad).

Un inconveniente de la pila Daniell es que debe estar recién hecha antes de ser utilizada. Si uno prepara una pila de este tipo y la deja cierto tiempo sin utilizar, los materiales de dentro y de fuera de la porcelana porosa pasan gradualmente a través de ella, y mucha o toda la reacción química tiene lugar antes de tener la oportunidad de utilizarse.

Un segundo inconveniente es, naturalmente, que el cobre es un material muy caro.

En 1867, un ingeniero francés, George Leclanché (1839-1882), ideó otro tipo de pila eléctrica, sin utilizar cobre. Dentro del recipiente de porcelana porosa, colocó una barra de carbono (el carbono es muy barato) y la recubrió con carbono en polvo y dióxido de manganeso. Entonces colocó la vasija en un recipiente mayor lleno con una solución de cloruro de amonio. También metió una barra de cinc en el contenedor. En esta "pila Leclanché", los electrones pasaban del cinc al carbono.

Durante los veinte años siguientes, la pila Leclanché se modificó añadiendo harina y escayola a la solución de cloruro de amonio para formar una pasta resistente. La porcelana porosa se remplazó por tela de saco. La barra de cinc se transformó en un recipiente de cinc en el que se colocó la pasta, con la barra de carbono y lo que la envolvía, incluyendo el saco, metidos en la pasta. La parte superior se cerró con brea y todo ello se envolvió en cartón.

El resultado es lo que hoy en día llamamos simplemente "batería" o "pila seca". No es que sea realmente seca, porque si la cortáramos por el centro, encontraríamos que es húmeda. (Si fuera realmente seca no funcionaría). No obstante por fuera está seca, y mientras permanece intacta no puede derramarse. Puede llevarse en el bolsillo, ponerse boca abajo, y a los ojos del ciudadano medio, parece estar completamente seca.

A veces se la llama "pila de linterna", porque la gente entró en contacto con ella

usándola en las linternas. Naturalmente, hoy existen de todos los tamaños y formas y se usan en todos aquellos juegos electrificados que se venden con "pilas no incluidas" y que hacen funcionar todos los aparatos electrónicos portátiles, desde radios a computadoras.

En los últimos cien años se ha creado una gran variedad de cada una con sus ventajas e inconvenientes, cada una particularmente adaptada a determinados usos. Pero, incluso en la actualidad, un 90 por ciento de todas las baterías que se usan son pilas Leclanché. Siguen siendo el caballo de trabajo.

No obstante, la pila Leclanché, sean cuales sean sus ventajas, produce electricidad por la oxidación del cinc o, en términos más gráficos, quemando cinc. El cinc no es una sustancia demasiado cara, pero tampoco es excesivamente barata. Si tuvieran que quemar cinc en su caldera o en su automóvil, no tardarían en descubrir que no pueden calentarse en invierno o conducir su automóvil en todo momento.

La única razón por la que las baterías pueden utilizarse a precios razonables es porque se usan para trabajos en que se precisa energía. Para que una radio funcione, o un reloj, o cualquier aparato que necesite baterías, no hace falta excesiva energía.

Para conseguir alta energía deben utilizarse diversos tipos de "combustibles", es decir, sustancias fácilmente disponibles que arden en el aire produciendo calor. Los combustibles suelen ser sustancias que contienen carbono, como la madera, el carbón y los derivados del petróleo (gas, gasolina, queroseno y fuel-oil).

¿Se podría quemar combustible en una pila química ("pila de fuel") y conseguir electricidad, en lugar de calor? Naturalmente es posible quemar fuel y utilizar la energía del calor para lograr electricidad de distintas maneras. Sin embargo, la utilización del calor limita la eficiencia. Pruebe como quiera, si pasa de combustible, a calor, a electricidad, acaba, como mucho, con el 40 ó 50 por ciento de la energía convertida en electricidad.

La primera persona que consiguió una pila de combustible fue un abogado inglés, William Robert Grove (1811-1896), que descubrió que estaba más interesado experimentando con la electricidad que en sus prácticas legales.

En 1839 ideó una pila química consistente en dos electrodos de platino metidos en ácido sulfúrico diluido. Naturalmente con aquello solo no tenía la menor oportunidad de conseguir electricidad.

Con dos electrodos de carácter idéntico no había razón para que los electrones fueran de uno a otro. Incluso si por algún motivo la hubiera, el platino es un metal inerte que no sufre reacciones químicas en ácido sulfurico diluido, y, sin reacción química, una célula química no funciona.

No obstante, dado que el platino es inerte en sí, su superficie, cuando está limpia, ofrece un buen sitio para reacciones químicas en las que participarían otras sustancias. En otras palabras, el platino es un "catalizador" que precipita reacciones químicas sin tomar parte aparente en ellas. Esto lo descubrió por primera vez Humphry Davy en 1816.

Hacia 1820, un químico alemán, Johann Wolfgang Döbereiner (1780-1849), utilizó el poder catalizador del platino. Encontró que cuando proyectaba un chorro de hidrógeno sobre una cantidad de platino en polvo, el hidrógeno se combinaba tan enérgicamente con el oxígeno en el aire que se encendía en llamas. (Sin el efecto catalítico del platino, el hidrógeno no se combinaría con el oxígeno a menos que estuviera fuertemente calentado.)

Fue el primer encendedor de tipo moderno para fumadores, muy popular durante cierto tiempo. En 1828, unos veinte mil encendedores de este tipo estuvieron en uso en Alemania y Gran Bretaña, pero como Döbereiner no lo patentó, jamás ganó un céntimo. Además resultó un capricho pasajero, por las razones que voy a explicarles. Grove conocía por supuesto el trabajo de Döbereiner, y se le ocurrió que el platino

podría ejercer su efecto catalítico tanto dentro de una pila eléctrica como fuera de ella. De modo que suspendió un tubo de ensayo de oxígeno sobre el otro electrodo. Lo que tenía básicamente era un electrodo de hidrógeno y un electrodo de oxígeno.

Pero de esta pila, Grove no consiguió ninguna corriente eléctrica. Construyó cincuenta y las unió con cable, obteniendo así una fuerte corriente.

Esto podría parecer un gran logro. El platino no se gastaba por más tiempo que funcionara la batería. Ni tampoco el ácido sulfúrico. Lo único que cambió dentro de la célula fue que los electrones pasaron del hidrógeno al oxígeno, lo que era el equivalente, químico, de la combinación del hidrógeno y del oxígeno para formar agua. Esto significaba, claro, que el contenido de agua de la célula aumentaba y que el ácido sulfúrico iba constantemente diluyéndose, pero si el agua podía de algún modo retirarse de la pila periódicamente, el ácido sulfúrico no se diluiría.

Como demostración de que las pilas de combustible eran posibles, la de Grove fue un éxito total. En cuanto a demostrar que eran prácticas, fue un fracaso.

Aunque el hidrógeno puede ser clasificado como combustible, tan poco práctico y caro como se quiera. No existe en la tierra como tal, sino que debe producirse utilizando métodos que consumen energía.

También el platino es una sustancia excesivamente cara. Es cierto que el platino no se gasta durante el proceso y que siempre está allí presente, pero si imaginamos más y más células de Grove producidas para diversos usos, el capital invertido en platino inmovilizado crece rápidamente.

Además, aunque el platino no se consume, se inutiliza con gran facilidad. Las propiedades catalizadoras del platino existen solamente si su superficie no está contaminada. Las moléculas de hidrógeno y oxígeno se adhieren temporalmente a la superficie y luego se desprenden después de liberar o atraer electrones. Sin embargo, hay muchas sustancias que se adhieren a la superficie del platino y tienen poca tendencia a desprenderse. Permanecen como una película monomolecular, invisible al ojo, pero impidiendo que unas moléculas como las del hidrógeno o del oxígeno lleguen a la superficie.

El platino es, en este caso, "envenenado" y deja de ejercer su poder catalizador para que tenga lugar una combinación de hidrógeno y oxígeno. Hasta que no se retira y limpia el platino, la pila de combustible no funciona. (ésta fue la razón por la que el encendedor de Dobereiner no resultó práctico y cayó en desuso.)

Resultó muy difícil construir una pila de combustible que fuera práctica además de factible. Un americano, W.W.Jacques lo intentó hacia el año 1900. Dio una serie de pasos acertados en la buena dirección de su versión. Para empezar descartó el platino y no utilizó el relativamente caro hidrógeno. En cambio utilizó una barra de carbono, que podía fácilmente conseguirse con carbón, y nada tan barato como eso.

La barra de carbono se colocó en hidróxido de sodio fundido que, a su vez, estaba contenido en un recipiente de hierro. El hierro (el más barato de los metales) era el otro electrodo. El aire (no oxígeno) burbujeaba junto a la barra de carbono, y teóricamente el carbono hubiera debido combinarse con el oxígeno del aire para formar dióxido de carbono, produciendo así una corriente eléctrica. Y así fue.

Cabe imaginar que la pila de Jacques representaría un mínimo irreducible de gastos puesto que es difícil imaginar carbón, hierro y aire remplazados por algo todavía más barato. No obstante había dos fallos. Primero, la pila tenía que calentarse continuamente para que el hidróxido de sodio se mantuviera fundido, y esto implicaba un gasto de energía. Segundo, el dióxido de carbono formado no escapaba en burbujas; se combinaba con el relativamente caro hidróxido de sodio para formar un carbonato de sodio de mala calidad.

Así, que la pila de Jacques fue un éxito en teoría y un fracaso en la práctica.

Fracasaron todos los intentos ulteriores de modificación para conseguir resultados prácticos. Las pilas de combustible existen y pueden utilizarse para trabajos altamente

especializados, pero hasta ahora ninguna es lo suficientemente barata y práctica para uso público en general. La pila seca de Leclanché sigue siendo el caballo de trabajo. Todas las pilas eléctricas que he mencionado son utilizadas hasta que dejan de funcionar, y entonces hay que tirarlas... a menos que se quiera conservar una como curiosidad o como amuleto de la buena suerte.

Esto suena triste. Después de todo, si tiene lugar una reacción química que produce una corriente eléctrica en una dirección determinada, ¿no se puede cambiar el orden de las cosas? ¿No podría forzarse una corriente eléctrica a través de una pila en la dirección contraria y de este modo invertir la reacción química? Y cuando la reacción química se invierte hasta que la pila se encuentra en su estado original, ¿no podríamos utilizarla por segunda vez, después de volver a invertirla, y así sucesivamente?

En teoría parece plausible. Las reacciones químicas pueden ser invertidas si se retienen todos los productos de la reacción y si no ha ocurrido un cambio importante en el estado del orden (es decir, un gran "aumento de entropía").

Por ejemplo, el cinc reacciona con ácido sulfúrico para formar hidrógeno y sulfato de cinc. Si se deja que el hidrógeno escape, una simple inversión de las condiciones no va a forzar al sulfato de cinc a volverse cinc y ácido sulfúrico. Necesita también al desaparecido hidrógeno, y proporcionárselo puede resultar muy caro.

Del mismo modo, si se calienta azúcar y se descompone en carbono y vapores, e incluso si puede recoger los vapores y los remueve con el carbono, no va a invertir la situación y volver a obtener azúcar. La descomposición del azúcar representa un alto grado de aumento de entropía, y esto no se prestará a una simple reversión.

Todos nos damos perfectamente cuenta de ello. Incluso los niños sin el menor conocimiento de entropía aprenden pronto que ciertas cosas son irreversibles.

Fijense en la siguiente canción infantil, algo horripilante, que tengo entendido que los niños encuentran divertida porque comprenden su grotesca imposibilidad.

*Hubo un hombre en nuestro pueblo que era muy sabio.  
Saltó a un zarzal, y se arrancó los ojos.  
Y cuando descubrió que ya no los tenía,  
pensó con todas sus fuerzas y  
volvió a saltar al zarzal,  
y se los puso de nuevo.*

Pero algunas reacciones químicas que producen una corriente eléctrica, pueden invertirse mediante una corriente eléctrica opuesta. Una corriente eléctrica aparece en una dirección de la reacción química, cuando la energía química se convierte en energía eléctrica.

Si se obliga a una corriente a pasar en dirección opuesta, se restablece el estado original de la pila y la electricidad desaparece, porque la energía eléctrica se convierte en energía química. La pila parece acumular e inmovilizar energía eléctrica, almacenándola para uso ulterior. Esta pila puede llamarse "acumulador" o "batería de almacenamiento".

Semejante batería puede ir y venir indefinidamente. Puede "descargarse" convirtiendo la energía química en energía eléctrica, y puede "recargarse" convirtiendo energía eléctrica en energía química, y esto puede hacerse una y más veces.

A las baterías de almacenamiento se las llama también "baterías secundarias" para distinguirlas de objetos similares como las pilas secas y demás, que no pueden ser recargadas y que se llaman "baterías primarias". (Honradamente, no veo por qué las baterías de un solo uso son primarias y las reusables, secundarias. ¿Será porque las primeras se utilizaron primero, o hay alguna otra razón más lógica?)

En 1859, un físico francés, Gaston Planté (1834-1889), construyó el primer

acumulador. Lo que hizo fue tomar dos placas de plomo con una lámina de goma aislante entre las dos. Luego enrolló las hojas de plomo en espiral (el plomo es un metal blando) e introdujo el espiral resultante en ácido sulfúrico diluido. Como el plomo reacciona con el ácido sulfúrico, el ácido no tardó en contener sulfato de plomo. Planté descubrió que cuando hacía pasar una corriente eléctrica a una de las placas de plomo y la sacaba por la otra, producía un cambio químico, y almacenaba en el proceso energía eléctrica. De las láminas de plomo cambiadas podía obtener una corriente eléctrica hasta que la célula estaba descargada, y entonces podía volver a cargarla.

Finalmente, tomó nueve de esas espirales de plomo y las juntó, encerrándolo todo en una caja, y demostró que podía producir sorprendentes cantidades de electricidad. Cuando se estudió la batería de almacenamiento de Planté se descubrió que, después de cargarla, una lámina de plomo estaba cubierta de dióxido de plomo, y la otra por una capa esponjosa de plomo finamente partido.

Lo que entonces había hacer era empezar con aquella situación.

Hoy en día la "batería de almacenamiento de plomo ácido" consiste cierto número de parrillas planas de plomo, separadas por aislantes. Cada parrilla alterna está embadurnada de dióxido de plomo, y las intermedias de plomo esponjoso. Cuando la corriente eléctrica se retira, tanto el dióxido de plomo como el plomo esponjoso accionarán con ácido sulfúrico y formarán sulfato de plomo y no obstante, cuando se hace pasar una corriente eléctrica a través de la batería en dirección opuesta, el plomo y el dióxido de plomo se forman de nuevo cuando el sulfato de plomo desaparece y reaparece el ácido sulfúrico.

Las baterías de almacenamiento de plomo-ácido son las conocidas baterías usadas en los automóviles y otros vehículos. Proporcionan la fuerte descarga de electricidad necesaria para poner el coche en marcha en primer lugar (después de lo cual las explosiones de gasolina en el cilindro lo mantienen en marcha), y además una corriente fija de electricidad para los faros, la radio, el dispositivo de las ventanillas, el encendedor y demás equipamiento eléctrico.

Pero todo esto tampoco descarga necesariamente la batería, y es que mientras el coche corre, la energía de la combustión de la gasolina es utilizada para crear una corriente eléctrica que servirá para recargar la batería. La batería de almacenamiento funciona generalmente durante años, sin agotarse a menos que le exija usted demasiado, como por ejemplo empeñarse en poner el coche en marcha una y otra vez hasta que la batería, cansada, se descarga, bien porque ha estacionado distraído dejando las luces encendidas durante mucho tiempo.

Claro está que como la carga y la descarga se repiten un mes tras otro acumulando impurezas en las placas (nada es perfecto), la aptitud de la batería para acumular electricidad disminuye, y no puede ser recargada con éxito más allá de su capacidad parcial.

En este caso le costará arrancar su coche en circunstancias ligeramente difíciles y es probable que la batería se le muera en cualquier momento poco oportuno. Lo único que cabe hacer entonces es comprar una batería nueva.

Si la recarga de la batería sobrepasa su capacidad de almacenar energía, el agua de la solución de ácido sulfúrico se separa en hidrógeno y oxígeno, que se escapa en burbujas. Poco a poco, el nivel de agua disminuye hasta que la parte superior de las placas queda descubierta. Por tanto, para evitar tal eventualidad hay que añadir agua de vez en cuando.

Hay otros tipos de baterías de almacenamiento además de las de plomo-ácido. Thomas

Alva Edison (1847-1931) ideó una "batería níquel-hierro" poco después de 1900. También hay otros tipos de "níquel-cadmio" y "plata-cinc".

El inconveniente más importante de la batería de almacenamiento plomo-ácido, es que pesa mucho. Las otras son más ligeras, pero también más caras y no producen una carga tan grande de electricidad en el momento requerido. Por esta razón, la batería de almacenamiento plomo-ácido, que fue la primera en inventarse, aún sigue siendo la más utilizada. Se habla constantemente de remplazarla y algún día indudablemente se encontrará algo mejor..., pero al parecer aún no.

Surge una pregunta en relación con la batería de almacenamiento. ¿De dónde sale la electricidad que la recarga?

Lo triste es que, de acuerdo con la segunda ley de termodinámica (conocida también como "la asquerosidad general del universo") siempre se necesita más energía eléctrica para recargar la batería que la cantidad de energía que descargará.

Así pues, si tuviéramos que utilizar electricidad de batería para recargar una batería de almacenamiento, nos enfrentaríamos con un problema de pérdida. Si una batería de almacenamiento, por ejemplo, produjera tanta energía eléctrica como cinco pilas eléctricas ordinarias, pero se necesitaran seis pilas eléctricas ordinarias para recargarla, entonces sería mejor utilizar las cinco pilas eléctricas ordinarias para hacer el trabajo de la batería de almacenamiento en cada ciclo de descarga.

En otras palabras, si las baterías fueran la única fuente de energía, entonces las baterías de almacenamiento serían sencillamente un modo de utilizar pilas químicas más rápidamente de lo que contrariamente ocurre.

Por lo tanto, las baterías de almacenamiento son inútiles a menos que puedan cargarse con electricidad por otros medios más baratos que las células químicas.

Afortunadamente, existe este medio de producción de electricidad, y estudiaremos el tema en el capítulo siguiente.

---

## IV

# FORZANDO LAS LINEAS

---

Hace unos meses asistí a una conferencia sobre música impresionista, que me encantó, porque no sé nada de música, especialmente de música impresionista, y me gusta aprender. Así que escuché atentamente y me interesó en particular cuando el conferenciante explicó que Maurice Ravel era uno de los más importantes impresionistas en música: -Cualquiera que diga que después de oír una obra de Ravel salió del auditorio tarareando la melodía, está en un error -dijo insistentemente-. En la música de Ravel no hay melodía, en el sentido ordinario de la palabra.

Yo no dije nada, naturalmente, pero estaba sentado en la primera fila y en aquel momento se me ocurrió tararear. Y como no soy nada tímido, tarareé. Como comprenderán no lo hacía fuerte, pero sí lo bastante como para que el orador me oyera.

—MMM -tatareé- mm-mm-mm-mm-mm-mm-MMM-mm-mm-MMM-mm-MMM-mm-mm-mm-MMM... -y así sucesivamente.

El conferenciante sonrió y dijo: -Excepto, claro está, en el caso del Bolero -y todo el mundo echo a reír.

Durante unos segundos me sentí como el repugnante doceañero que solía ser cuando tenía doce años. Y me encantó.

Pero esto sirve para demostrar lo peligroso que es generalizar. Ésta es una de las muchas cosas que trato de recordar mientras escribo estos ensayos, y una de las muchas cosas de las que siempre me olvido. Así que adelante, y pueden tararearme el Bolero, bueno, en sentido figurado.

En los dos capítulos anteriores he hablado de la producción de corriente eléctrica mediante baterías; es decir, mediante aparatos que convierten la energía química en energía eléctrica.

¿Podemos obtener una corriente eléctrica con algún otro tipo de energía?

En la época en que se construyeron las primeras baterías, hubo un grupo de científicos, o casi científicos, que se autodenominaron «filósofos de la naturaleza» y cuyos puntos de vista se extendían desde honestos descarriados, en muchos casos, a puros charlatanes en otros. Un físico danés, Hans Christian Oersted (1777-1851), cayó bajo el hechizo de esos filósofos de la naturaleza, y soltó muchas insensateces antes de aprender a observar más y mitificar menos.

De todos modos, se puede llegar a ciertas conclusiones útiles, aunque sea más o menos por accidente, a través de ridículas premisas, y a Oersted le pareció que debía de haber algún medio de intercambiar electricidad y magnetismo. Después de todo había semejanzas entre las dos fuerzas. En ambas estaban involucradas atracción y repulsión, como cargas (o polos) que se repelían, y cargas distintas que se atraían. La fuerza decrecía con la distancia de modo parecido en ambas, y así sucesivamente.

Oersted era lo bastante científico como para querer demostrar la intercambiabilidad y no limitarse a hablar de ella. No estaba del todo seguro de cómo enfocarlo, pero una de las cosas que se le ocurrió hacer fue colocar una brújula cerca de un cable conductor de corriente para ver si la corriente afectaba a la aguja de la brújula.

Hacia finales de 1819 se dispuso a preparar este experimento, y si los resultados que obtuviera eran interesantes, demostrarlos en el curso de una conferencia pública.

Nunca llegó a intentarlo, pero en el curso de la conferencia pareció sentirse arrastrado por sus propias afirmaciones y, como tenía los materiales a mano, un impulso le llevó

a probar el experimento.

Después explicó por qué había hecho lo que hizo, pero no estoy seguro de comprender la explicación. Mi propia impresión es que los resultados del experimento le pillaron por sorpresa y que trató de ocultar el hecho.

He aquí lo que hizo. Tenía una potente batería mediante la cual podía mandar una corriente a través de un cable. Colocó el cable sobre el cristal de la brújula, ajustando el cable de forma que la corriente siguiera la línea norte-sur de la aguja de la brújula. Cuando hizo pasar la corriente, la aguja de la brújula saltó de pronto a través de un ángulo de 90 grados, como si gracias a la presencia de la corriente eléctrica quisiera alinearse en dirección este-oeste. Oersted, sorprendido, desconectó el cable y lo conectó a la batería por el lado Opuesto, de forma que se invirtiera la dirección de la corriente. Volvió a colocarlo sobre la aguja que había vuelto a su posición norte-sur, y ésta saltó de nuevo pero en dirección contraria.

La mejor prueba de que Oersted se quedó sorprendido y confuso por lo ocurrido es que abandonó el experimento. Lo dejó para otros.

Hacia el final de su vida hizo algún buen trabajo de química, pero fue aquel único experimento, el que realizó sin comprenderlo, el que le hizo inmortal. Así, la unidad de fuerza de campo magnético fue oficialmente llamada «oersted» en 1934.

Oersted anunció su descubrimiento (en latín) a principios de 1820, y los físicos europeos alzaron un clamor instantáneo que no volvió a repetirse hasta el descubrimiento de la fisión del uranio, un siglo después.

Casi al mismo tiempo, un físico francés, Dominique F.J.Arago (1786-1853), demostró que un cable conductor de corriente actuaba como un imán de otros modos que afectando una aguja de brújula.

Descubrió que dicho cable atraía limaduras de hierro no magnetizadas, lo mismo que un imán corriente.

Otro físico francés, André-Marie Ampère (1775-1836), demostró que dos cables colocados paralelamente se atraerían mutuamente, como por un imán, si las corrientes fluían en la misma dirección en ambos, pero se repelerían si las corrientes fluían en direcciones opuestas.

Ampère dispuso las cosas de forma que un cable pudiera moverse libremente y variar de posición, y luego hizo que los dos condujeran corrientes en dirección opuesta. El que podía moverse lo hizo al instante y varió, de forma que los dos conducían corrientes que fluían en la misma dirección. Esto es análogo al modo en que el polo norte de un imán acercado al polo norte de otro, que puede moverse en libertad, hará que el segundo gire y presente, en cambio, su polo sur.

Este «electromagnetismo» actuó de manera muy parecida al magnetismo ordinario. Se sabía desde tiempo atrás que si las limaduras de hierro se desparramaban sobre un cartón colocado cerca de un imán, y si el cartón estaba conectado, las limaduras de hierro se ordenarían en un dibujo que las haría parecer que seguían unas líneas que se curvaban de un polo al otro del imán. El científico inglés Michael Faraday las llamó «líneas de fuerza magnética».

Cada línea de fuerza representa una curva a lo largo de la cual la intensidad magnética tiene un valor constante. Así, una limadura de hierro puede deslizarse a lo largo de la curva de esa línea sin el más mínimo esfuerzo. Ir de una línea a otra requiere un esfuerzo mayor. (Esto es análogo a la forma en que podemos andar por un suelo plano sin el menor esfuerzo, permaneciendo en la misma «línea de fuerza de gravedad», pero necesitamos mayor esfuerzo para cruzar dichas líneas al subir o bajar una rampa.)

Un cable con una corriente eléctrica fluyendo por él, también presenta líneas de fuerza magnética. Si el cable pasa a través de un agujero en un cartón, y si las limaduras de hierro están sobre el cartón, que está entonces conectado. las limaduras se alinearán en una serie de círculos concéntricos espaciados, marcando la forma de las líneas de

fuerza.

Supongamos ahora que un cable se retuerce en forma de muelle de somier, por decirlo así. Dicho cable retorcido se llama «solenoides», de la palabra griega que significa tubo», puesto que las vueltas del cable parecen formar las paredes de un tubo.

Si se pasa una corriente a través de un solenoide, las curvas individuales del cable tienen corrientes que van en la misma dirección. El campo magnético de cada curva refuerza los de los otros, de modo que el solenoide es un imán más fuerte de lo que sería el mismo cable si fuera recto y con la misma corriente fluyendo por él. De hecho, el solenoide se parece muchísimo a un imán porque hay un polo norte en un extremo y un polo sur en el otro.

Las líneas circulares de fuerza, curvándose alrededor del cable, se combinan en familias de óvalos concéntricos que suben por el exterior del solenoide y bajan por su interior. Fuera del solenoide, estos óvalos, a medida que se van haciendo más y más grandes, se apartan más y más unos de otros, como hacen los rayos que salen del centro de una rueda. Dentro del solenoide, los óvalos se acercan cada vez más, al radiar hacia dentro. La intensidad magnética aumenta cuando las líneas de fuerza se acercan más y más, de modo que el interior del solenoide muestra propiedades magnéticas más fuertes que las exteriores.

Algunos materiales sólidos poseen la propiedad de poder aceptar un número insólito de líneas de fuerza magnética, y de éstos el mejor es el hierro, que puede concentrar una enormidad de líneas de fuerza. (Por esta razón el hierro es particularmente susceptible a la atracción magnética.)

Si los cables de un solenoide rodean una barra de hierro, las propiedades magnéticas del solenoide se intensificarán aún más. En 1823, el físico inglés William Sturgeon (1783-1850) recubrió un cable con laca (para aislarlo) y dio con él dieciocho vueltas a una barra de hierro para demostrarlo.

Entonces utilizó una barra de hierro doblada en forma de herradura, de un peso de 200 g., y enroscó el cable en ella. Pasó una corriente por el cable y la herradura se transformó en un imán que podía levantar 4,5 k de hierro... es decir veinte veces su propio peso. Cuando Sturgeon rompió el circuito y puso fin a la corriente, la herradura perdió al instante sus propiedades magnéticas y dejó caer el hierro que sostenía. Sturgeon había inventado el «electroimán»

En 1829, el físico americano Joseph Henry (1797-1878) se enteró de la existencia del electroimán de Sturgeon y pensó que él podía hacer algo mejor. Obviamente, cuantas más vueltas de cable se le daban a la barra de hierro más fuerte era el imán. Sin embargo, cuantas más vueltas se le daban al cable, más entraba éste en contacto consigo mismo. Por consiguiente, el cable debía aislarse muy bien con algo más que la laca, para que la corriente no fluyera a través de la masa sino que circulara pacientemente a lo largo de las vueltas del cable.

Henry decidió aislar el cable con seda, y para ello se sirvió de la enagua de seda de su mujer. (Me ha sido imposible encontrar los comentarios de su esposa cuando él le participó la buena nueva) Una vez hubo aislado el cable, lo enroscó miles de veces alrededor de la barra de hierro, y para 1831 tenía un electroimán de tamaño pequeño que podía levantar más de una tonelada de hierro cuando circulaba la corriente, y dejarla caer con gran estruendo cuando cesaba la misma.

No sólo podía transformarse la electricidad en magnetismo, sino que de este modo podían hacerse imanes bastante más fuertes que los de tipo corriente.

Pero, ¿podía invertirse el proceso y sacar electricidad del magnetismo?

Alguien especialmente interesado en ello fue Michael Faraday. Cuatro veces trató de sacar electricidad del magnetismo, y cuatro veces fracasó. En 1831 (el año en que Henry hizo su gran electroimán), Faraday preparó un quinto experimento como sigue: Tomó una argolla de hierro y en una parte de ella enroscó varias vueltas de cable. Este cable lo conectó a los polos de una batería e interrumpió el circuito con una llave que

rompía el circuito si se dejaba abierta, pero que lo completaba si se cerraba. Cerrando o abriendo la llave, Faraday podía abrir o cerrar la corriente que circulaba por las vueltas del cable, y de este modo magnetizar o desmagnetizar la barra de hierro envuelta en las vueltas de cable.

En la otra parte de la argolla, Faraday enroscó cable que no estaba conectado a una batería. Tenía la esperanza de producir una corriente que circulara aunque no hubiera conexión con una batería.

Pero, ¿cómo iba a poder decir si en este segundo cable enroscado pasaría o no una corriente eléctrica? No podemos percibir directamente una corriente eléctrica, y un cable con una corriente débil circulando por él tiene el mismo aspecto que un cable sin corriente.

Aquí Faraday utilizó una aplicación del experimento original de Oersted. En 1820, casi inmediatamente después del anuncio de Oersted, el físico alemán Johan S.C.

Schweigger (1779-1857) colocó una aguja imantada detrás de un cristal y frente a una escala semicircular. Si este instrumento se incorpora debidamente a un circuito eléctrico, cuando la corriente fluye, la aguja es proyectada de un lado o a otro (como la aguja de Oersted). Este instrumento se llama «galvanómetro», por Galvani, que mencioné en un capítulo anterior.

De modo que Faraday aplicó un galvanómetro al segundo cable, y ya estaba listo.

Si bajaba la llave o palanca de la primera parte de la argolla y hacía que la corriente circulara por ella, la argolla de hierro se transformaría en un imán. Esta argolla de hierro ahora magnetizada, pasaba también por debajo de las otras vueltas de cable (el que carecía de batería) y, entonces, Faraday pensaba que la argolla magnética daría paso a una corriente que fluiría por el segundo cable y sería registrada por el galvanómetro. En otras palabras, Faraday habría transformado electricidad en magnetismo en una parte de la argolla, y magnetismo en electricidad en la otra parte. Faraday cerró entonces la llave, inició la corriente y lo que ocurrió resultó inesperado. Al empezar la corriente, la aguja del galvanómetro saltó, así que la corriente circuló por el segundo cable como Faraday había esperado, pero sólo por un momento.

Aunque Faraday mantuvo la llave cerrada, la corriente no continuó. El galvanómetro volvió a cero, y allí se quedó. Sin embargo, cuando abrió la llave y la corriente del primer cable cesó, la aguja del galvanómetro saltó brevemente en dirección opuesta. En otras palabras, la corriente era inducida hacia el segundo cable en el momento en que se iniciaba la corriente del primer cable, y al momento cesaba. Si las condiciones no variaban, con la corriente eléctrica continuamente presente o continuamente ausente, no ocurría nada.

Faraday trató de buscar una explicación a eso. Cuando la corriente eléctrica se iniciaba en el primer cable y la argolla de hierro se transformaba en imán, nacían las líneas de fuerza magnética y se extendían ampliamente hacia fuera al máximo. Al hacerlo así, las líneas de fuerza cruzaban al segundo cable e iniciaban una corriente allí. Una vez las líneas de fuerza alcanzaban su total expansión, ya no se movían más. Ya no cruzaban al segundo cable y no había más corriente. Pero cuando la corriente cesaba y la argolla de hierro dejaba de ser un imán, las líneas de fuerza magnética se desplomaban, cruzaban el segundo cable al hacerlo y volvían a iniciar una corriente... en dirección opuesta.

Faraday llegó a la conclusión de que para convertir el magnetismo en electricidad, uno debe tener líneas de fuerza magnética cruzando el cable (o cruzar cualquier material que pueda conducir electricidad) o, a la inversa, tener un cable (u otro material conductor de electricidad) que cruce las líneas de fuerza magnética.

Para demostrarlo montó un solenoide a un galvanómetro y después metió un imán en su interior. Cuando metió el imán en el interior, sus líneas de fuerza pasaron a través de los cables, y la aguja del galvanómetro se movió en la otra dirección. Siempre que mantenía el imán quieto en un punto determinado, dentro del solenoide, no había

corriente.

Hay una anécdota de Faraday expuesta a través de esta demostración en una de sus conferencias públicas; al terminar una mujer le preguntó:

—Pero, señor Faraday, ¿para qué sirve esto?

Y Faraday le contestó:

—Señora, ¿para qué sirve un recién nacido?

Según otra versión, fue William E. Gladstone, a la sazón un joven miembro del Parlamento, que con el tiempo iba a ser cuatro veces primer ministro, quien le hizo la pregunta.

Se dice que Faraday le contestó:

—Señor, dentro de veinte años pagará impuestos.

Me cuesta creer esta historia porque la comparación con un recién nacido también se cuenta de Benjamin Franklin al elevarse el primer globo, pero incluso si fuera verdad, me molestan esas respuestas. ¿Por qué debe ser «útil» una interesante demostración científica? Basta con que aumente nuestra comprensión del universo, sea o no «útil». En la época en que Faraday buscaba una respuesta a todo esto no se había establecido aún la ley de conservación de la energía, como se considera ahora la inquebrantable regla fundamental.

Recapitando y teniendo en mente esta ley, podríamos preguntarnos de dónde sale la corriente eléctrica cuando se introduce un imán en un solenoide. ¿Acaso la energía magnética va convirtiéndose poco a poco en energía eléctrica? ¿Con cada oleada de corriente eléctrica se debilita acaso ligeramente el imán hasta que al fin no es más que un pedazo de hierro completamente desimantado, con toda su energía magnética hecha electricidad?

La respuesta es: ¡No!

El imán conserva toda su fuerza. No importa ni la frecuencia ni lo continuamente que se introduzca el imán en el solenoide y se retire, no se debilita lo más mínimo. En teoría puede producir infinidad de oleadas de corriente sin sufrir la menor pérdida de fuerza.

Pero, les parecerá imposible conseguir algo para nada, ¿verdad? ¡En absoluto! Y no vamos a conseguir algo para nada.

Las líneas de fuerza magnética se resisten a ser impulsadas hacia conductores eléctricos, y los conductores eléctricos se resisten a ser impulsados a las líneas de fuerza. Si empujáramos una barra de hierro ordinaria en un solenoide, y la volviéramos a sacar, gastaríamos cierta energía para superar la inercia de la barra. Pero si metiéramos una barra de hierro imantada en un solenoide y la volviéramos a sacar, habríamos tenido que gastar una cantidad adicional de energía porque estaríamos forzando las líneas a través de los cables. Lo mismo ocurriría si pusiéramos el solenoide sobre un pedazo de hierro imantado y luego volviéramos a levantarlo. Una vez más, habría un gasto adicional de energía, comparado con empujarlo sobre algo no imantado y volviendo a levantarlo, porque se necesitaría energía adicional para forzar el solenoide a través de las líneas.

Y es precisamente esta energía adicional la que es convertida en energía eléctrica. Faraday, trabajó a continuación para idear algún modo de conductor que cortara continuamente a través de líneas de fuerza magnética, de forma que la corriente eléctrica iniciada fluyera incesantemente en lugar de hacerlo a oleadas momentáneas. Dos meses después de haber realizado los experimentos que demostraban que una corriente eléctrica podía tener el magnetismo como origen, Faraday preparó un delgado disco de cobre que podía girar sobre un eje. A medida que giraba, su borde exterior pasaba entre los polos de un fuerte imán. Al pasar entre los polos, cortaba continuamente las líneas de fuerza magnética de modo que una corriente eléctrica circulaba continuamente en el disco de cobre giratorio.

La corriente iba del borde del disco de cobre, donde el movimiento giratorio y por lo

tanto la presión eléctrica era más alta, al eje, donde el movimiento era esencialmente cero. Si se enganchaba un circuito que hiciera contacto móvil con el borde del disco giratorio por un extremo y con el eje por el otro, pasaría una corriente eléctrica por el circuito mientras el disco de cobre girara.

Corría aún el año 1831, y Faraday había inventado el generador eléctrico o «dinamo» (de la palabra griega que significa «energía» o «fuerza»). Naturalmente esta primera dinamo no era muy práctica, pero fue mejorando a trancas y barrancas con el paso de las décadas hasta que corrientes continuas de electricidad alimentaron cables, cruzaron el país, y transportaron rutinariamente cualquier cantidad razonable a todas las fábricas, oficinas y hogares. Las pequeñas salidas eléctricas en las paredes fueron rasgos omnipresentes en la vida de los Estados Unidos y de otros países industrializados, y todos nosotros, cuando queremos que un aparato eléctrico funcione, lo enchufamos simplemente en el lugar apropiado de la pared y nos olvidamos de él. El truco consiste en mantener el disco de cobre (o sus ulteriores equivalentes, llamados ahora «armaduras») girando, porque se precisa considerable energía para impulsarlo a través de las líneas magnéticas.

Podemos imaginar semejantes discos provistos de manivelas, y grupos sudorosos de esclavos junto a las manivelas, animados por los latigazos, pero... no, gracias.

Afortunadamente, para cuando los generadores eléctricos vieron la luz, las máquinas de vapor podían encargarse de las manivelas. De este modo la energía producida quemando combustible podía mover los generadores y producir electricidad.

Resulta mucho más barato quemar combustible que quemar cinc u otros metales, así que la energía por generador puede obtenerse en cantidades que exceden en mucho la que podría producirse por baterías. De ahí que cuando se agotan las baterías de almacenamiento pueden ser ventajosamente recargadas, no mediante otras baterías que tendrían un efecto parecido al de tratar de alzarse uno mismo colocándose las manos bajo los propios sobacos, sino por electricidad de generador. Por esta misma razón las baterías de almacenamiento de los automóviles pueden recargarse mientras se conduce, quemando gasolina en un pequeño generador.

Por supuesto, sólo se puede transformar, con mucho, un 40 por ciento de combustible en electricidad perdiéndose el resto como calor (gracias a la buena e irritante segunda ley de termodinámica). Si se pudiera conseguir una pila eléctrica en la que pudiera hacerse reaccionar el combustible con el oxígeno, poco a poco, casi el 100 por cien de la energía de la oxidación podría transformarse en electricidad..., pero nadie hasta ahora ha inventado una «pila de combustible» práctica, de este tipo. Y si alguien lo hiciera, es improbable que pudiera construirse de tal tamaño y en tal cantidad que pudiera competir con el generador de electricidad.

Además, la armadura no tiene que ser transformada por la acción de una máquina de vapor que quema combustible para lograr energía. Puede transformarla el agua que cae o el viento (el mismo principio que las norias y molinos del mundo preindustrial). Las cataratas del Niágara, por ejemplo, son una gran fuente de electricidad que no requiere combustible para quemar, ni produce gran pérdida de calor, ni polución. En realidad cualquier fuente de energía -mareas, olas, manantiales de agua caliente, diferencias de temperatura, energía nuclear, etcétera- puede, en principio, hacer funcionar un generador y producir electricidad. El truco consiste en encontrar el modo práctico de conseguirlo en gran escala.

Teniendo en cuenta la baratura y la enorme cantidad de electricidad de generador disponible, uno piensa que las baterías desaparecerán del todo. ¿Quién necesita la insignificante cantidad de electricidad cara que producen, cuando se puede conseguir toda la que se quiere por menos dinero por watio, simplemente enchufando en la pared?

La respuesta se halla en la frase «enchufando en la pared». No siempre se quiere estar atado a la pared por un trozo de cable. Puede quererse algo transportable, una radio,

un reloj de pulsera, un proyector, una linterna, o un juguete, y para eso se necesitan baterías. Si lo único que desea es una corriente débil para tareas limitadas, para un objeto que desea que sea autónomo y no enchufable, lo que hay que usar es una batería.

La electricidad puede realizar algunas de sus tareas con piezas fijas. El calor generado por una corriente de electricidad a través de una resistencia hace todo lo que usted necesita para sus luces, tostadoras, hornos y demás.

No obstante, en general se quiere electricidad para conseguir movimiento. Si puede encontrar el medio de que una corriente eléctrica haga girar una rueda, el giro de dicha rueda puede a su vez producir otros tipos de movimiento.

Esto debería ser posible. En este universo las cosas a veces pueden invertirse. Si un objeto giratorio, tal como una armadura, puede generar una corriente eléctrica, es posible que una corriente eléctrica haga, a la inversa, que un objeto gire.

Casi tan pronto como Faraday inventó el generador eléctrico, Joseph Henry invirtió el proceso e inventó el motor eléctrico. Entre los dos iniciaron la era de la electricidad. Las baterías y el generador de electricidad continuarán siendo útiles, e incluso indispensables, a través del previsible futuro, y no obstante la fuente de energía en décadas que probablemente traerán consigo cada vez más un modo totalmente diferente de formar electricidad, será una que no precise ni de reacciones químicas ni de líneas de fuerza magnética.

Me ocuparé de ello en el próximo capítulo.

\* El generador de Faraday producía «corriente directa», fluyendo continuamente en una dirección. Los generadores modernos suelen producir «corriente alterna», que fluye en una dirección y luego en otra, cambiando de dirección sesenta veces por segundo o así..., pero eso es un tópico para otro ensayo, en otra ocasión.

---

## V

# ¡LEVÁNTATE, HERMOSO SOL!

---

Recientemente han aparecido numerosos libros de listas de un tipo u otro. Y si suficiente gente hace suficientes listas de suficientes categorías, resulta inevitable que un objeto determinado se encuentre eventualmente en una lista u otra. ¡Incluso yo! Naturalmente, no me sorprendería estar en la lista de alguien entre sus diez escritores favoritos de ciencia ficción. Pero para lo que no estaba preparado era para encontrarme en la lista de los diez hombre más sexys de América. Naturalmente ya sé que soy uno de esos diez, pero no creía que nadie más que yo hubiera descubierto el hecho.

Sin embargo no fue un triunfo limpio para mí. Me incluyeron en la lista a condición de que me desprendiera de mis «absurdas patillas». ¡Vaya suerte!

En primer lugar, me gustan, y en segundo lugar son de una importancia sin par como recurso de identificación, y esto es importante para cualquiera que sea famoso. Volví a darme cuenta de ello hace unos días en Nueva York, mientras almorzaba en uno de los más selectos establecimientos del ramo.

En el curso del almuerzo, una joven muy atractiva se acercó a mí, tímidamente, y me pidió un autógrafo. La complací con mi característica suavidad, y mientras firmaba le pregunté:

—¿Cómo supo que era yo?

—Porque es igual que usted -respondió.

Se refería a mis patillas claro, que son inconfundibles ya que poca gente, excepto yo, poseen la firme valentía de que se les vea en público con semejante y frondoso juego de patillas.

Pero identificar a alguien por algo que él o ella tienen, o por el parecido, puede conducir a equivocaciones, como muchos han experimentado. Después de tres capítulos sucesivos sobre los diferentes modos de producir electricidad, empecé el cuarto con dos de estos errores debido al aspecto.

En 1740, fueron descubiertas minas de oro en lo que entonces era Hungría oriental y hoy es Rumania noroccidental. La habitual avidez de los buscadores descubrió más filones de oro en otras partes de Hungría, pero a veces la cantidad de oro obtenida de tales filones era decepcionantemente pequeña. Los mineralogistas húngaros se pusieron a trabajar para encontrar lo que iba mal.

Uno de ellos, Anton von Rupprecht, analizó el mineral de una mina de oro en 1782 y encontró que una impureza no áurea era la causante de que no se obtuviera oro. Estudiando dicha impureza, Von Rupprecht encontró que tenía ciertas propiedades parecidas a las del antimonio, un elemento muy conocido por los químicos de la época. A juzgar por su aspecto, concluyó que lo que tenía era antimonio.

En 1784, otro mineralogista húngaro, Franz Joseph Muller (1740-1825), estudió el mineral de Von Rupprecht y descubrió que la impureza del metal no era antimonio porque carecía de alguna de las propiedades de aquel metal. Empezó a preguntarse si lo que tenía no sería un nuevo elemento, pero no se atrevió a comprometerse. En 1796, mandó muestras al químico alemán Martin Heinrich Klaproth (1743-1817), una autoridad en la materia, contándole sus sospechas de que tenía un nuevo elemento y pidiéndole que comprobara el asunto.

Klaproth hizo todas las pruebas necesarias y, en 1798, pudo informarle de que, en efecto, era un nuevo elemento. Meticulosamente, como era debido, cedió a Muller (ni a Von Rupprecht, ni a sí mismo) todo el mérito del descubrimiento y le proporcionó un nombre. Lo llamó «telurio», derivado de la palabra latina para «tierra» (en mi opinión

un nombre poco imaginativo).

El telurio es un elemento muy raro, menos de la mitad de corriente que el oro en la corteza terrestre. No obstante, está comúnmente asociado al mineral de oro, y como hay pocas cosas tan asiduamente buscadas como el oro, el telurio se encuentra con mucha más frecuencia de lo que cabría esperar dada su rareza.

El telurio es (como se supo ya) uno de los elementos de la familia de los sulfuros, y el químico sueco Jans Jakob Berzelius (1779-1848) no se sorprendió cuando, en 1817, encontró telurio en el ácido sulfúrico que se preparaba en determinada fábrica.

Encontró por lo menos una impureza que parecía telurio, así que dio por sentado que aquello era lo que era.

Pero Berzelius no era un hombre que se engañara por mucho tiempo. Trabajando con el supuesto telurio, descubrió que alguna de sus propiedades no era como las del telurio. En febrero de 1818, se dio cuenta de que tenía otro nuevo elemento entre las manos, uno muy parecido al telurio. Como el telurio había sido nombrado por la tierra, él bautizó al nuevo elemento por la luna, y como Selene era la diosa griega de la luna, lo llamó «selenio».

En la tabla periódica, el selenio se encuentra entre el sulfuro y el telurio. El selenio no es exactamente un elemento corriente, pero lo es más que el telurio o el oro. En realidad, el selenio es tan corriente como la plata.

El selenio y el telurio no fueron elementos especialmente importantes durante casi un siglo después de su descubrimiento. Pero en 1873 tuvo lugar un descubrimiento peculiar y completamente inesperado. Willoughby Smith (del que por otra parte no sé más) encontró que el selenio conduciría una Corriente eléctrica con mayor facilidad cuando está expuesto a la luz que cuando está a oscuras. Éste fue el primer descubrimiento sobre lo que eventualmente se llamó «el efecto fotoeléctrico», es decir, el efecto de la luz sobre un fenómeno eléctrico.

Este comportamiento del selenio hizo posible desarrollar el llamado ojo eléctrico.

Imaginen un pequeño recipiente, vacío, de vidrio conteniendo una superficie cubierta de selenio y que es parte de un circuito eléctrico. Un rayo de luz brilla sobre el recipiente de modo que el selenio es un conductor. Una corriente eléctrica atraviesa totalmente el selenio y sirve, digamos, para mantener una puerta cerrada, una puerta que normalmente se abriría por algún medio.

El rayo de luz se extiende sobre un camino por el que se acerca la gente. Cuando una persona cruza el rayo de luz, el recipiente de vidrio queda momentáneamente a oscuras. El selenio ya no conduce la corriente y la puerta se abre. Parece sacado de Las mil y una noches. Ni siquiera hay que decir «¡Abrete, Sésamo!»

Pero, ¿por qué afectará la luz la conductibilidad eléctrica?

¿Y por qué no? La luz y la electricidad son dos formas de energía eléctrica y en teoría, cualquier forma de energía puede ser transformada en otra (aunque no necesariamente por completo).

De este modo, la electricidad puede producir luz. El destello del rayo durante una tormenta es el resultado de una descarga eléctrica, y cuando se obliga a la electricidad a cruzar un vacío de aire, se produce una chispa brillante. En 1879, Thomas Alva Edison, en Estados Unidos, y Joseph Wilson Swan (1828-1914), en Gran Bretaña, inventaron la luz incandescente, que todavía se usa hoy en día, y que produce luz por la electricidad en grandes cantidades.

Sin embargo, incluso en tiempos de Willoughby ya era fácil ver que una corriente eléctrica podía producir luz. Lo que no era tan fácil era ver cómo la luz podía producir una corriente eléctrica.

La respuesta empezó a darse en 1887 cuando el físico alemán Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) experimentó con corrientes eléctricas oscilantes que producían chispas en un hueco en el aire (y así descubrió las radioondas). Hertz comprobó que las chispas se producían más fácilmente cuando la luz caía sobre los puntos de metal de donde

salían las chispas. Como en el caso del selenio, el paso de la corriente se veía facilitado por la luz, pero ahora parecía tratarse de un fenómeno general que no estaba confinado a un solo elemento.

En 1888, otro físico alemán, Wilhelm L. F. Hallwachs (1859-1922), mostró que una placa de metal negativamente cargada tendía a perder la carga cuando se la exponía a la luz ultravioleta. Una placa de metal positivamente cargada no estaba afectada por la luz ultravioleta.

¿Por qué dos tipos de carga eléctrica se comportan de modo diferente a este respecto? En 1888, los físicos no supieron decirlo.

Pero en esta época los físicos estaban estudiando el efecto producido cuando la electricidad se forzaba a pasar, no simplemente a través de un hueco en el aire sino de un vacío. Cuando esto ocurría, se evidenciaba que algo irradiaba desde el cátodo (es decir, desde la porción del circuito cargada negativamente). Se denominaron < Estas discusiones no alcanzaron una solución hasta 1897, cuando el físico inglés Joseph John Thomson (1856-1940) expuso sus observaciones que demostraban con toda claridad que los rayos catódicos eran un chorro de pequeñas partículas que llevaba cada una de ellas una carga eléctrica negativa. Además, eran realmente pequeñas. Thomson demostró que eran mucho más pequeñas que los átomos. Una de estas partículas tiene sólo 1/1,837 de la masa del átomo más corriente de hidrógeno, que es el que tiene menos masa de los que existen.

Las partículas del rayo catódico fueron llamadas «electrones», nombre que habla sugerido seis años antes el físico irlandés George Johnstone Stoney (1826-1911) para la carga eléctrica mínima que pueda existir, suponiendo que tal mínimo exista. Tal como resultó, la carga en un electrón es dicho mínimo en las condiciones ordinarias de laboratorio. (Los quarks se supone que tienen cargas aún más pequeñas, unos dos tercios de la de un electrón, y algunos sólo un tercio, pero los quarks aún no se han detectado aislados.)

Mientras los físicos pensaban en electrones sólo en relación con los rayos catódicos, parecían ser únicamente pequeñas partes fundamentales de la corriente eléctrica; los «átomos de la electricidad», por así decirlo. No obstante, aquí fue donde el efecto fotoeléctrico empezó a demostrar su importancia en el desarrollo de la gran revolución en física, que tuvo lugar a comienzos de nuestro siglo.

El físico alemán Philipp E. A. Lenard (1862-1947) empezó a estudiar intensamente, a partir de 1902, el efecto fotoeléctrico. Demostró que la luz ultravioleta, al caer sobre diversos metales, provocaba la expulsión de electrones de sus superficies. Era esta pérdida de electrones lo que arrastraba la carga negativa. Si en principio los metales estaban descargados, los electrones de carga negativa seguían siendo expulsados, dejando tras ellos una carga positiva.

El hecho de que los electrones pudieran ser expulsados de metales sin carga, demostraba que no eran simples fragmentos de electricidad, sino componentes de átomos. Por lo menos ésta fue la forma más sencilla de justificar el descubrimiento de Lenard, y los sucesivos experimentos en los años siguientes confirmaron esta idea. Puesto que los electrones eran expulsados por el efecto fotoeléctrico de una gran variedad de elementos, y puesto que (lo más exactamente que se podía decir) los electrones compartían las mismas propiedades, fuera cual fuese el elemento de origen, parecía deducirse que los electrones eran componentes de todos los átomos. La diferencia entre átomos de diferentes elementos dependería, por lo menos en parte, del número de electrones que cada uno contenía, o de su disposición, o de ambas cosas, pero no de la naturaleza del propio electrón.

Este razonamiento puso a los físicos sobre la pista de la estructura atómica y, en 1930, el átomo asumió la imagen familiar que desde entonces ha tenido siempre. Consiste en un pequeño núcleo central compuesto por una masa relativa de dos tipos de partículas: protones y neutrones; los primeros, portadores de una carga eléctrica

positiva igual en tamaño a la carga negativa de los electrones; los segundos, sin carga. Rodeando al núcleo hay cierto número de átomos sumamente ligeros.

Puesto que los electrones de carga negativa están en los bordes externos del átomo y son muy ligeros, y por tanto fáciles de inducirles al movimiento, en tanto que los protones de carga positiva están en el centro del átomo y son además muy pesados y por consiguiente inmóviles, sólo el movimiento de las partículas negativas es lo que produce la corriente eléctrica. Hay por tanto radiación desde el electrodo negativo, o cátodo, y no desde el electrodo positivo, o ánodo. Por esta razón la luz ultravioleta causa sólo expulsión de electrones, provocando una pérdida de carga negativa, dejando finalmente atrás una carga positiva.

La mayoría de nosotros tiene la imagen de que los neutrones, protones y electrones son como pequeñas esferas. Actualmente todos son descritos en términos de la teoría cuántica, que nos proporciona una buena demostración matemática, pero ninguna imagen pictórica. No se han sacado analogías de la experiencia común que nos ayudarían a comprender lo que estas partículas subatómicas <<PARECERÍAN>>.

El desarrollo de la teoría cuántica también está relacionado con el efecto fotoeléctrico. Lenard observó que cuando la luz con una determinada longitud de onda expulsaba electrones, todos estos electrones salían a la misma velocidad. Si la luz se hacía más intensa, más electrones eran expulsados, pero a no mayor velocidad. Si se utilizaba luz de menor longitud de onda, los electrones eran expulsados a mayor velocidad, y cuanto más corta fuera la longitud de onda, mayor la velocidad. Una luz tenue de corta longitud de onda, expulsaría pocos electrones, pero estos pocos lo serían a gran velocidad. Una luz intensa de mayor longitud de onda expulsaría muchos electrones, pero a más baja velocidad.

Si la luz tenía una longitud de onda suficientemente larga («longitud de onda de umbral»), la velocidad de expulsión bajaría a cero, y no habría expulsión de electrones por intensa que fuera la luz.

El valor de esta longitud de onda variaba de elemento a elemento.

(Por su trabajo en el efecto fotoeléctrico, Lenard recibió en 1905 el Premio Nobel de física. El trauma producido por la derrota alemana en la Primera Guerra Mundial amargó a Lenard, que se hizo famoso por ser uno de los pocos científicos importantes que se volvió nazi convencido en los primeros días de aquel movimiento, y que siguió siéndolo durante toda su vida. Pese a ello tal vez fuera involuntariamente útil a la Humanidad, porque denunció la física teórica moderna como «judía» y consecuentemente errónea. Como gozaba de la confianza de Hitler, tal vez ayudó a persuadirle de que no prestara demasiada ayuda a la investigación nuclear, evitando así que la Alemania nazi consiguiera la bomba nuclear a tiempo para permitirle ganar la guerra.)

Los físicos clásicos no se explicaban la conexión entre la longitud de onda y el efecto fotoeléctrico. Había algo más que buscar, y ese algo más existía.

En 1900, el físico alemán Max K. E. L., Planck (1858-1947) había trabajado la teoría cuántica para explicar el modo en que las longitudes de onda estaban distribuidas en la radiación de un cuerpo caliente. Ninguna ecuación apropiada basada en la noción de energía como sustancia continua daba resultado, así que Planck supuso que aquella energía venía en discretos haces que él llamó «cuanta» (¿del latín «cuanto»?) La energía no podía abandonar el cuerpo caliente en cantidades más pequeñas que los cuanta, pero el tamaño de los cuanta variaba según la longitud de onda. Cuando las longitudes de onda disminuían, el tamaño de los Cuanta se volvía proporcionalmente mayor.

Las ecuaciones basadas en la teoría cuántica describen perfectamente la distribución de la longitud de onda; durante unos años, los físicos (incluyendo al propio Planck) lo consideraban un mero truco matemático dispuesto para resolver este único problema, y pensaron realmente que los cuanta existían.

Pero en 1905, Albert Einstein (1879-1955) demostró que la teoría cuántica explicaba todos los puzzles involucrados en el efecto fotoeléctrico. Un cuanto de energía eliminaba un electrón. Si la longitud de onda de la luz era demasiado larga, el cuanto era demasiado pequeño para romper el dominio del átomo sobre sus electrones y no había expulsión. A medida que la longitud de onda se hacía más corta, la expulsión se realizaría con más energía y el electrón se apartaría a mayor velocidad. Como los átomos de diferentes elementos retienen sus electrones con diferentes cantidades de energía, la longitud de onda de umbral varía, naturalmente, de un elemento a otro. Ésta fue la primera vez que la teoría cuántica explicó por completo un fenómeno para el que no había sido prevista. Prestaba una gran credibilidad a la teoría, de modo que Einstein merece casi igual crédito que Planck por establecerla. Cuando en 1921 Einstein recibió el Premio Nobel de física, fue por su trabajo en el efecto fotoeléctrico, y no por su teoría de la relatividad.

Una vez comprendido que la luz puede arrancar electrones de los átomos, el comportamiento del selenio pierde su misterio. Una vez que la luz ha dejado en libertad a los electrones, éstos pueden moverse con facilidad haciendo posible una mayor corriente eléctrica.

En 1940, los científicos de los «Laboratorios Bell», especialmente el físico angloamericano William Bradford Shockley (1910- ) estaban trabajando en sustancias que pudieran ser conductoras de electricidad, pero sólo con dificultad. No eran tan buenas conductoras como los metales, pero no eran tan reacias como el sulfuro, la goma o el vidrio, pongamos por caso. Se las llamó por tanto «semiconductoras». Algunas semiconductoras podían hacerse más conductoras si la sustancia de que estaban compuestas se trataba con pequeñas cantidades de elementos cuyos átomos contenían un átomo de más para encajar en la rejilla de cristal de la semiconductor; o cuyos átomos contenían un átomo menos. Cuando una sustancia semiconductor contiene ocasionalmente un electrón extra que carece de lugar en la rejilla, éste tiende a alejarse, aumentando la facilidad para ser atravesada por una corriente. Como los electrones de más añaden una carga negativa a la sustancia semiconductor, esta última es una «tipo-n».

Cuando a una sustancia semiconductor le falta ocasionalmente un electrón, hay un fallo en la rejilla, y el fallo tiende a alejarse en dirección opuesta a la que iría el electrón. Actúa como una partícula con carga positiva, y la propiedad de la sustancia semiconductor es intensificada de nuevo. Tal sustancia semiconductor es «tipo-p». Shockley y los demás descubrieron que combinando de distinta manera semiconductores tipo-n y tipo-p se podían construir aparatos que hicieran la función de diversas lámparas de radio. Estos nuevos aparatos no precisan el vacío, como las lámparas de radio, así que son «aparatos de estado sólido». Cuando existe el vacío requieren mucho espacio para trabajar debidamente, pero los de estado sólido no necesitan espacio y pueden ser muy pequeños. Estos últimos tampoco requieren vidrio, así que son sólidos y a prueba de escape; trabajan a baja temperatura por lo que precisan muy poca energía y no necesitan período de precalentamiento.

En 1948, se desarrolló el «transistor» y se inició una nueva era de aparatos electrónicos.

Cuando se combina un semiconductor tipo-n y otro tipo-p, se produce entre ellos una «unión n-p». Hay siempre una pequeña carga negativa en la parte del electrón rico en -n, y una pequeña carga positiva en la parte del electrón pobre en -p. Si la parte -n del aparato se conecta a la parte -p mediante un cable conductor, los electrones pasan del lado-n, a través del cable, al lado-p. Una pequeña corriente circula durante un momento hasta que los electrones del lado-n llenan suficientes vacíos en el lado-p para detener la corriente.

La corriente es demasiado pequeña y corta para que resulte útil, pero en 1954 los científicos de «Bell Telephone» descubrieron accidentalmente que la unión de silicio p-

no podía producir una respetable corriente de tamaño regular una vez expuesta a la luz. Era, de nuevo, el descubrimiento del selenio ochenta años atrás.

La razón de que esto ocurra es que la luz saca a un electrón de un átomo de silicio y deja un vacío detrás. Si el aparato está conectado a un circuito eléctrico, el electrón se mueve en dirección a los electrones sueltos y de ahí al cable. Entretanto, el vacío se mueve en dirección opuesta hasta que se encuentra con un electrón que entra y lo llena.

Esta corriente no para nunca mientras brilla la luz, porque incontables electrones y vacíos nuevos se forman continuamente por la luz, por lo que siempre hay nuevos electrones que escapan por un extremo del aparato y siempre nuevos vacíos que se llenan en el otro.

Como tal dispositivo produce electricidad, es también una célula eléctrica como lo son los compuestos químicos que he descrito en los dos capítulos precedentes. Como la electricidad se forma por la acción de la luz, es llamada a veces «célula fotoeléctrica».

La luz actúa para mantener un lado de la pila continuamente rico en electrones y el otro continuamente pobre en ellos. Esta diferencia en densidad de electrones produce una «fuerza electro-motriz» que tiende a hacer que los electrones se muevan de tal manera que equilibren tal diferencia. La fuerza electromotriz se mide en voltios, por lo que dicha pila recibe el nombre de «pila fotovoltaica». Cuando la luz del sol realiza el trabajo de separar electrones de los átomos, el dispositivo se llama «pila solar».

Las pilas solares convierten directamente la energía de la luz del sol en corriente eléctrica, y estas corrientes son las formas de energía más útiles y versátiles del mundo actual. Inmediatamente surge la visión de una electricidad virtualmente gratis proporcionada por un sol que brilla interminablemente..., o por lo menos por varios billones de años. Pero hay inconvenientes:

1. La luz solar es copiosa pero diluida. Es decir, todo el mundo recibe más energía del sol de la que puede utilizar en forma de electricidad, pero un metro cuadrado de la superficie de la tierra no recibe mucha. Esto significa que tendríamos que extender pilas sobre una gran área para conseguir las importantes cantidades de electricidad que necesitaríamos.

2. Las pilas solares no son muy eficientes. Las primeras pilas fotoeléctricas, las que contenían selenio, convertían menos del 1 por ciento de la energía de la luz en electricidad. Las últimas pilas solares, hechas habitualmente de silicio, podían convertir un 4 por ciento de luz en electricidad, aunque ahora es posible llegar hasta un 20 por ciento. Habría que extender hileras de pilas en un área de cinco a veinticinco veces la extensión que necesitarían si tuvieran un 100 por cien de eficacia. Esto quiere decir que se necesitarían muchos miles de kilómetros cuadrados de pilas solares para proporcionar al mundo la electricidad que necesita.

3. Aunque la luz solar es gratuita, las pilas solares no lo son. El silicio es un elemento muy abundante, el segundo más corriente sobre la corteza terrestre. No obstante, no se encuentra como elemento sino en combinaciones con otros elementos. Separar el silicio de dichas combinaciones es difícil, y por lo tanto caro. Además debe purificarse muchísimo y añadirse luego las cantidades apropiadas de impurezas de determinado tipo. Como consecuencia, las pilas solares son asombrosamente caras dado su tamaño. Si imaginan miles de kilómetros cuadrados de ellas, en hilera tras hilera, y consideran el gasto de mantenimiento, la colocación y la sustitución de las defectuosas, los daños causados por la fauna, por el tiempo, accidentes, vandalismo intencionado, resultaría la energía «libre» más cara de la que jamás se haya oído hablar.

4. Aunque la luz del sol es gratis, no siempre está disponible. Hay nubes, y nieblas, y polvo en abundancia. En las áreas del mundo más superpobladas, el tiempo es lo bastante inestable para que uno no pueda estar seguro del aprovisionamiento de luz solar, especialmente en invierno cuando se necesitan enormes cantidades de energía para luz y calor. Incluso conectando con áreas donde la luz solar es constante y su

utilización prácticamente inexistente, como en diversas áreas desérticas, sigue siendo de noche la mitad del tiempo. Y lo que es más, incluso el más puro aire del desierto dispersa la luz y la vuelve ineficaz para su utilización, y este efecto aumenta cuanto más lejos está el sol del cenit. En realidad, gran parte de la energía solar fuera de la región de luz visible es absorbida por la propia atmósfera.

A fin de cuentas puede que resulte más eficaz si continuamos haciendo nuestras pilas solares más baratas y más eficaces, y luego lo alzamos todo al espacio. De hecho las pilas solares en el espacio ya han resultado más útiles. Se han utilizado para impulsar cierto número de satélites allí donde la cantidad de energía necesaria es baja y donde es difícil encontrar otras fuentes. Sin embargo, estoy hablando ahora de producción a gran escala.

Podríamos montar una estación generadora de energía solar, con kilómetros cuadrados de hileras de pilas solares, en una órbita geoestacionaria de forma que se mantuviera sobre un punto determinado del ecuador de la tierra, más o menos permanentemente. No habría atmósfera alrededor de la estación que interfiriera, diseminara ni absorbiera la luz, por lo que estaría disponible toda la radiación. No habría prácticamente noche, puesto que la estación entraría en la sombra de la tierra sólo por breves períodos, más o menos en la época de los equinoccios. No habría formas de vida que se interpusieran y que hubiera que eliminar, y el vandalismo casual sería improbable. (Existe el peligro de posibles deterioros por meteoritos y micrometeoritos, claro.)

Una serie de pilas solares en el espacio podría producir sesenta veces más electricidad que la misma cantidad de pilas solares en la superficie de la tierra.

Naturalmente, la electricidad en el espacio no nos serviría de nada si se quedara allí, pero podría transformarse en microondas y proyectarlas a la tierra en forma más concentrada que la luz solar. Entonces podrían recogerse en series relativamente pequeñas de pilas receptoras que podrían transformarlas de nuevo en electricidad. No cabe ser muy optimista respecto a que el proyecto de producción de energía solar en el espacio pueda llevarse fácilmente a cabo. Seguramente llevaría mucho tiempo, trabajo y dinero, por no mencionar la enormidad de riesgos personales para los que trabajaran en él.

De todos modos, el gasto sería sólo una pequeña fracción de lo que las naciones del mundo invierten en armamento de guerra, que no se atreven a utilizar; y el riesgo para la vida humana es una fracción aún más pequeña en comparación con lo que las naciones del mundo parecen dispuestas a arriesgar alegremente para satisfacer sus odios y recelos.

Los posibles beneficios son incalculables, ya que la energía solar limpia y barata, reemplaza la derivada de la oxidación química, lenta y onerosa, de los metales y del sucio encendido de combustible fósil.

Levántate, hermoso sol...

---

# Segunda Parte BIOQUIMICA

## VI ¡VENENO A LA LARGA!

---

Ayer me senté a escribir mi ensayo número 321 para Fantasía y Ciencia Ficción. Lo titulé «¿A qué altura está el cielo?» y escribí sin tropiezos. Me encantó la facilidad con que distribuí su esqueleto. Se escribió prácticamente solo y apenas tuve que comprobar nada. Iba silbando mientras trabajaba.

Y entonces, cuando llegué a la última página y me lancé a mis párrafos culminantes, pensé: «¿Por qué, de pronto, esto me parece familiar? ¿Ya había escrito antes un ensayo como éste?»

Resulta que soy ampliamente conocido como una persona tímida y reservada, de una extraordinaria modestia, pero si de algo me siento un poquito orgulloso es de mi fenomenal memoria. Así que apreté el botón de mis recuerdos, y en mi pantalla interna apareció un ensayo titulado <

Inmediatamente rompí lo que me había llevado un día entero escribir y me sumí en un malhumorado descontento. ¿Qué otra cosa podía escribir?

Durante un buen rato sólo se me ocurrieron temas que ya había tocado. La verdad es que estaba llegando a la horrenda conclusión de que ya había escrito todo cuanto se podía escribir cuando mi querida esposa, Janet, entró en mi estudio con expresión preocupada.

Cielos, me dije, esta dulce criatura está tan compenetrada conmigo que ha podido sentir, telepáticamente, mi disgusto, desde la otra punta de la vivienda.

—¿Qué quieres? -le gruñí amorosamente.

Me alargó la mano:

—Te has olvidado de tomar las vitaminas.

En general oigo este tipo de cosas con un rugido amable y un pequeño comentario afectuosamente tajante. Pero esta vez, le dije sonriendo:

—Muchas gracias, querida -y tragué las estúpidas píldoras con una enorme sonrisa.

Verán, se me ocurrió que nunca había escrito un ensayo sobre vitaminas.

Me figuro que los seres humanos han sufrido siempre de deficiencia vitamínica, pero esto solía ocurrir cuando estaban desnutridos o confinados en una dieta monótona (o ambas cosas), como por ejemplo si estaban en la cárcel o en una ciudad asediada, o eran totalmente pobres.

En general, se consideraba que habían muerto de hambre o, de una de las diferentes enfermedades que afligían a los seres humanos. Estas muertes se soportaban estoicamente, sobre todo si el muerto o el moribundo era un esclavo, o un bribón, patán, bellaco, o miembro de las clases bajas.

Pero entonces empezó a cebarse en los navegantes un nuevo peligro...

La dieta a bordo era generalmente monótona y mala. En aquellos tiempos no había refrigeración, así que era inútil almacenar a bordo cualquier cosa que se pudriera o floreciera fácilmente. En consecuencia, la alimentación estándar para los marinos embarcados era salazón de cerdo y galletas, que duraban prácticamente toda la vida, incluso a temperatura normal, por la buena y suficiente razón de que ninguna bacteria que se respetara se atrevería a tocarlo.

Estos productos proporcionaban calorías a los navegantes, y poca cosa más, pero los

viajes por mar en la antigüedad y en la Edad Media consistían sobre todo en costear y parar frecuentemente. Durante estas paradas los marineros conseguían verdaderos alimentos, así que no había problema.

Después, en el siglo XV, llegó la Era de la Exploración y los barcos empezaron a hacer viajes más duraderos durante los cuales permanecían en el mar durante largos períodos. En 1497, el explorador portugués Vasco da Gama (1460-1524) dio la vuelta a África y completó con éxito el primer viaje por mar desde Portugal a la India. El viaje duró once meses, y, para cuando llegaron a la India, gran parte de la tripulación había enfermado de escorbuto, una enfermedad que se caracterizaba por encías sangrantes, dientes sueltos, articulaciones dolorosas, debilidad y tendencia a moretones.

No se trataba de una enfermedad desconocida porque también la sufrían los que soportaban un largo asedio en tiempo de guerra, y había sido especialmente observada y comentada, por lo menos desde la época de las Cruzadas. No obstante, ésta era la primera ocasión en que la enfermedad había aparecido a bordo.

Naturalmente, nadie conocía la causa del escorbuto, como tampoco nadie conocía las causas de ninguna enfermedad. Nadie sospechaba por otra parte que el problema pudiera ser dietético, puesto que la creencia general era que la comida es comida, y que si sirve para calmar el hambre, ya basta.

El escorbuto siguió atormentando a los navegantes durante dos siglos después de Vasco da Gama, y fue algo muy grave. Los marinos que enfermaban de escorbuto no podían trabajar, y los barcos modernos de la primera época se hundían con mucha facilidad en una tormenta, aun cuando toda la tripulación estuviera en buen estado y trabajara duro.

Empezaba a haber indicios de que el escorbuto podía remediarse.

El explorador francés Jacques Cartier (1491-1557) navegó tres veces a América del Norte, entre los años 1531 y 1542, explorando el golfo de San Lorenzo y el río de igual nombre, y echando los cimientos del dominio francés en lo que ahora es la provincia de Quebec. En su segundo viaje, pasó el invierno de 1535-36 en Canadá. A la escasa comida a bordo se sumaba la continua carencia de todo durante el invierno, así que veinticinco de los hombres de Cartier murieron de escorbuto y casi cien más quedaron incapacitados de una forma u otra.

Según la historia, los indios hicieron beber a los enfermos agua en la que habían puesto agujas de pino a remojar y hubo una gran mejoría.

Después, en 1734, un botánico austríaco, J.G.Kramer, que estaba en el Ejército austríaco durante la guerra de sucesión de Polonia, observó que el escorbuto aparecía casi siempre en las filas de soldados, mientras que los oficiales parecían ser aparentemente inmunes. Se dio cuenta de que la mayoría de los soldados se nutría, monótonamente, de pan y alubias, mientras que a los oficiales se les servían verduras frecuentemente. Cuando un oficial no comía sus verduras, estaba tan expuesto a contraer el escorbuto como si fuera un simple soldado. Kramer recomendó que se incluyeran frutas y verduras en la dieta, para prevenir el escorbuto. Nadie le prestó la menor atención. La comida era la comida.

El escorbuto era un problema especialmente grave en Gran Bretaña, que dependía de su marina para la defensa de sus costas y protección de su comercio. Si los marineros quedaban inutilizados por el escorbuto, entraba dentro de lo posible que su marina, en un momento crucial, fuera incapaz de actuar.

Un médico escocés, James Lind (1716-1794), había servido en la marina británica, primero como ayudante de cirujano y luego como cirujano, entre 1734 y 1748. Esto le proporcionó una excelente oportunidad para observar las condiciones absolutamente horripilantes a bordo de los barcos. (Por aquellos días Samuel Johnson declaró que nadie que fuera lo bastante listo para ir a la cárcel querría servir a bordo de un barco. Dijo que los barcos, comparados con la cárcel, tenían menos espacio, peor comida, peor compañía y ofrecían además la oportunidad de morir ahogados. Durante el siglo

XVIII, en tiempos de guerra los británicos perdieron unos ochenta y ocho hombres, debido a enfermedad y desertión, por cada uno muerto en acción.)

En 1747, Lind eligió doce hombres de baja por escorbuto (naturalmente había mucho donde elegir), los dividió en grupos de a dos y dio a cada pareja un suplemento dietético diferente. Una pareja tomó dos naranjas y un limón cada día durante los seis días que duraron las provisiones y esta pareja se recuperó de la enfermedad con asombrosa rapidez.

Luego vino la tarea de convencer a la marina británica de que había que alimentar regularmente a los marineros con cítricos. Esto resultaba casi imposible de lograr porque, como todos sabemos, los oficiales militares tienen una rígida cuota de una idea nueva por vida, y aparentemente los almirantes británicos ya tenían todas las suyas, a la edad de cinco años, o por ahí (Este comentario ofendió a un militar, que me dirigió una carta, muy molesto. Naturalmente, hay excepciones... pero encontrarlas es de lo más difícil).

Por otra parte, el capitán Cook (1728-1779) durante sus viajes de exploración sólo había perdido un hombre debido al escorbuto. Había conseguido verduras frescas en cada oportunidad que se le presentaba, y había añadido también col fermentada y malta a las raciones. La col fermentada y la malta se llevaron el mérito, aunque no eran especialmente efectivas, y eso hizo confuso el resultado.

Luego vino la Revolución americana y seguidamente la Revolución francesa, y aumentó la sensación de crisis. En 1780 (el año anterior a la culminante batalla de Yorktown, cuando Francia en un momento crucial se hizo con el control del Atlántico occidental) 2.400 soldados británicos, una séptima parte del total, enfermaron de escorbuto.

En 1797, casi toda la armada británica quedó casi fuera de acción cuando los marineros, desesperados por el trato inhumano que recibían, se amotinaron masivamente. Una de las exigencias de los amotinados fue que se les diera una ración de zumo de limón. Aparentemente, a los marineros, como es de suponer, no les divertía nada el escorbuto y, lo que no era nada sorprendente, tenían más cabeza que los almirantes.

El motín fue sofocado con una especie de mezcla de bárbaros castigos y concesiones de mala gana. Como los limones mediterráneos eran caros, el almirantazgo británico se decidió por limas de las Indias Occidentales, que no eran tan efectivas, pero sí más baratas. Desde entonces los marineros británicos han sido llamados «limos».

Así fue como el escorbuto desapareció como amenaza grave de las naves británicas, pero Lind ya había muerto y no pudo saborear la victoria.

Pero fue una victoria puramente local. El consumo de cítricos no se extendió, y durante todo el siglo XIX el escorbuto floreció en tierra, especialmente entre los niños que ya no mataban. Aunque se había avanzado mucho en medicina durante ese siglo, en realidad lo que se adelantó obró en contra del tratamiento adecuado del escorbuto.

A medida que aumentó el conocimiento bioquímico, quedó claro que había tres clases principales de alimentos orgánicos: hidratos de carbono, grasas y proteínas. Se reconocía, por fin, que la comida no era simplemente alimentos, sino que éstos poseían diferentes cualidades nutritivas. No obstante, la diferencia parecía residir totalmente en la cantidad y tipo de proteínas presentes, y los científicos no buscaban más allá.

Además, el siglo conoció el gran descubrimiento de la influencia de los microorganismos en la enfermedad. Esta «teoría de los gérmenes» era tan importante y condujo tan efectivamente al control de las diversas enfermedades infecciosas, que los médicos empezaron a pensar en toda enfermedad en términos de germen, y se descartó la posibilidad de que la dieta tuviera algo que ver en algunas enfermedades. El escorbuto no era la única enfermedad que afligía a los navegantes y que podía contrarrestarse mediante la dieta. En la segunda mitad del siglo XIX, el Japón empezaba a occidentalizarse y a adquirir la categoría de gran potencia. A este fin se

esforzaba por crear una armada moderna.

Los marineros japoneses comían arroz blanco, pescado y verduras y no se veían atacados por el escorbuto. No obstante, cayeron víctimas de una enfermedad llamada «beriberi». Esta palabra se deriva de una palabra de Sri Lanka que significa «muy débil». La enfermedad dañaba los nervios, de tal forma que una persona enferma de beriberi sentía debilidad en los miembros y una gran fatiga. Finalmente, el enfermo moría.

En 1880, el director general de la marina japonesa, Kanehiro Takaki, se preocupó seriamente por dicho asunto. Un tercio de todos los marineros japoneses enfermaban de beriberi en cualquier momento, pero Takaki observó que los oficiales de a bordo no contraían generalmente la enfermedad, y que su dieta era menos monótona que la de los simples marineros. Takaki observó también que los marineros británicos no contraían la enfermedad, y que su dieta también era diferente.

En 1884, Takaki decidió establecer una gran variación en la dieta y añadir a ella algún producto británico. Reemplazó parte del arroz descascarillado por cebada y añadió a las raciones carne y leche evaporada. Con esta medida el beriberi desapareció de la armada japonesa. Takaki supuso que fue debido al hecho de añadir proteínas a la dieta.

De nuevo, como en el caso del tratamiento de Lind un siglo antes, no ocurrió nada más. El beriberi, como el escorbuto, fue erradicado de a bordo, pero continuó floreciendo en tierra, también como el escorbuto. Lógicamente es bastante fácil alterar la dieta de unos cuantos marineros, que pueden ser severamente castigados por desobediencia, mientras que es mucho más difícil modificar la dieta de millones de personas, sobre todo para hacerla más cara, cuando apenas consiguen lo suficiente, de lo que sea, para poder comer. (incluso hoy en día, cuando la causa y la cura del beriberi son bien sabidas, aún consigue matar a 100.000 personas por año.)

El beriberi era endémico en las Indias Orientales Holandesas (llamadas ahora Indonesia) en el siglo XIX, y, naturalmente, los holandeses estaban sumamente preocupados por ello.

Cierto médico holandés, Christiaan Eijkman (1858-1930) había servido en Indonesia y fue enviado a casa enfermo de malaria. Finalmente se recuperó y, en 1886, consintió en volver a Indonesia a la cabeza de un equipo de médicos para estudiar el beriberi y determinar el mejor modo de tratarlo.

Eijkman estaba convencido de que el beriberi era una enfermedad microbiana, así que se llevó a unas gallinas. Contaba criar pollos con finalidad experimental. Les inocularía la enfermedad, aislaría el microbio, formaría quizás una antitoxina, y buscaría un tratamiento apropiado para probarlo en pacientes humanos.

No funcionó. No pudo infectar a los pollos y, a la larga, todo el equipo médico regresó a los Países Bajos. Sin embargo, Eijkman se quedó para actuar a la cabeza de un laboratorio bacteriológico, y siguió trabajando en el beriberi.

De pronto, en 1896, los pollos enfermaron de parálisis. La enfermedad atacaba claramente los nervios (por esta razón se la llamó «polineuritis aviar») y al excitado Eijkman le pareció que era algo análogo a la enfermedad humana del beriberi que, después de todo, también era una polineuritis.

Según Eijkman, los pollos habían contraído por fin la enfermedad. Ahora lo único que tenía que hacer era localizar el microbio de la polineuritis, en los pollos enfermos, y demostrar que era infeccioso traspasándolo a los que estaban sanos, luego descubrir una antitoxina, y así sucesivamente.

Esta vez tampoco funcionó. No pudo localizar el microbio, no pudo traspasar la enfermedad y, lo peor de todo, a los cuatro meses aproximadamente la enfermedad desapareció de súbito y todos los pollos sanaron.

El desconcertado y desilusionado Eijkman empezó a buscar lo que pudo haber ocurrido y descubrió que, precisamente antes de que las aves sanaran, el hospital había

recibido un nuevo cocinero. El anterior, en algún momento, había decidido alimentar a las aves con los restos de la dieta de los pacientes del hospital, una dieta cargada de arroz descascarillado, es decir, un arroz al que se le había quitado la oscura cubierta exterior. (La razón para descascarillar era que la cascarilla contiene aceite que puede volverse rancio con el tiempo.

El arroz descascarillado, sin el aceite, es comestible durante un largo período de tiempo.) Las aves enfermaron cuando se las alimentó con esos restos.

Entonces llegó el nuevo cocinero que se horrorizó ante la idea de dar comida apta para personas a simples gallinas. Empezó a darles de comer arroz entero, con toda su cáscara. Entonces se curaron.

Así fue como Eijkman se dio cuenta de que el beriberi era causado y se curaba por una dieta, y no era enfermedad microbiana. Tenía que haber algo en el arroz que provocara la enfermedad y algo en las cáscaras que la curara. No era nada que apareciera en grandes cantidades puesto que los hidratos de carbono, la grasa y las proteínas, en sí, eran inocuos. Tenía que tratarse de un componente minúsculo. Este minúsculo componente capaz de enfermar y matar a la gente era conocido, naturalmente. Se le llamaba veneno, y Eijkman decidió que en el arroz blanco había veneno de algún tipo. En las Cáscaras del arroz, por el contrario, pensó, había algo que neutralizaba el veneno.

Esto era más bien el reverso de la verdad, pero la noción de componentes diminutos en los alimentos, que producían o curaban la enfermedad, resultó sumamente fructífera. El trabajo de Lind y de Takaki había sido importante, pero sin más consecuencias. En cambio el trabajo de Eijkman dio lugar a una nube de experimentos subsiguientes y a una enorme revolución en la ciencia de la nutrición. Por este motivo se concedió a Eijkman, en 1929, el Premio Nobel de fisiología y medicina, que tuvo que compartir. Para entonces la naturaleza seminal de su trabajo era ampliamente reconocida. Desgraciadamente, estaba demasiado enfermo para poder ir a Estocolmo a recoger el galardón en persona; murió al año siguiente pero, al contrario de Lind, había vivido lo suficiente para contemplar su propia victoria.

Eijkman regresó a los Países Bajos después de haber hecho su gran descubrimiento, pero un colaborador, Gerrit Grijns (1865-1944) Permaneció en Indonesia. Este colaborador fue el que por primera vez anunció la interpretación correcta. En 1901 (en el primer año del siglo XX) presentó argumentos para demostrar que algo en las cáscaras del arroz no servía para neutralizar una toxina, sino que de por sí era esencial para la vida humana. En otras palabras, el arroz limpio producía enfermedad no porque poseyera una pequeña cantidad de un veneno, sino porque carecía de una pequeña cantidad de algo vital. El beriberi no era simplemente una enfermedad dietética; era una enfermedad de deficiencia dietética.

¡Esto era una idea revolucionaria! Durante miles de años la gente se había dado cuenta de que uno podía morir por la presencia de un poquito de veneno. Ahora, por primera vez, tenían que acostumbrarse a la idea de que la muerte podía resultar de la ausencia de un pequeño algo. Que el algo era lo contrario de un veneno y cómo su ausencia significaba muerte, se trataba de un veneno negativo, por decirlo así.

Una vez digerido el hecho, pareció que el beriberi no era la única enfermedad por deficiencia dietética. El escorbuto era un claro ejemplo de otra. En 1906, el bioquímico inglés Frederick Gowland Hopkins (1861-1947) sugirió que también el raquitismo era una enfermedad de deficiencia dietética. Fue especialmente afortunado al divulgar la idea y persuadir a la profesión médica de que la aceptara, por lo que compartió el Premio Nobel, en 1929, con Eijkman.

En 1912 el bioquímico polaco, Casimir Funk (1884-1967) sugirió que la pelagra era la cuarta enfermedad por deficiencia dietética.

Naturalmente, las personas dedicadas a la nutrición se pusieron nerviosas respecto de los pequeños componentes de productos alimenticios que representaban la vida o la

muerte para el organismo, incluyendo al ser humano. Esto parecía hecho a propósito para el misticismo. Lo que había que hacer era aislar las materias, determinar exactamente qué eran y descubrir cómo funcionaban. Eso reduciría todo ello a la simple, ordinaria y prosaica bioquímica.

En otras palabras, no bastaba trabajar con los alimentos y decir «El zumo de limón previene el escorbuto y el arroz con cáscara, el beriberi». Esto podía bastar para la gente que contraía dichas enfermedades, pero no bastaba para los científicos.

La persona que dio el primer paso hasta pasar más allá de los alimentos en sí fue el bioquímico americano Elmer Verner McCollum (1879-1967). En 1907 trabajaba sobre la nutrición del ganado, observando el tipo de dietas y analizando los excrementos.

Pero todo ello implicaba tal cantidad de alimento y tanto excremento, y todo era tan lento, que McCollum se fue sintiendo frustrado y agotado. Decidió que tenía que trabajar con animales más pequeños y con mayor número de ellos, y así los estudios podrían hacerse con más rapidez. Los conocimientos adquiridos de este modo podrían aplicarse a animales mayores, lo mismo que Eijkman había hecho con sus pollos.

McCollum fue más allá de las aves. Creó la primera colonia de ratas blancas destinadas a estudios nutricionales, una técnica que el resto de los interesados no tardó en adoptar.

McCollum, además, trató de descomponer los alimentos en varios componentes, azúcar, almidón, grasa, proteínas y con ellos alimentar por separado y en combinación, a las ratas blancas, observando cuándo su crecimiento era normal, y cuándo era lento, o cuándo aparecía algún síntoma anormal de cualquier tipo.

Por ejemplo, en 1913 demostró que cuando empleaba ciertas dietas purificadas, con las que las ratas no crecían normalmente, podía conseguir un crecimiento normal si añadía algo de mantequilla y una yema de huevo. No era sólo la grasa la que lo conseguía, porque si añadía manteca de cerdo o aceite de oliva a la dieta, el crecimiento no continuaba.

Tenía que tratarse de un pequeño componente presente en unas grasas, pero no en otras. Al año siguiente, McCollum informó que podía extraer el pequeño componente de la mantequilla, sirviéndose de varios procedimientos químicos, y añadirlo al aceite de oliva. A partir de aquel momento el aceite de oliva podía ayudar al crecimiento si se añadía a la dieta de las ratas.

Esto proporcionó un fuerte apoyo a la noción de las sustancias necesarias para la vida, y desvanecía cualquier aura mítica. Fuera lo que fuese el pequeño componente, tenía que ser una sustancia química, y una que pudiera tratarse por métodos químicos.

Resulta que el tejido viviente es mayormente agua. En este medio acuoso hay estructuras sólidas de material inorgánico (huesos, por ejemplo) o grandes moléculas insolubles (cartílagos, por ejemplo). Además, hay pequeñas moléculas orgánicas, muchas de las cuales son solubles en el agua y que, en consecuencia, existen en soluciones.

Algunas moléculas de los tejidos, sin embargo, no son solubles en agua. Las principales son las diversas grasas y aceites que se arraciman juntas en el agua. Por el contrario, ciertas moléculas que no son solubles en el agua, se disuelven en la grasa. Así podemos agrupar las pequeñas moléculas del tejido vivo como «solubles en agua» o «solubles en grasa». Las sustancias del tejido vivo solubles en agua pueden extraerse con más agua. A las sustancias del tejido solubles en grasa, puede quitárseles la grasa con disolventes como éter o cloroformo.

La sustancia esencial para el crecimiento, que estaba presente en algunas grasas y en otras no, es claramente soluble en grasa. McCollum pudo demostrar, por el contrario, que lo que hubiera en las cáscaras del arroz, que previniera el beriberi, podía extraerse con agua y era por tanto soluble en agua. Esto era la prueba concluyente de que no había una sola sustancia que permitiera el crecimiento normal y evitara la enfermedad, sino que al menos había dos.

A falta de cualquier conocimiento sobre la estructura de esas sustancias, McCollum tuvo que servirse de una sencilla clave para distinguirlas. En 1915 hablaba de ellas como «solubles en grasa A» y «solubles en agua B» (dando prioridad a su propio descubrimiento por egocentrismo).

Esto inició la moda de emplear letras del alfabeto para identificar esas sustancias, un hábito que continuó durante un cuarto de siglo hasta que su estructura química fue lo suficientemente conocida para poder asignarles otros nombres. No obstante, incluso ahora es frecuente designarlas por letras, no sólo por el público lego en la materia sino incluso por bioquímicos y dietéticos.

Pero, entretanto, se había hecho otro intento para nombrarlas.

Funk, a quien ya he mencionado, estaba en Londres trabajando en estas sustancias. Sus análisis químicos le habían convencido, en 1912, de que fuera cual fuese la sustancia preventiva del beriberi, contenía como parte de su estructura química un átomo de nitrógeno y dos de hidrógeno (NH<sub>2</sub>). Esta agrupación está químicamente emparentada con el amoníaco (NH<sub>3</sub>) y por ello los químicos la llamaron «amina». Funk resultó estar en lo cierto en esta conclusión.

Funk siguió entonces especulando en que si había más de una de esas sustancias, entonces todas eran probablemente un tipo u otro de amina. (En eso se equivocaba.)

Por esa razón las llamó, como grupo, «vitaminas» del latín «vida amines».

No se tardó muchos años en reunir las pruebas de que algunas de estas sustancias necesarias para la vida no tenían un grupo amina como parte de su estructura física, y que «vitamina» era por consiguiente un nombre erróneo. En la ciencia se dan muchos casos de este tipo y, con harta frecuencia, el nombre equivocado permanece, si ha quedado demasiado incrustado en los escritos científicos y demasiado embebido en el uso corriente para desecharlo. (Por ejemplo, «oxígeno» es también un nombre erróneo pero se le conoce así desde hace casi dos siglos, y nada cabe hacer.)

En 1920, no obstante, el bioquímico inglés Jack Cecil Drummond (1891-1952) sugirió que la e final de la palabra podría por lo menos desaparecer, de modo que la referencia «amine» no fuera tan abrumadora. La sugerencia fue rápidamente adoptada, y desde entonces dichas sustancias se conocen como «vitamins».

Por dicha razón, «la soluble en grasa A» y «la soluble en agua B» pasaron a ser conocidas como «vitamina A» y «vitamina B» y... voy a continuar con la historia de lo que ahora llamamos vitaminas en el capítulo siguiente.

---

## VII

# RASTREANDO LOS TRAZOS

---

Mi padre era un hombre decidido en sus opiniones. A falta de una educación formal, dejando a un lado sus enormes conocimientos de hebreo, ley bíblica y teología, tenía que confiar en el sentido común. Esto, como es natural, le confundía con frecuencia, pero como pronto aprendí en la vida, una vez que se había formado una opinión, jamás la cambiaba, bajo ningún concepto..., excepto cuando casualmente resultaba que tenía razón desde el primer momento.

Recuerdo una vez que mi padre despotricaba contra las iniquidades de jugar a la lotería», como forma astuta de procurar que su prometedor hijo no cayera nunca en la perversidad y la locura de lanzarse al juego. (Nunca lo hizo.)

Lo escuché un rato y luego pensé que le distraería un poco diciéndole:

—Ya lo sé, papá. Imagínate que eliges una combinación de tres cifras y hay un millar de combinaciones. Tu posibilidad de elegir la combinación acertada es de una entre un millar, pero sólo te pagarán el seiscientos por uno si ganas. Esto significa que si juegas mil números, a dólar el número, tienes una sola posibilidad de ganar. Habrás gastado mil dólares para ganar seiscientos y los organizadores del juego se quedarán con los otros cuatrocientos.

Mi padre objetó:

—Las posibilidades son menos de una entre mil.

—No, papá. Supón que reúnes a mil personas y cada una elige una combinación diferente de cifras desde cero-cero-cero a nueve-nueve-nueve. Una de ellas ganará, así que las posibilidades son de una entre mil.

—¡El listo de mi hijo quiere discutir! Eso será si cada persona elige una combinación diferente. Pero, ¿quién nos dice que elegirán combinaciones diferentes? Elegirán cualquier combinación que se les ocurra, ¿y qué ocurrirá si ninguno elige la combinación acertada? Esto hace que las posibilidades sean menos de una entre mil.

—No, papá. Esta posibilidad está equilibrada por el hecho de que en algunos casos, dos personas elegirán la combinación acertada.

Mi padre se me quedó mirando con incredulidad.

—¿Que dos elijan la combinación acertada? ¡Imposible!

Y así terminó la discusión.

Naturalmente, los pros y los contras de la probabilidad no son siempre fáciles de seguir, incluso para matemáticos avezados.

Recuerdo otra anécdota a raíz de que empezara mi curso de análisis cuantitativo. Expliqué a mi padre la naturaleza de una balanza química y la extrema delicadeza de su funcionamiento. Podía pesar hasta una fracción de un miligramo si estaba debidamente calibrada y sus movimientos eran debidamente observados... y un miligramo no era más que una treinta milésima parte de una onza.

Mi padre sacudió la cabeza y dijo:

—Es ridículo. ¿Quién iba a molestarse en pesar cantidades tan pequeñas? No tienen importancia. Una treinta milésima parte de una onza de cualquier cosa no puede ser importante.

Nada de lo que dije pudo convencerle de la importancia de la extrema delicadeza de los procedimientos analíticos.

Y esto me lleva de nuevo a las vitaminas, el tema del capítulo anterior.

Terminé el capítulo anterior con el nombre que se dio a dos factores trazadores (sustancias en muy pequeñas cantidades necesarias para la vida), a saber: vitamina A y vitamina B; la vitamina A soluble en grasa y la vitamina B soluble en agua. Puesto

que todas las sustancias del cuerpo que son solubles lo son o en grasa o en agua, sería ideal que hubiera una vitamina para cada una y no más. Sin embargo, es mucho esperar que las cosas sean así de sencillas.

De modo que la vitamina B prevendrá contra el beriberi, o lo curará rápidamente si ya existe. Pero no servirá en cambio para el escorbuto. En el zumo de naranja hay algo que previene o cura el escorbuto, pero no servirá para el beriberi. El factor trazador del zumo de naranja fue llamado «vitamina C» por Drummond (el que había sugerido el cambio de «vitamine» a «vitamin»).

Aunque la vitamina C, como la vitamina B, se sabía que eran solubles en el agua, ambas tenían que ser diferentes de algún modo, porque prevenían y curaban dos enfermedades distintas y ni una ni otra tenían efecto sobre una y otra enfermedad. Pero en 1922, en la Universidad John Hopkins, un grupo de dietéticos demostró que se podía prevenir o curar el raquitismo o enfermedad de los huesos por medio de dietas apropiadas. Ciertos alimentos debían por tanto contener aún otro factor trazador, que se llamó «vitamina D». Ésta, lo mismo que la vitamina A, era soluble en grasa, pero ambas también tenían que ser diferentes de algún modo, porque afectaban a enfermedades diferentes.

Las vitaminas eran sustancias frustrantes porque podían ser consideradas como «misteriosas». Si un determinado alimento que se sabía contenía una vitamina concreta era descompuesto en sus componentes y éstos eran químicamente purificados, se encontraba que ninguno de los componentes afectaba la enfermedad, así que ninguno era la vitamina aun cuando los componentes sumaran el 100 por cien del alimento, lo más exactamente que podía medirse. O bien en la vitamina había algo inmaterial, y quién sabe lo que era, o bien se trataba de un compuesto químico corriente pero sólo presente en pequeñísima cantidad.

Naturalmente, si existe la más mínima posibilidad de que algo vital para la salud sea «misterioso», sabemos que se echará mano

de todo tipo de insensateces para embaucar al público en general. Como las vitaminas eran obviamente demasiado importantes para permitírseles caer en una mítica charlatanería, hubo considerable presión sobre los bioquímicos para que identificaran las vitaminas como compuestos especiales y de naturaleza no más misteriosa que cualquier otro componente... en otras palabras, rastreando las huellas.

¿Pero cómo se hace esto? Supongamos que uno coge zumo de naranja y le añade cierta sustancia química que se adherirá a ciertas moléculas del zumo de naranja para formar una sustancia insoluble, mientras que otras moléculas seguirán intactas en la solución. Separada la sustancia insoluble de la solución uno, se pregunta: ¿Está la vitamina C en la sustancia insoluble o en lo que queda del zumo?

¿Cómo se puede saber? Lo más seguro es poner el ser vivo a dietas que, se sabe, no contienen vitamina C, para que se produzca el escorbuto. Una vez aparecido el escorbuto, añadir a alguna de las dietas la sustancia insoluble, y a otras lo que queda del zumo de naranja y ver cuál de ellas (o ambas) curará el escorbuto. Esta será la que contenga vitamina C.

Pero no es tan fácil como parece. El escorbuto puede provocarse en seres humanos, especialmente en niños, pero no se puede experimentar bien con niños, provocándoles y curándoles el escorbuto. Hay que servirse de algún otro animal y obtener la información necesaria.

Desgraciadamente, resultó que los animales son por lo general menos sensibles a la formación del escorbuto que los seres humanos. Las dietas que a nosotros nos producirían escorbuto, a ellos les deja tan tranquilos.

No obstante, en 1919 se encontraron dos tipos de animales a los que podía provocárseles el escorbuto. Uno estaba formado por diversos tipos de monos, que al parecer se asemejan lo suficiente a nosotros en la forma evolutiva como para reaccionar igual que nosotros ante la ausencia o presencia de la vitamina C. El

problema es que los monos son animales caros y difíciles de manejar.

Por fortuna, se encontró que el conejillo de Indias podía utilizarse también para ese propósito y contraía el escorbuto incluso con más facilidad que el ser humano. Y lo que es mejor, el conejillo de Indias es más barato y más fácil de manejar.

Mediante «pruebas con animales», pues, podía determinarse qué alimentos contenían vitamina C y cuáles no. Uno podía incluso determinar cuánta vitamina C contenía determinado alimento (en unidades arbitrarias). De esta forma también se podía determinar que la vitamina C era fácilmente destruida por calentamiento o por Oxígeno.

Y lo más importante de todo: uno podía tratar químicamente la vitamina C desde su origen y seguir el contenido en vitamina C de las varias fracciones en que fue dividido el alimento de muestra. Inevitablemente, algunas fracciones preparadas contenían vitamina C en mayor concentración que en cualquier otro alimento natural.

En 1929, el bioquímico americano Charles Glen King (1896- ) y sus colaboradores habían producido una materia sólida de tal tipo que un gramo de ella contenía tanta vitamina C como dos litros de zumo de limón (o dicho de otro modo, una onza de esta materia contendría aproximadamente tanta vitamina C como 70 litros de zumo de limón).

Entretanto, en Inglaterra, un bioquímico húngaro, Albert Szent-Györgyi (nacido en 1893 y aún ocupado activamente hoy día en investigación, a la edad de 92 años) estaba investigando las «reacciones de oxidación-reducción». En los tejidos vivos, algunos componentes son propensos a liberar un par de átomos de hidrógeno (esto equivale a «oxidación») y otros a aceptar un par de átomos de hidrógeno («REDUCCIÓN»).

Uno puede imaginarse a ciertos compuestos como capaces de favorecer estas reacciones, si ellos mismos poseen una especial y fácil habilidad para hacer ambas cosas. Tales componentes tomarán dos átomos de hidrógeno de la molécula A y se los darán a la molécula B. Entonces están listos para recoger otros dos átomos de hidrógeno, y entregarlos, y así sucesivamente. Estos componentes se llaman «portadores de hidrógeno».

Como las reacciones de oxidación-reducción son vitales para la función de los Organismos vivos, está claro que los portadores de hidrógeno pueden ser muy importantes y son merecedores de investigación.

En 1928, Szent-Gyorgyi aisló un portador de hidrógeno, especialmente activo, de las glándulas suprarrenales. A juzgar por sus reacciones químicas, parecía relacionado con los azúcares, pero tenía un grupo ácido en un extremo de la molécula, más que un grupo de alcohol. Las moléculas relacionadas con el azúcar eran conocidas de los bioquímicos y agrupadas como «ácidos urónicos». Sin embargo, hay un cierto número de posibles variedades de tales ácidos urónicos, y todo lo que Szent-Gyorgyi pudo decir al principio sobre su composición fue que en la molécula había seis átomos de carbono. Lo llamó «ácido hexónico», porque hex es la palabra seis en griego.

Entretanto, King, trabajando en su materia de concentrado de vitamina C, consiguió por fin en 1931 obtener de ella una sustancia cristalina pura que mostraba una fuerte actividad vitamínica. Medio miligramo (1/57,000 de onza) de esos cristales añadidos a la dieta cotidiana, cada día, protegería del escorbuto a un conejillo de Indias. Parecía incuestionable que los cristales eran la propia vitamina C. Se habían rastreado las huellas y la vitamina pasó a ser una sustancia material conocida y definida.

Al estudiar esos cristales, quedó claro que eran el mismo compuesto que Szent-Györgyi había bautizado como ácido hexónico. Así pues, parece que Szent-Györgyi fue el primero en aislar la vitamina C, y King el primero en reconocer el hecho de que era vitamina C. De ahí que ambos compartan, generalmente, el mérito del descubrimiento. En 1933, Szent-Györgyi sugirió que se llamara «ácido ascórbico» a su ácido hexónico, ahora que había sido comprendida la naturaleza de su vitamina. El nuevo nombre

procede de las palabras griegas que significan

Tan pronto como pudieron aislarse cantidades importantes de ácido ascórbico (especialmente después de que Szent-Györgyi encontró que los pimientos rojos eran especialmente ricos en él, y de utilizarlos como fuente) los químicos descubrieron rápidamente su exacta estructura química, situando correctamente cada uno de los veinte átomos en su molécula (seis átomos de carbono, ocho de hidrógeno y seis de oxígeno).

Incluso antes de que la estructura del ácido ascórbico fuera finalmente descubierta, se habían encontrado métodos para sintetizarlo. El ácido ascórbico sintético es tan efectivo, como vitamina, como la 'sustancia natural. Las dos moléculas son idénticas. Tanto si las produce un químico como una planta, todos los átomos están en su lugar correcto y no hay forma de distinguir entre ambas. Por ello el ácido ascórbico podría producirse por toneladas si fuera necesario.

El aislamiento, la determinación estructural y la síntesis del ácido ascórbico fueron suficientes para hacer desaparecer cualquier «misterio» de las vitaminas. El ácido ascórbico es una molécula como otras moléculas, compuesto de átomos como otros átomos, y propicio al estudio y manipulación según las reglas ordinarias de la química. El mero hecho de que una vitamina pudiera reducirse a química prosaica, hace razonablemente seguro que todo pudiera hacerse.

Efectivamente, ya ha sido descubierta la estructura molecular de cada vitamina conocida.

Naturalmente, los bioquímicos trabajaban con la vitamina B, lo mismo que con la C, y en cierto modo la vitamina B fue una tarea más fácil. En primer lugar, la vitamina B resultó tener una molécula más dura que la de la vitamina C. La vitamina B era menos fácil de degradar, por calentamiento u oxígeno, que la vitamina C, de forma que la primera podía ser machacada por los diversos procedimientos químicos empleados para aislarla sin que sufriera demasiados daños.

Lo que es más, la mayoría de los animales son sensibles a la carencia de vitamina B, en comparación con los relativamente escasos que son sensibles a la carencia de la vitamina C. La enfermedad de las gallinas, como he indicado en el capítulo anterior, fue lo que proporcionó la clave crucial sobre la naturaleza de la prevención y cura del beriberi humano. En consecuencia, las pruebas de la vitamina B con animales fueron más fáciles de llevar a cabo que las de la vitamina C con la rata blanca, empleada en lugar del conejillo de Indias.

Ya en 1912, Funk consiguió obtener de la levadura una burda mezcla de cristales que, probados en un experimento con animales, resultaron concentrados en la actividad de la vitamina B.

Funk detectó la presencia de un grupo de «amine» en el concentrado de vitamina B, y supuso que todas las vitaminas podían contenerlo. De ahí que inventara el nombre de «vitamine», como ya he explicado en el capítulo anterior. La e final de la palabra fue suprimida del nombre porque ningún grupo de «amine» pudo ser detectado en concentraciones de vitamina C.

En 1926, los concentrados de vitamina B se prepararon de tal modo que parecieron casi puros. Los intentos de analizar pequeñas cantidades de dichos concentrados (por métodos que requerían pesar diminutas cantidades, pese al escepticismo de mi padre sobre el valor de estas cosas) dieron lugar a juicios preliminares de que la molécula de vitamina B contenía carbono, hidrógeno, oxígeno (como casi todas las moléculas orgánicas) y nitrógeno (que gran cantidad de ellas tienen). Hasta ahí todo iba bien, pero los bioquímicos siguieron insistiendo, tratando de conseguir que los concentrados de vitamina B fueran más puros, y aislarlos en mayor cantidad.

En 1932, un bioquímico japonés, S. Ohdake, que trabajaba con pequeñísimas cantidades de materia de vitamina B, informó que había detectado átomos de sulfuro en la molécula. No era exactamente algo sin precedentes, porque los átomos de

sulfuro se encuentran, por ejemplo, en casi todas las moléculas de las proteínas. Pero de los cinco tipos de átomos más corrientes en las moléculas de un tejido vivo carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y sulfuro -el de sulfuro es el menos común. Este descubrimiento que no tardó en confirmarse fue tan sorprendente que a la vitamina B se le dio el nombre de «thiamina» (tiamina). El prefijo thi viene del griego theion, que significa «sulfuro».

Finalmente, en 1934, el químico americano Robert Runneis Williams (1886-1965) y sus colaboradores lograron perfeccionar el método de purificación hasta el extremo de conseguir tiamina completamente pura. Utilizando este método hizo falta una tonelada de cáscara de arroz para conseguir 5 gramos de tiamina.

La estructura de la vitamina B fue estudiada entonces con detalle hasta la posición exacta de cada átomo de su molécula. Para comprobar si la determinación era realmente correcta, Williams empezó con los compuestos más simples de composición conocida y los juntó paso a paso mediante reacciones químicas que produjeron cambios conocidos. Finalmente, formó un compuesto que debía ser la molécula de tiamina, si el análisis hubiera sido correcto. Y, en efecto, el compuesto sintético demostró ser la molécula de tiamina, porque poseía las mismas propiedades químicas que la sustancia natural, y también porque tenía el mismo efecto preventivo y curativo sobre el beriberi.

La molécula de tiamina contiene dos anillas de átomos conectadas por un átomo- puente. Hay también dos pequeñas cadenas laterales de átomos unidas a cada anilla. Pero sobre lo que quiero llamarles la atención es sobre las anillas en sí.

Las anillas de átomos son muy corrientes en compuestos orgánicos y están frecuentemente formadas por cinco o seis átomos. Con mucha frecuencia, los cinco o seis átomos de la anilla son de carbono, pero a veces uno o dos átomos de la anilla pueden ser de nitrógeno, oxígeno o sulfuro. Cualquier anilla que contenga otros átomos, además de los de carbono, se dice que es «heterocíclica»; hetero- procedente del griego y significa «otro» o «diferente».

Ambas anillas en la molécula de tiamina son heterocíclicas. Una de las anillas consta de seis átomos, dos de los cuales son de nitrógeno. La otra anilla tiene cinco átomos, de los que uno es nitrógeno y el otro sulfuro.

En el proceso de concentración de la vitamina B, los bioquímicos descubrieron que a veces conseguían fracciones que parecían importantes para la nutrición y, no obstante, carecían de efecto respecto al beriberi.

Hay, por ejemplo, una enfermedad llamada «pelagra», caracterizada muy visiblemente por la piel seca y escamada, que se presenta cuando las dietas son muy limitadas y monótonas, y que puede curarse ampliando la dieta. La conexión dietética la demostró definitivamente en 1915 un médico austroamericano, Joseph Goidberger (1874-1929). Ya entonces se conocía lo bastante de las vitaminas como para empezar al momento una investigación en busca de fracciones purificadas con acción antipelagra. En un principio pareció que las sustancias que curaban el beriberi podían curar también la pelagra, pero al analizar las fracciones se comprobó que eran suficientemente impuras como para que fuera posible que en ellas estuvieran presentes más de una vitamina. En 1926 se descubrió que era posible calentar fuertemente el concentrado, lo suficiente como para destruir la acción antiberi-beri pero dejando intacto el efecto antipelagra. Esto hizo que pareciera que había dos vitaminas, una de las cuales tenía una molécula más resistente al calor (y por tanto probablemente más simple) que la otra.

En 1937, el bioquímico americano Conrad Arnoid Elvehjem (1901-1962) siguió una pista de investigación que le llevó a probar en perros enfermos de «lengua negra», algo muy parecido a la pelagra humana. Una sola y pequeñísima dosis bastaba para una rápida y acusada mejoría. Era la vitamina.

Sus moléculas consistían en una sola anilla de seis átomos (cinco de carbono y uno de

hidrógeno) con átomos de hidrógeno y un pequeño grupo de carbono ácido, unido. Había sido aislado del tejido vivo por primera vez en 1912, sin sospechar su naturaleza vitamínica, por supuesto. No obstante, en 1867 ya lo había obtenido en el laboratorio un químico llamado C. Huber.

Huber empezó con nicotina, el archiconocido alcaloide encontrado en el tabaco. La molécula de nicotina consiste en dos anillas heterocíclicas, una de cinco átomos y otra de seis. Un átomo de una anilla estaba sujeto a un átomo de la otra. Huber trató la nicotina de tal forma que se rompiera la anilla de cinco átomos, dejando sólo el átomo de carbono que seguía sujeto a la anilla de seis átomos, convirtiendo ese átomo en un grupo ácido. En consecuencia llamó a la anilla de seis átomos con su grupo ácido en forma de cadena lateral, «ácido nicotínico», como indicación del compuesto más complicado de donde lo había obtenido.

Cuando un compuesto orgánico es cambiado sustancialmente, no hay necesariamente conexión entre las propiedades del original y el producto; ninguna en absoluto. La nicotina es una sustancia altamente tóxica. El ácido nicotínico es relativamente inocuo. En realidad, en pequeñas cantidades es esencial para la vida. El ácido nicotínico fue lo que Elvehjem demostró que era la vitamina anti-pelagra.

Esto planteó un problema a la profesión médica. El público en general no estaba preparado para comprender lo mejor de la química orgánica. Si el ácido nicotínico era considerado una vitamina, era posible que cierta gente pensara que había algo sano en la nicotina y se lanzaran a fumar, o aumentaran la dosis si ya fumaban, dando por sentado que eso les evitaría enfermar de pelagra.

Los médicos, pues, insistieron en utilizar una forma resumida de «vitamina de ácido nicotínico». Utilizaron las dos primeras letras de la última palabra, las dos primeras de la segunda y las tres últimas de la primera, con lo que obtuvieron «niacina», que ahora es el nombre más conocido de esta vitamina.

Los mismos procedimientos que sirvieron para aislar concentrados de tiamina y niacina, produjeron también pequeñas cantidades de otras sustancias vitales para la vida. En algunos casos, los especialistas en nutrición no conocían enfermedades correspondientes a las deficiencias de esos factores, porque las sustancias estaban tan repartidas en los organismos y se requerían en tan ínfimas cantidades que prácticamente cualquier dieta humana debía contener lo suficiente de dichas sustancias para que una persona pudiera defenderse.

Los especialistas en nutrición y los bioquímicos tenían que alimentar ratones u otros animales de experimentación con dietas especiales y purificadas, que contuvieran sólo vitaminas conocidas y minerales, y ninguna otra sustancia. Entonces, cuando aparecía una anomalía en el animal, tenían que descubrir algún alimento que corrigiera la anomalía, y buscar un componente dentro del alimento que pudiera ser la vitamina. Por fin quedó completamente demostrado que al extraer la vitamina B de los alimentos, uno retiraba una familia entera de ciertos componentes relacionados, todos ellos solubles en agua, todos conteniendo anillas heterocíclicas de un tipo u otro, todas imprescindibles para la vida, en pequeñas cantidades.

El conjunto puede llamarse «complejo de vitamina B». Antes de que se determinara la naturaleza de las moléculas, fueron llamadas vitamina B1, vitamina B2, y así sucesivamente hasta llegar a la vitamina B14.

La mayor parte de ellas resultaron ser falsas alarmas, pero la vitamina B1 es, naturalmente, la tiamina. La vitamina B2 es la lactoflavina (riboflavina), la vitamina B6 es la piridoxina, y la vitamina B12 es la cianocobalamina. La niacina no tiene nombre de vitamina B, ni tampoco otros miembros del complejo como biotina, ácido fólico y ácido pantoténico. En realidad, el único miembro del complejo vitamínico B en el que el nombre de vitamina B es más corriente que su nombre químico de vitamina B~, quizá porque el nombre químico es muy complicado, y por ser el último que se dio.

No todas las vitaminas pertenecen al complejo B, claro está. La vitamina C no

pertenece aunque sea soluble en agua, porque es completamente distinta en estructura de los miembros del complejo. La vitamina C carece de átomos de nitrógeno en su molécula, mientras que todos los miembros del complejo los poseen.

Tampoco cualquier vitamina soluble en grasa es, precisamente por este hecho, miembro del complejo B. Las vitaminas solubles en grasa carecen también de átomos de nitrógeno. Además de las vitaminas A y D, las vitaminas solubles en grasa incluyen también las vitaminas E y K.

(¿Qué ocurrió con las letras intermedias? Bueno, la vitamina F fue una falsa alarma, la vitamina G fue identificada con la riboflavina y la vitamina H con la biotina. Así pues, estas dos resultaron ser miembros del complejo B. En cuanto a la vitamina K, fue nombrada siguiendo el orden alfabético, porque estaba involucrada con el mecanismo de la coagulación de la sangre y, en alemán, la coagulación se escribe Koagulation. Dado que los descubridores de la vitamina eran alemanes, parecía natural llamarla vitamina K.)

Ahora que todas las vitaminas son bien conocidas estructuralmente y pueden sintetizarse de una u otra forma, disminuye mucho el peligro de escasez de vitaminas en cualquier sociedad que disponga de las vitaminas sintéticas. Puede comer lo que le apetezca y añadir a la comida una razonable colección de píldoras vitamínicas y estará usted perfectamente a salvo del escorbuto, beriberi, pelagra, y demás.

Claro que hay gente que cree en la «terapia megavitamínica» (de mega, palabra griega que significa «abundante»). La impresión entre este tipo de gente es que aunque una pequeña dosis de esta o aquella vitamina es suficiente para alejar enfermedades visibles, dichas enfermedades representan tremendas crisis. Se necesitarían mayores cantidades de vitamina para mantener las cosas en buen estado, evitando así pequeños desórdenes que, aunque invisibles a los ojos desnudos, se van cobrando su tributo a medida que pasan los años. También existe la impresión de que, aunque una persona, razonablemente sana, sólo necesita tomar pequeñas dosis de vitamina, hay trastornos que generalmente no son reconocidos como dependientes de las vitaminas, y que se beneficiarán por la acción de grandes dosis de algunas vitaminas.

El aspecto mejor conocido de la terapia megavitamínica es el empleo de grandes dosis de vitamina C. Esto viene apoyado por el famoso químico americano Linus Pauling (1901- ) y la vitamina C se supone de gran utilidad para la curación de resfriados, e incluso para mejorar el cáncer.

Yo me inclino a dudar de tales reivindicaciones. El cuerpo no parece almacenar vitaminas solubles en agua, así que cualquier cantidad superior a las necesidades inmediatas debe ser expulsada a través de los riñones.

No veo la necesidad de consumir gran cantidad de píldoras sólo para enriquecer la orina.

Con vitaminas solubles en la grasa, el caso varía. Las reacciones en la grasa no son tan rápidas como las que ocurren en el agua, así que las vitaminas solubles en grasa no son ni tan fácil ni tan rápidas de eliminar. Se almacenan y tienden a acumularse.

Si la acumulación rebasa cierto punto, los resultados pueden ser nocivos. La vitamina A y la vitamina D, en grandes cantidades, son de efectos tóxicos.

El pescado y los animales que lo consumen pueden acumular vitamina A y D más allá de la capacidad de seguridad de otros animales. Por esta razón antes de que pudiéramos disponer de las píldoras de vitaminas la vida de muchos adolescentes se vio amargada al serles administradas regularmente buenas dosis de aceite de hígado de bacalao.

Hay también historias terroríficas, sobre cuya veracidad no estoy demasiado seguro, que aseguran que los hígados de los osos polares acumulan tal enorme cantidad de vitamina A, que los exploradores árticos que, en alguna ocasión, habían comido osos polares, murieron víctimas de envenenamiento por vitamina A.

En el próximo capítulo me dedicaré a la que yo considero como la vitamina más insólita de todas.

---

## VIII

# EL ELEMENTO DUENDE

---

Tengo mis defectos. (Sí, los tengo. Insisto en ello). Por ejemplo, soy increíblemente provinciano en ciertos aspectos. Aunque soy un declarado anglófilo, me es sencillamente imposible acostumbrarme a la ortografía inglesa y a su pronunciación. Les he oído decir *eevolution* y *deefecate*, con una larga pronunciación de la e en i, por la radio y la televisión, y entonces yo, invariablemente, les grito *evolution* y *defecate* con las e cortas, y ni me escuchan. Les he oído pronunciar *schedule*, *shedule*, y *glacier*, *glassier*, y no sirve de nada que me ponga negro.

Y me molesta. Para mi, *colour*, *honour* y *labour* son ridículos. Todas estas palabras riman claramente con *flour*, y nosotros no las pronunciamos así. Y no quiero siquiera mencionar la palabra *gaol*, que la pronuncian con i y la o se vuelve i.

A veces me siento tan poco caritativo que me encuentro a punto de anunciar públicamente que si los ingleses no saben escribir y pronunciar debidamente el idioma americano, deberían inventarse un idioma propio.

Ahora en realidad ya lo he dicho por fin en voz alta, pero para mí, porque la verdad es que no había nadie más por allí.

Quería averiguar cuándo apareció por primera vez en medicina la palabra «anemia», así que consulté un libro que tengo en mi biblioteca y busqué *anemia*, *a-n-e-m-i-a*. Pues no estaba. No había absolutamente nada entre *androsterone* y *anencephalic*, y me quedé estupefacto. *Anemia* es un término médico corriente, y el libro se suponía que hablaba del origen de los términos médicos. ¿Cómo era posible que no estuviera? Me volví con un abrumado «¡Vaya por Dios!». Es posible que incluso llegara a decir algo más fuerte como «¡Diablos!».

Y de pronto se me hizo una luz en el cráneo. Volví a sacar el libro y miré la página del título, autor y demás. Lo presentaba un editor americano pero el libro lo había compilado un canadiense. ¡Ajá!, me dije, y busqué «*anaemia*», como escriben los ingleses, y allí estaba.

Nunca sabré el libro lo cerca que estuvo de salir volando. Sólo el recuerdo de que me había resultado muy valioso en numerosas ocasiones hizo que lo mantuviera en la estantería.

La palabra '*anemia*' viene de una expresión griega que significa «sin sangre». El prefijo *a-* (*an-*, delante de una vocal) es una negación total, griega, que significa «nada», «ninguno», «no», como el anglosajón *un-* o el latín *non-*. El resto de la palabra viene del griego *haima*, que quiere decir «sangre», con el diptongo *ai* pronunciado como una e larga.

Los romanos utilizaban su propio diptongo *ae* (también pronunciado como una e larga) en lugar del griego *ai*. Como los ingleses se sirven de la ortografía romana, pensamos en la palabra griega como *haema* y la palabra derivada se transformaba en '*anaemia*' en lugar de '*anaimia*'. Pero en inglés, la pronunciación de la *ae* se transformó en e larga. Así que me parece que la pronunciación cambiada hace que una simple e sea suficiente para la ortografía, y por esta razón escribimos *anemia*. No obstante, los ingleses continúan escribiendo *anaemia*. Por razones parecidas, nosotros seguimos escribiendo *hemoglobina*, *hemorragia*, *hematología*, *hemofilia* y *hemorroides*, mientras que ellos colocan una e extra en cada una de las palabras. Como en el cielo son justos, creo que en este caso están de nuestra parte.

Por supuesto que cuando este ensayo aparezca en Gran Bretaña, cambiarán la ortografía y la pondrán de acuerdo con sus gustos, pero me niego a sentirme responsable por cualquier consecuencia que pueda acarrearles.

Por lo visto la palabra «anemia» se empleó por primera vez en 1829 para describir diversas circunstancias en las que parecía haber deficiencia sanguínea o, por lo menos, falta del colorante rojo en la sangre, por lo que la víctima suele estar pálida.

El color rojo de la sangre es la «hemoglobina» y se encuentra en los glóbulos rojos. La hemoglobina contiene átomos de hierro, y los átomos de hierro no resultan fáciles de encontrar en la comida. El cuerpo conserva bien el hierro, así que en general no hay problemas con él. Si uno pierde sangre debido a un accidente o a las maquinaciones de un enemigo, naturalmente tiene problemas para reemplazar el hierro.

Las jóvenes tienen su problema particular porque pierden sangre todos los meses en sus menstruaciones, y son ellas también las que con más frecuencia sufren de «anemia por falta de hierro».

No obstante, hay muchas otras causas de anemia puesto que la fabricación de glóbulos rojos puede funcionar mal de muchos modos, incluso cuando la provisión de hierro es adecuada. Algunos tipos de anemia son más propensos que otros a tener consecuencias serias.

Esto nos conduce a un médico inglés llamado Thomas Addison (1793-1860). Hoy en día se le recuerda más porque, en 1855, identificó una enfermedad grave marcada por la atrofia de la capa cortical de la glándula suprarrenal. Esta enfermedad es el resultado de la insuficiencia de las hormonas corticosuprarrenales, y se la sigue conociendo hoy en día como «enfermedad de Addison».

Pero antes de eso, en 1849, describió minuciosamente una forma de anemia que parecía especialmente grave y particularmente resistente a tratamiento. Durante un tiempo se la conoció como «anemia de Addison», y al seguir estudiándola empezó a hacerse obvio que un diagnóstico de «anemia de Addison» equivalía a una sentencia de muerte. Todos los tratamientos fracasaban y la víctima moría invariablemente. Por ello la enfermedad fue llamada «anemia perniciosa», ya que pernicioso, del latín, significa «hasta la muerte».

Tan pronto llegó el siglo XX y los médicos conocieron las vitaminas (como he descrito en los dos capítulos anteriores) cualquier enfermedad no infecciosa despertó sospechas. Comenzó la búsqueda de alguna deficiencia dietética que pudiera responsabilizarse de la anemia perniciosa. Sin embargo, el primer indicio adelantado se presentó indirectamente.

Un médico americano, George Hoyt Whipple (1878-1976) se interesó en principio por los pigmentos biliares, que son compuestos que se originan a través del colapso de la hemoglobina.

La molécula de hemoglobina contiene una porción no-proteínica llamada «hemo» que consiste en una gran anula formada por cuatro anillas más pequeñas con un átomo de hierro en el centro. El cuerpo se desprende de hemo cuando lo considera necesario, rompiendo la anilla grande y separando el átomo de hierro para uso futuro. La anilla rota, que es el pigmento de la bilis, se elimina entonces.

A Whipple se le ocurrió que podría entender mejor los pigmentos de la bilis si comprendía los detalles del ciclo vital de la hemoglobina. Así, en 1917, empezó a sangrar perros hasta que se quedaron decididamente anémicos y luego probó varias dietas para ver cuál le conducía más rápidamente a la reconstrucción de la suma normal de glóbulos rojos.

Whipple encontró que una dieta en la que dominara el hígado era más potente que cualquier otra en acelerar la reposición de hemo y de glóbulos rojos. Si echamos la vista atrás, no es realmente sorprendente. El hígado es prácticamente la fábrica química del cuerpo, de modo que es rico en vitaminas y minerales (incluyendo el hierro). Si se precisa una ayuda puramente nutricional, el hígado es la elección más apropiada.

Whipple no estaba trabajando en la anemia perniciosa, pero una idea sobre sus

resultados quizá podía ser útil en esa dirección.

La anemia perniciosa tiene aspectos muy desconcertantes. Podría ser una enfermedad por deficiencia vitamínica, pero de ser así, ¿por qué la contrae tan poca gente? Cuando alguien era atacado por ella, ¿por qué con frecuencia no había nada especialmente desequilibrado en su dieta? ¿Y por qué otros, con dietas similares, no contraían necesariamente la enfermedad?

El ser humano normal produce fuerte ácido clorhídrico como parte de las secreciones digestivas del estómago. El resultado es que el «jugo gástrico» del estómago es el máximo fluido ácido del cuerpo y esto ayuda al proceso de la digestión. (El jugo gástrico es tan ácido que los bioquímicos tienen dificultad en explicar el problema de por qué la parte interior del estómago es capaz de soportar el constante baño ácido... aunque a veces no es así, como puede decirnos cualquiera que sufra de úlcera de estómago.)

Pero curiosamente, el enfermo de anemia perniciosa carece invariablemente de ácido clorhídrico, y esto hace pensar que puede existir un desorden digestivo o de absorción, involucrado en la enfermedad. Puede ocurrir incluso que, aunque la vitamina esté presente en la comida, la víctima sea incapaz de utilizarla. En ese caso, sólo podría ayudarle una enorme cantidad de vitamina, de forma que fuera absorbida aunque se perdiera la mayor parte.

Éste debió ser el razonamiento del médico americano George Richards Minot (1885-1950) y de su colaborador William Parry Murphy (1892- ). En 1924, Minot se quedó tan impresionado por la comunicación de Whipple sobre la eficacia del hígado en perros anémicos, que decidió probar una dieta de hígado en sus pacientes de anemia perniciosa. No tenía nada que perder.

Empezó a alimentarles con enormes cantidades de hígado, ¡y funcionó! La anemia perniciosa se detuvo y sus pacientes no sólo dejaron de empeorar, sino que empezaron a mejorar.

Como consecuencia, Whipple, Minot y Murphy compartieron en 1934 el Premio Nobel de fisiología y medicina. Después de todo, la anemia perniciosa dejaba de ser una sentencia de muerte.

La sospecha de que existía tanto una vitamina externa como alguna incapacidad interna, llegó a ser una fuerte probabilidad, en 1936, gracias al trabajo del médico americano William Bosworth Castle (1897- ). Demostró que tenía que existir un «factor intrínseco» que ayudaba a la absorción de la vitamina.

Ahora sabemos que el factor intrínseco es una glucoproteína (una molécula de proteína incluyendo un complicado componente parecido al azúcar) que debe combinarse con la vitamina antes de que sea absorbida. La falta del factor intrínseco es el verdadero problema, porque se necesita la vitamina (como pudo verse) en cantidades extraordinariamente pequeñas. Incluso si esta pequeña cantidad no existiera en la dieta, lo que es improbable, las bacterias intestinales podrían formarla en gran cantidad (como pueden asimismo formar otras vitaminas). En efecto, las heces fecales de pacientes de anemia perniciosa no tratados, son ricas en la vitamina cuya carencia ocasiona su muerte.

Pero hay un fallo importante en el tratamiento con hígado. Funcionaba, en efecto, pero era una sentencia a comer hígado de por vida, y además en grandes cantidades. Claro que era mejor que morir, por lo menos así lo suponemos, pero con el transcurso del tiempo es fácil comprender que los pacientes acabaran preguntándose si el hígado no era peor destino que la muerte.

Si el tratamiento resultaba insostenible, habría que extraer la vitamina del hígado.

El bioquímico americano, Edwin Joseph Cohn (1892-1953) se dedicó al problema, pero trabajó abrumado por grandes dificultades. Siempre que dividía en dos partes cualquier preparación de hígado, mediante un tratamiento químico, la única forma que tenía de poder decir si la vitamina se encontraba en una parte o en la otra, era probar

las dos, en pacientes de anemia perniciosa y ver cuál era la beneficiosa. En todos los casos llevaba mucho tiempo decidir, definitivamente, si una fracción determinada era o no beneficiosa.

No obstante, en seis años de trabajos, desde 1926 a 1932, Cohn fue capaz de preparar un extracto de hígado que resultó muy eficaz como paliativo de la anemia perniciosa. Cantidades relativamente pequeñas del extracto conseguían su propósito, y los pacientes que disponían del extracto quedaban liberados de tener que tragar hígado día tras día.

Sin embargo, Cohn no aisló la vitamina en sí. Eso le tocó en suerte al químico americano Karl August Folkers (1906- ). En 1948, él y sus colaboradores hicieron el descubrimiento clave de que ciertas bacterias precisaban la vitamina de la anemia perniciosa para desarrollarse. Una vitamina tiene un cierto papel en el mecanismo químico de una célula, y su ausencia hace que muchas cosas vayan mal. Algunos desórdenes son más importantes que otros, y naturalmente nosotros nos fijamos en los más notorios. En el caso del ser humano, el desorden más notable a consecuencia del uso inadecuado de la vitamina de la anemia perniciosa lleva consigo la formación de células rojas. Sin embargo, el mero hecho de que una bacteria no tenga células rojas, no quiere decir que no necesite la vitamina de la anemia perniciosa por otras razones. Si puede fabricarse sus propias vitaminas, perfecto; pero si no puede, hay que proporcionar la vitamina en la mezcla nutriente que mantiene el cultivo bacteriano. Si no se proporciona la vitamina, el crecimiento bacteriano se detiene. Folkers había encontrado una bacteria que sólo crecía en presencia de la vitamina, y esto significaba que todas las veces que los concentrados vitamínicos del hígado (o de cualquier otra cosa) se fraccionaban más, podía localizarse la vitamina rápidamente con pruebas bacterianas sin tener que molestar para nada a las pobres víctimas de la anemia perniciosa. Se fueron obteniendo más y más preparaciones concentradas, y antes de que finalizara el año, se aislaron cristales rojos, que eran la propia vitamina: vitamina B12, como se la llamó.

Hubo varios hechos asombrosos relacionados con la B12 que fueron determinados una vez la vitamina pudo ser tratada directamente. Respecto de las necesidades diarias, era la más insignificante de las vitaminas B.

Las necesidades diarias de las distintas vitaminas B eran del orden de miligramos. Un hombre adulto necesita 20 miligramos de niacina al día, 2 miligramos de piridoxina, 1,7 miligramos de riboflavina, 1,4 miligramos de tiamina y así sucesivamente. Dicho de otro modo: si usted dispusiera de 30 g de niacina y 30 g de tiamina, y si de ellas extrajera lo que necesitara cada día, la niacina le duraría casi cuatro años y la tiamina, unos cincuenta y cinco.

Sin embargo, la dosis diaria recomendada de B12 es de unos 5 microgramos para el hombre adulto. Un microgramo es la milésima parte de un miligramo. Si dispusiera de 30 g de B12 tendría la suficiente para 15.523 años (suponiendo, claro está, que no se deteriorara durante la espera). Significaría la provisión de por vida para unas 220 personas. En estas circunstancias, podría parecer sorprendente que pudiera haber escasez.

Pero hay además una segunda cosa curiosa respecto de la B12. Su molécula es sorprendentemente grande. Está compuesta de 181 átomos, si mi cálculo es correcto, y tiene un peso molecular de 1358. Esto la hace aproximadamente cuatro veces mayor que las demás vitaminas B.

De hecho se encuentra entre las mayores moléculas de «una pieza» del tejido vivo, y aquí deben comprender lo que quiero decir con «una pieza».

En las células hay moléculas mucho mayores: almidón, proteínas, ácidos nucleicos, goma, etc. También los químicos pueden formar enormes moléculas en el laboratorio: fibras, plásticos, etc. Pero en todos los casos, esas moléculas gigantes, con pesos moleculares del orden de los diez y los cientos de miles, están formadas por hileras de

unidades relativamente pequeñas, dado que las unidades son parecidas o incluso idénticas, y las hileras pueden separarse fácilmente en unidades. Estas moléculas gigantes son «polímeros».

No obstante, la B12 no es un polímero. Puede romperse en fragmentos, pero estos fragmentos son distintos unos de otros. Por lo tanto se trata de una sola pieza.

Las moléculas de almidón, proteína y ácido nucleico, cuando están presente en los alimentos son demasiado grandes para ser absorbidas y utilizadas como tales. No obstante, estas moléculas son fácilmente separadas («digeridas») en sus pequeñas unidades. Las unidades pueden ser entonces absorbidas dentro del cuerpo y allí, reunidas de nuevo, formar moléculas gigantes. Esto es imposible con la B12. Debe ser absorbida en una sola pieza y su tamaño lo hace difícil. Necesita un factor intrínseco que combine con ella y, por decirlo así, que tire de ella. Sin este factor, anemia perniciosa.

El gran tamaño y la complicada estructura de la B12 hacía muy difícil descubrir los detalles. Hasta ocho años después de su aislamiento no pudo conocerse su exacta fórmula estructural. Esta victoria la consiguió una bioquímica inglesa, Dorothy Crowfoot Hodgkin (1910- ). Su especialidad era el trabajo sobre las formas de difracción con rayos X, que se producen cuando los rayos X rebotan de los átomos. Si las moléculas de una preparación tiene una orientación fortuita, los rayos X rebotan en direcciones fortuitas y si el rayo resultante choca contra una película fotográfica, queda en el negativo una oscura mancha central rodeada por una aureola que se va extendiendo y apagando simétricamente en todas direcciones.

No obstante, si se emplea un cristal, las moléculas que hay en su interior se ordenan regularmente, de modo que los átomos que las constituyen aparecen en él en forma regularmente repetidas (como en un papel de pared). Los rayos X rebotan de cada una de las repeticiones, en la misma dirección, cada rebote reforzando el siguiente. Como resultado, la película fotográfica mostrará unas series de puntos en determinadas posiciones simétricas.

Por la naturaleza de la simetría y por la separación de los puntos, pueden sacarse conclusiones sobre la posición de varios átomos dentro de la molécula y, con esto como guía, adivinarse la estructura. Naturalmente, cuanto más complicada es la estructura, más complicadas son las formas de difracción, y lo más difícil es descubrir la estructura molecular.

Hodgkin había trabajado en la difracción por rayos X sobre el modelo de la penicilina, por ejemplo, y utilizó una computadora para que la ayudara a resolver el problema. Ésta fue la primera vez que se utilizó una computadora en relación con la bioquímica. Luego pasó a la B12 y de nuevo se sirvió de la computadora. Después de un incesante y considerable trabajo, resolvió por completo el problema y, en 1956, anunció la estructura precisa de la B12. Por ello recibió el Premio Nobel de química en 1964.

Para comprender la estructura de B12, volvamos al hemo. Como he dicho anteriormente, la molécula de hemo está formada por una gran anilla, formada a su vez por cuatro anillas pequeñas. Las anillas pequeñas son de cinco átomos cada una (cuatro átomos de carbono y uno de nitrógeno), y las pequeñas anillas están unidas entre sí por puentes de un-carbono. El resultado es lo que se llama «anula de porfirina».

La anilla de porfirina, aunque aparentemente grande y pesada, es una combinación de átomos muy estable y corriente en la naturaleza. Hay muchas variedades de moléculas que contienen semejante anilla, ya que las combinaciones de átomos, pequeñas («cadenas laterales»), pueden adherirse en uno u otro punto de la anilla. Cada cadena lateral distinta, o cada combinación distinta de cadenas laterales, produce un nuevo compuesto.

Cuando una porfirina con sus cadenas laterales en la disposición apropiada contiene un átomo de hierro en el centro de la anilla, el resultado es hemo, un componente

esencial de la hemoglobina. No podríamos vivir sin él.

Muchas formas de vida carecen de hemoglobina, pero deben tener porfirina-hierro de todos modos, porque éstos están también presentes en los compuestos llamados «citocromos». Los citocromos hacen posible que las células se sirvan del oxígeno molecular para extraer energía utilizable de las moléculas orgánicas. Todas las células que se sirven del oxígeno (la inmensa mayoría de todas las células existentes) deben tener citocromos.

Cuando una anilla de porfirina con un conjunto algo diferente de cadenas laterales tiene un átomo de magnesio en el centro, es más clorofila que hemo. La clorofila es un componente universal de todas las plantas verdes (que son verdes por la clorofila que contienen). La clorofila es lo que hace posible que las plantas puedan utilizar la energía solar de tal suerte que fabriquen compuestos orgánicos complejos. Todo el mundo animal (incluidos nosotros) depende para su aprovisionamiento de energía de los compuestos orgánicos creados de este modo por las plantas.

Los compuestos de porfirina-magnesio son por consiguiente tan esenciales para la inmensa mayoría de las células como lo son los compuestos de porfirina-hierro.

La B12 tiene una molécula que se ha construido sobre un sistema de anillas que es casi una porfirina. El sistema de anillas consta de las cuatro anillas más pequeñas, de cinco átomos cada una, pero con sólo tres puentes de un-carbono conectando las anillas pequeñas. Falta el cuarto puente, de modo que dos de las anillas conectan directamente una con otra. El resultado es una «anilla corrin» torcida.

La anilla corrin tiene cadenas laterales, algunas muy complicadas, en casi cada átomo disponible. Pero lo más sorprendente es el átomo central. No es de hierro ni de magnesio. Llegados a este punto, pasemos a otra parte de la historia.

Hace varios siglos, los mineros del cobre en Alemania se enfadaban de vez en cuando al encontrar una piedra azul que parecía malaquita, un mineral de cobre, pero que no lo era. Esa piedra azul, tratada como malaquita, no daba cobre y, a veces, soltaba vapores que enfermaban a los mineros. (Este mineral contenía arsénico, como se descubrió finalmente).

Los mineros llegaron a una conclusión natural: la piedra azul era mineral de cobre que había sido encantado por un espíritu con un pervertido sentido del humor. Eran traviosos espíritus de la tierra que el folklore alemán llamaba kobolds. (Son equivalentes a los duendes ingleses llamados goblins, y ambas palabras pueden proceder del griego kobalus.) Así que los mineros llamaron por tanto «kobold» al falso mineral.

Este mineral fue investigado por el químico sueco Georg Brandt (1694-1768), y en 1742 extrajo de él un metal que no era cobre. Por el contrario, se parecía mucho al hierro, hasta el extremo de que era atraído (débilmente) por el imán. No obstante, no era hierro puesto que, en primer lugar, no formaba un óxido pardo-rojizo.

Brandt conservó el nombre que los mineros alemanes le habían dado, pero ganó una ortografía ligeramente diferente: «cobalto».

Debido a este nombre, que ha conservado desde entonces, el Cobalto puede ser llamado justamente «el elemento duende» si uno quiere dramatizar y, para los títulos de estos capítulos, a veces me gusta ser dramático.

El cobalto ha resultado ser muy útil para formar diversas aleaciones, ¿pero tiene acaso alguna función sobre el tejido vivo?

En general el tejido vivo es sobre todo agua, pero si se quita el agua, lo que queda puede ser analizado. Nos encontramos con que el carbono suma casi la mitad del peso de la materia seca.

Así debe ser. Todos los «compuestos orgánicos» (llamados así porque se asociaron originalmente con organismos vivos) están constituidos por moléculas que contienen átomos de carbono en combinación con oxígeno e hidrógeno y, con frecuencia, nitrógeno. Estos cuatro tipos de átomos, tomados conjuntamente, forman el 88,5 por

ciento de la materia seca del tejido de los mamíferos.

También hay un poco de sulfuro y fósforo en las proteínas, mucho calcio y fósforo en los huesos, sodio e iones de cloro disueltos en los fluidos corporales, un poco de magnesio aquí y allá y, naturalmente, hierro en los glóbulos rojos y citocromos. Súmenlo todo y obtendrán más de un 99 por ciento del peso de la materia seca. Así pues es muy fácil desechar el resto como desprovisto de todo valor.

No obstante, cuando las vitaminas llegaron a conocimiento de los bioquímicos, éstos comprendieron la importancia de sus componentes trazadores. ¿No podrían ser algunos elementos también necesarios para la vida, en cantidades de trazo? De ser así, menos del 1 por ciento del peso seco podría incluir pequeñas cantidades de elementos que eran, sin embargo, esenciales para la vida.

Una forma de buscar los elementos trazadores en el tejido es secarlo y quemarlo por completo, dejando una pequeña cantidad de cenizas que pueden ser analizadas.

Invariablemente se encuentran pequeñas cantidades de una variedad de elementos, pero esto plantea una cuestión importante. ¿Están los elementos allí porque son parte de moléculas importantes, incluso vitales, o están allí porque hay siempre una pequeña cantidad de materia contaminante en los alimentos?

Cuando comemos, necesariamente recogemos algo de cada uno de los elementos que allí se encuentran. Indudablemente hay algún átomo de oro vagando por nuestro cuerpo, pero esto no quiere decir que el oro sea un componente esencial del tejido vivo y, por lo que sabemos, no lo es.

La presencia de un «elemento trazador esencial» es más probable si está siempre presente en todas las cenizas procedentes del tejido. Se vuelve incluso más probable si un animal es mantenido a una dieta químicamente libre de tal elemento y, como resultado, parece sufrir por ello. No obstante, la mejor prueba es descubrir que el elemento en cuestión es una parte esencial de una molécula que se sabe que es necesaria para la vida en cantidades trazadoras.

A mediados de la década de los años 20, se encontró cobalto en las cenizas procedentes del tejido vivo, pero durante unos diez años esto fue desechado como un simple caso de contaminación.

En 1934, los nutricionistas de animales se preocuparon por una enfermedad que producía anemia en los corderos de varias regiones del mundo. Añadir compuestos de hierro a los piensos no sirvió para nada.

Pero entonces se descubrió una preparación libre de hierro, procedente de un mineral llamado limonita, que obró el milagro. La preparación fue cuidadosamente analizada y sus varios componentes, en forma pura, se añadieron al pienso de los corderos, de uno en uno. No se tardó mucho en ver que el cloruro de cobalto puro añadido al pienso en pequeñas cantidades curaba la enfermedad. Parecía que el cobalto podía ser esencial para la vida de los corderos y, como se descubrió más tarde, también para el ganado. Sin embargo tanto los corderos como el ganado vacuno son rumiantes, y podría ser que el cobalto fuera sólo útil en tal caso y no lo fuera para organismos no-rumiantes como el ser humano.

Pero entonces llegó la noticia, después de haber sido descubierta la estructura de la B12, de que en el centro de su anillo corrían había un átomo de cobalto y que la molécula de la B12 no funcionaba sin dicho átomo. Como los organismos no pueden mantenerse en vida sin B12 resulta que el cobalto, aunque presente en ínfimas cantidades trazadoras, es esencial para la vida.

A propósito, el cobalto lleva un grupo adherido, un grupo de cianuro, muy fuertemente sujeto para no hacernos daño, y que está presente en cantidades tan pequeñas que no nos puede dañar aunque no estuviera tan sujeto. Por esta razón, a la B12 se la llama ahora también «cianocobalamina».

En el capítulo siguiente estudiaremos la cuestión de cómo puede ser necesario algo en tan pequeñas cantidades y no poder prescindir de ello.

## IX

# UN POCO DE LEVADURA

---

Robyn, mi hermosa hija rubia de ojos azules, que está ahora trabajando como asistente social en psiquiatría, se puso de acuerdo el otro día con su compañero de trabajo y decidieron redactar un duro memorándum denunciando cierta práctica que consideraban odiosa.

Cogieron papel y pluma (lo más fácil) y empezaron a pensar sobre la redacción. Los minutos fueron pasando y no se les ocurría nada excepto una docena de falsos comienzos. Por fin Robyn tiró la pluma exasperada y dijo:

—¿Tú crees que soy hija de mi padre?

Cuando aquella noche me contó la historia, me eché a reír porque cuando era chiquilla había una gran incredulidad al respecto. Como la madre de Robyn estaba en este aspecto completamente por encima de toda sospecha (ni por mi parte, ni por la de nadie) La teoría general era que Robyn había sido accidentalmente cambiada en el hospital por mi verdadera hija. (Ahora sé que no es cierto, porque Robyn ha evidenciado con el tiempo inequívocos rasgos asimovianos y, suponiendo que una mujer hermosa pueda parecerse, sí que se me parece.)

No obstante, amigos míos que contemplaban fijamente a la chiquilla de pelo rubio, que se parecía a las ilustraciones de John Tenniel para Alicia en el País de las Maravillas (nada más verla, en el colegio le pidieron que representara el papel), luego me miraban con cierto estremecimiento de repulsión, y decían:

—¿Estás seguro de que no se han equivocado de niña en el hospital?

Yo respondía, invariablemente, pasándole el brazo cariñosamente por los hombros:

—¡Qué importa! ¡Me quedo con ésta!

Se lo conté a Robyn cuando hablamos de su memorándum en blanco, y le dije que escuchando todos los comentarios de este tipo estaba en inmejorable situación para sacar el máximo partido de la fantasía, común en muchos niños, de que sus padres no lo son realmente, y que ellos son los hijos secuestrados de algún rey.

—¡Jamás! -exclamó Robyn-. ¡Jamás! Nunca, ni por un momento, he dudado de que tú y mamá fuerais mis padres.

¡Esto me encanta! Tanto Robyn como yo tenemos un fuerte sentido del deber. Yo cumpliría puntillosamente con mis obligaciones paternas -lo haría aunque ello no me gustara mucho, y ella haría lo mismo, estoy seguro, con sus obligaciones filiales en las mismas circunstancias. Pero hay entre los dos un gran lazo afectivo que convierte todo eso del deber en un placer increíble.

No puedo dejar de pensar que lo mismo ocurre con mis ensayos científicos. Al haber aceptado entregar a F&SF un ensayo por número, cumpliría desde luego con esta obligación aunque me resultara como un grano en cierta parte. No obstante, disfruto tanto con el trabajo que lo mantengo, mes tras mes, con una sonrisa en los labios. Si quieren que les diga la verdad, lo que me cuesta es limitarme a escribir sólo doce al año\*.

He dedicado los tres capítulos anteriores a las vitaminas, y les parecerá, a medida que vayan leyendo, que estoy cambiando de tema..., pero es sólo en apariencia, como van a ver.

En tiempos prehistóricos, la gente descubrió que si se calentaban y mojaban las espigas del grano para formar una pasta, y luego se aplastaban, podía producirse gran cantidad de una sustancia nutritiva. Se conservaba tan bien que, si el grano se

cultivaba expresamente, el pan duro resultante podía ayudar al mantenimiento de una población de densidad sin precedentes. Claro que comer tan duro material requería buenos dientes, buena digestión y un decidido desprecio por los inútiles placeres de la comida de gourmet.

Más tarde, en el antiguo Egipto, alrededor de 3500 A.C., se descubrió que un determinado tipo de trigo se desprendía tan fácilmente de su cáscara que no necesitaba que se le calentara previamente. Este trigo no calentado, si se molía, mojaba y machacaba, no permanecía plano y duro sino que se hinchaba solo.

Sin duda, la tendencia iba a ser tirar ese material estropeado, pero en tiempos de escasez de grano, este material hinchado podía hornearse para conseguir un pan blando, esponjoso, lleno de agujeritos e inmejorable de gusto y textura.

Lo que ocurre (lo sabemos ahora) es que las células de la levadura, que siempre están flotando en el aire con incontables variedades de otras esporas y semillas de microorganismos, hongos, y plantas, se introducen en el grano molido. Allí viven de los componentes del grano, formando dióxido de carbono y alcohol durante el proceso.

Si el grano se ha calentado demasiado, resulta demasiado caliente para que la levadura pueda vivir en él. Si se moja, machaca y se seca al calor resulta demasiado seco para que la levadura viva en él. Si el grano no es trigo, entonces aunque la levadura viva en él las burbujas que se forman escapan del grano, dejan poca señal, o como mucho una mezcla desmigable. El dióxido de carbono y el vapor de alcohol únicamente no pueden escapar del trigo poco calentado, dejado descansar. Quedan atrapados en una proteína pegajosa llamada «gluten» que, colocada en el horno, se extiende sin romperse, formando pequeñas burbujas de gluten llenas de gas.

Finalmente, el proceso de horneado mata la levadura, expulsa el dióxido de carbono y los vapores de alcohol, pero deja las burbujas que quedan llenas de aire.

Tal vez al principio los panaderos tenían que confiar en que cada cantidad de masa habría acumulado levadura. Pero encontraron el medio de asegurarse el éxito.

Guardaban un poco de la masa hinchada, sin tostar, y horneaban lo demás. Esta pequeña cantidad de masa hinchada la añadían a la masa recién hecha y, al descansar, toda la masa se hinchaba. Se podía seguir añadiendo el poquito de masa a la otra masa fresca, y así conseguir siempre un buen pan hinchado.

La palabra que se aplica a la materia que hace que la masa se hinche es «levadura», de una palabra latina que significa «levantarse», porque la masa, al atrapar dióxido de carbono, se levanta. También puede hablarse de la levadura como de un «fermento», de la palabra latina que quiere decir «hervir», ya que la formación de burbujas recuerda lo que ocurre cuando un líquido hierve. La palabra levadura en sí puede relacionarse con las palabras del griego y del sánscrito que significan «hervir».

En la antigüedad, la levadura no se consideraba viva, puesto que no parecía poseer los atributos de vida. Por ejemplo, no se movía ni daba saltos. No obstante, con la sabiduría de la reflexión, nos preguntamos si a alguien no le llamaría la atención el que una pequeña cantidad de levadura pudiera infectar una nueva cantidad de masa una y otra vez. ¿Acaso la levadura no se multiplicaba? ¿Y no es eso un atributo de la vida?

Quizá, sencillamente, la gente no se preocupaba por estas cosas o si lo hacía, en el contexto de la época, lo consideraban más como una lección moral que como una evidencia científica. San Pablo cita en dos lugares distintos la frase: «Un poco de levadura leva toda la masa.» La frase es análoga a nuestra: «Una manzana podrida pudre todo el cesto.» Parece que quiere decir que si una pequeña falta o un pecado entran en el alma, el alma se corromperá del todo... lo mismo que un sólo pecador en un grupo, corromperá finalmente todo el grupo.

En efecto, el nuevo pan «levado» tal vez fue considerado como el resultado de una corrupción, o quizá se trataba simplemente de la fuerte garra de la tradición en las prácticas religiosas, porque todavía consumimos un pan plano, sin levadura en ciertas ocasiones, como en la Pascua de los judíos, o las obleas de la comunión. (Yo sospecho

que el moderno pan sin levadura es mucho mejor que la variedad prehistórica. Por lo menos yo como galletas de pan sin levadura en cualquier época del año.)

La levadura también convertirá el zumo de frutas en vino y los brotes remojados de la cebada en cerveza y, eso también es más viejo que la historia.

El proceso de fermentación no fue estudiado sistemáticamente por los químicos hasta principios del siglo pasado. En 1833, un químico francés, Anselme Payen (1795-1871) separó una sustancia de los granos germinados que no era de ningún modo lo que producía la cerveza. No obstante, esta sustancia convertía el almidón en azúcar más rápidamente que en su proceso natural. Payen llamó a la sustancia «diastasa», de una palabra griega que significa «separar» (aunque no estoy seguro de que Payen pensara que el término fuera apropiado).

Este aceleramiento de una reacción química era un fenómeno que había sido descubierto en el curso del último cuarto de siglo, y al proceso se le había llamado «catálisis» (véase «Los apresuradores» en *Sobre el tiempo, el espacio y otras cosas*, Doubleday, 1965) pero las sustancias que produjeron la catálisis habían sido, hasta entonces, sustancias inorgánicas como el platino en polvo. En 1811 se había descubierto un método catalítico incluso para la producción acelerada de azúcar del almidón, que precisamente Payen estaba estudiando, pero el catalizar había sido, en un caso anterior, ácidos minerales diluidos.

La diastasa difería de los catalizadores conocidos en que era una materia orgánica. Merecía, por tanto, un nombre especial. Estos catalizadores orgánicos pasaron a conocerse como «fermentos», indicando así una relación con cualquier cosa que condujera al proceso de fermentación que produce la cerveza, el vino y el pan levado. Se sabía en aquella época que había algo en las paredes del estómago que rompía, o «digería», las moléculas de proteína. En 1836 el fisiólogo alemán Theodor Schwann (1810-1882) trató las paredes interiores del estómago para poder aislar el principio activo. Se trataba de otro fermento que él llamó «pepsin», del griego «digerir». Era el primer fermento que se aislaba de un tejido animal.

Obviamente, la levadura también era (o contenía) un fermento; uno que catalizaba una reacción que convertía el almidón del grano, o el azúcar del zumo de frutas, en dióxido de carbono y alcohol. Había, no obstante, una diferencia entre la levadura y los fermentos, como la diastasa y la pepsina. La diastasa y la pepsina existían en cantidades determinadas y se gastaban finalmente. Por el contrario, la levadura parecía formarse de sí misma indefinidamente. Un poco de levadura leva toda la masa. Schwann tuvo una idea al respecto, una idea que le llegó indirectamente. La verdad es que empezó estudiando la putrefacción. Observó que si se hervía la carne y se guardaba en aire calentado, no se pudría. Schwann presintió que había microorganismos que estaban en la carne, y en el aire, y que éstos provocaban la putrefacción. El calor mataba los microorganismos y por tanto detenía la putrefacción. Sin embargo, había otros científicos que creían que la putrefacción no la provocaban los microorganismos, sino el oxígeno, y que el calor dañaba al oxígeno. Para probarlo, Schwann calentó aire y dejó que una rana lo aspirara. La rana lo pasó muy bien con el aire caliente, así que Schwann dedujo que no había nada malo en el oxígeno. Schwann siguió probando. Echó levadura en agua, la hirvió y luego le aplicó aire caliente y esperó ver que aún fermentaría azúcar y almidón, con lo cual demostraría de nuevo que el oxígeno seguía intacto. Pero no ocurrió así. La fermentación se había detenido.

Schwann tuvo que invertir su actitud. Se sabía que la levadura contenía pequeños glóbulos microscópicos que estaban simplemente allí sin hacer nada, de forma que nadie los consideraba vivos. Pero, puesto que el calor había hecho que la levadura no funcionara, Schwann anunció en 1837 que los glóbulos debían ser células vivas de la levadura que podían morir por el calor. Pero ahí fue derrotado por un físico francés, Charles Cagniard de la J'our (1777-1859) quien al observar los glóbulos de la levadura

con el microscopio, los había visto florecer y producir nuevas células. Vivían y se reproducían, así que no debía asombrar que un poco de levadura levantara toda la masa. Esta opinión fue recibida con cierta resistencia por parte de los más importantes químicos de la época. El químico alemán Justus von Liebig (1803-1873) fue un oponente especial. Insistía violentamente en que la fermentación era un proceso químico y no biológico, y era tal su prestigio que mantuvo esta postura durante veinte años.

Pero surgió alguien mucho más grande que Von Liebig, el químico francés Louis Pasteur (1822-1895). Investigó detalladamente la fermentación, estudiando cuidadosamente la levadura en el microscopio y permitiéndose un sutil experimento. Descubrió, por ejemplo que la levadura no podía llevar a cabo la fermentación si el entorno carecía de nitrógeno, algo que era de esperar de un material vivo. En 1857 demostró, más allá de cualquier duda, que la levadura al fermentar absorbía nutrientes, crecía y se reproducía; en resumen que consistía en células vivas de levadura.

En 1875, un bioquímico alemán, Wilhelm Friedrich Kühne (1837-1900) aisló otro fermento digestivo. Este procedía del jugo pancreático, y Kühne lo llamó «tripsina», de otra palabra griega que significaba «digestión». La tripsina, como la pepsina, se descomponía en moléculas de proteína, pero los dos fermentos no eran idénticos, porque mientras la pepsina obraba solamente en soluciones fuertemente ácidas, la tripsina lo hacía sólo en soluciones ligeramente alcalinas.

A la vista del trabajo de Pasteur, Kühne decidió que tenía que haber dos tipos de fermentos. Uno que sólo trabajaba como parte de una célula viva como la levadura («fermentos organizados») y otro tipo que podía extraerse del tejido y que realizaría su trabajo aún incluso sin formar parte de nada que fuera viviente («fermentos no organizados»).

Kühne presintió que esta distinción era fundamental, así que merecía la pena incluirla en el vocabulario científico. El mismo año en que descubrió la tripsina, sugirió que la palabra fermento se limitara (por razones históricas) a las sustancias de las células vivas. Los fermentos no organizados, como la diastasa, pepsina y tripsina, aconsejó que se llamaran «enzimas», del griego que significa «en la levadura». No era un buen nombre para su propósito, puesto que los fermentos no organizados no se encontraban en la levadura. Lo que intentaba decir, no obstante, era que se parecían, en su acción, a los fermentos que estaban en la levadura. En todo caso, la palabra enzima, ahora una parte integrante y bien conocida del lenguaje corriente, entró en uso en 1875. Pero era inútil hacer esta distinción, a menos que fuera una distinción. Era importante demostrar que cualquier destrucción de la integridad de la célula de la levadura detendría la fermentación. Lo conseguiría el calor, claro, pero sería más impresionante si la simple destrucción mecánica de la célula de la levadura, por el mero hecho de fragmentarla a temperatura normal, detuviera la fermentación. Si esto podía demostrarse, era razonable suponer que el fermento no era simplemente una sustancia contenida en el interior de la célula de la levadura, sino el trabajo de la célula como un todo.

En 1896, un químico alemán, Eduard Buchner (1860-1917), seguía esta tarea impulsado por su hermano mayor, Hans, que también era un químico eminente. Buchner puso la levadura en una mezcla de arena y tierra diatómica y lo molió todo fuertemente. Sin duda las células quedarían todas perforadas y destruidas con este tipo de tratamiento, aunque era de suponer que las moléculas individuales no se verían afectadas.

Con este sistema, Buchner convirtió rápidamente la levadura una pasta espesa. Envolverla en una lona y colocó todo bajo fuerte presión, para poder exprimir todo el fluido que hubiera. Este fluido representaba el contenido líquido de la célula de levadura, cuando Buchner estudió el líquido al microscopio, no pudo encontrar ni una

sola célula de levadura intacta.

Buchner estaba convencido, incluso antes de hacer la prueba, de que este fluido no tendría ningún efecto fermentativo, pero no quería que se malograra. No quería que una infección por microorganismos produjera cambios químicos e hiciera el resultado dudoso. Tampoco quería estar en situación de tener que estar todo el tiempo moliendo y exprimiendo nuevos lotes para poder llevar a cabo sus experimentos con fluidos frescos solamente.

Una forma de proteger el extracto de un tejido contra la acción bacteriológica es echarle mucho azúcar. Como a las bacterias les gusta mucho el azúcar, como a usted y como a mí, preparar una solución cargada de azúcar es pasarse con ellas. (Este principio es el que emplea la gente que hace confituras y jaleas. La conservación con azúcar no sólo evita que se estropeen sino que hace que el preparado sepa a gloria a los niños... o a los que tienen el corazón juvenil, como yo.)

Así pues, Buchner echó el azúcar al jugo de levadura, y estoy convencido de que pegó un salto de varios metros por el aire después de hacerlo, porque la solución empezó a fermentar. Precisamente lo que no esperaba.

Era obvio por tanto que la levadura contenía un fermento que podía retirarse de la célula y que seguiría haciendo su trabajo lo mismo que había hecho cuando formaba parte de la célula. Buchner llamó al fermento «zimase», del griego «levadura».

Podía verse que no había una verdadera distinción entre fermentos y enzimas.

Cualquier fermento que estuviera dentro de una célula podía ser extraído de su célula, mediante el debido tratamiento, sin perder por ello ninguna de sus propiedades catalíticas. Los bioquímicos pudieron llamarlos a todos fermentos, o a todos enzimas... La decisión fue llamarlos enzimas.

Buchner consiguió el Premio Nobel de química, por su trabajo, en 1907. Después, tan pronto estalló la Primera Guerra Mundial, se presentó voluntario aunque contaba entonces cincuenta y cuatro años. Las autoridades alemanas fueron lo bastante estúpidas como para aceptar su gesto quijotesco, y murió en 1917 en el frente de Rumania. A buen seguro que los alemanes pudieron haber encontrado un mejor uso para su cerebro antes que colocarle en las líneas del frente como parabalas. (Casi un siglo antes, cuando Pasteur a los cuarenta y ocho años, trató de hacerse voluntario en la guerra franco-prusiana, los franceses le dieron unas palmaditas en la cabeza y le dijeron que tenía más valor para la nación y para el mundo quedándose en su laboratorio.)

Ahora que las enzimas podían definirse, sin referirse a las células vivas, como «catalizador orgánico», la pregunta que se planteaba era: ¿Qué eran?

Existía un gran número de variedades de compuestos orgánicos. ¿Estaban las enzimas extendidas sobre todo el conjunto, o eran miembros de un grupo homogéneo, de uno u otro tipo?

Esto no era cosa fácil de determinar. Los catalizadores, en general, trabajan en muy pequeña concentración, e incluso la pequeña concentración es muy, muy pequeña. Los catalizadores no toman necesariamente parte en una reacción, pero a veces se limitan a ofrecer una superficie sobre la que puede tener lugar fácilmente una reacción química, por una y otra razón. Me encanta describirlo como la pequeña superficie de un escritorio sobre el que puede usted dejar una hoja de papel y escribir una nota en él con mucha más facilidad que lo haría si el mismo papel estuviera suspendido en el aire. No precisa más que esta superficie sobre la que escribir un millón de notas, y entre el revuelo de papeles le resultaría difícil localizar esa superficie catalizadora. Muchos químicos creían que las enzimas eran proteínas. Las proteínas, de entre todos los tipos de materia orgánica, tenían las más complicadas moléculas. Era fácil imaginar a cada una como poseedora de una superficie molecular de forma y característica distinta.

Una superficie apropiada encajaría sólo con ciertas sustancias reactivas y les permitiría

reaccionar mucho más rápidamente que de otro modo. Más aún, las moléculas de proteína podían tener superficies formadas con tal precisión que cada una podía acoplarse con una sola molécula y con ninguna otra. Esto explicaría por una enzima puede catalizar una determinada reacción involucrando una determinada molécula, y no otra. Esto es lo que se llama «especificidad» o acción enzimática.

La teoría de la enzima parecía ser una perfecta explicación de las enzimas, pero tenía el inconveniente de que nadie parecía capaz de poder probarla. En realidad, la más minuciosa investigación parecía terminar en refutación.

El químico alemán Richard Willstätter (1872-1942) emprendió la investigación del asunto entre 1918 y 1925. Purificó una solución de diversas enzimas variadas. En cada caso, se deshizo de las impurezas inertes, quedándose con una solución de fuerza enzimática sin disminuir, pero con menos y menos materia disuelta en ella a medida que tenía lugar el proceso purificador.

Al final, Willstätter se encontró con soluciones claras que mostraban una total actividad enzimática, pero que no mostraban señales de contenido proteínico. Sirviéndose de las más delicadas pruebas de su repertorio para proteínas, Willstätter se encontró con una tajante negativa. Llegó a la conclusión de que las enzimas no eran proteínas por naturaleza, sino tal vez pequeñas moléculas. En vista de las muchas propiedades de la acción enzimática, esta conclusión parecía dudosa, pero Willstätter era un químico formidable que había ganado el Premio Nobel de química en 1915 por su trabajo sobre la clorofila y otros pigmentos vegetales, y poca gente estaba dispuesta a discutir el caso con él.

Y sin embargo, mientras Willstätter trabajaba hacia su conclusión, un bioquímico americano, James Baicheller Sumner (1887-1955) estaba trabajando hacia otra. Sumner estaba especialmente interesado por una enzima que separaba la urea en moléculas muy pequeñas de amoníaco y dióxido de carbono. La enzima fue llamada «ureasa». (El final en esa, utilizado en primer lugar por Payen en diastasa, se ha hecho universal para los nombres de enzimas y grupos de enzimas, con escasas excepciones en el caso de aquellas enzimas que como la pepsina y la tripsina eran ampliamente conocidas antes de que se tomara firmemente el acuerdo.)

Una semilla llamada jackbean era particularmente rica en ureasa, y mientras Willstätter estaba purificando sus soluciones de enzimas, Sumner purificaba su extracto de jackbean. Sumner tardó nueve años en aprender a purificarla de modo satisfactorio, pero al final obtuvo pequeños cristales que, en solución, mostraron fuerte actividad de ureasa.

Sumner decidió que aquellos cristales eran en realidad cristales de ureasa..., la propia ureasa. Cuando probó los cristales, reaccionaron fuertemente positivos a las pruebas de proteínas. Su conclusión, en 1926, pese al trabajo de Willstätter, fue que la ureasa era una proteína. Y lo que es más, si una enzima es una proteína, parece razonable que otras lo sean también; incluso es posible que todas lo sean.

Willstätter meneó la cabeza. Ignoró despectivo el trabajo de Sumner. Willstätter era famoso y gozaba de mucha consideración. Sumner, por el contrario, era casi un donnadie. Así pues, el trabajo de Sumner tardó varios años en ser aceptado.

Sin embargo había otro bioquímico, John Howard Northrop (1891- ), también interesado en el mismo asunto. Siguiendo los pasos de Sumner, cristalizó la pepsina en 1930. Después, en 1932 cristalizó la tripsina, y en 1935 la quimotripsina (otra enzima digestiva). Todas resultaron ser proteínas.

Además, el procedimiento de Northrop era simple y sistemático, y podía ser seguido fácilmente por cualquiera. Había cristalizado gran número de enzimas y todas resultaron ser proteínas.

El caso quedó zanjado más allá de toda duda, y resultó que Willstätter estaba equivocado. En 1946, Sumner y Northrop compartieron el Premio Nobel de química. ¿Qué había ocurrido con Willstätter? Era un químico de primera clase y parecía

imposible que hubiera cometido errores estúpidos. Y realmente no los cometió. Apareció con una solución de enzimas mostrando gran actividad y muy pocas impurezas. Pero solución contenía tan pocas moléculas de enzimas (después de todo se precisan muy pocas) que incluso la prueba más sensible de proteínas a disposición de Willstätter había fallado realmente en indicar cualquier cosa. Su trabajo fue meticuloso y sus conclusiones razonables. Sin embargo, se trata de un claro ejemplo de la falta de credibilidad en un resultado negativo. Demostrar que algo A no es lo bastante satisfactorio a menos que también se pueda demostrar que es B. Sumner y Northrop, por el contrario, consiguieron tratar la solución de tal modo que lograron la enzima en forma sólida, cristalina. Después la disolvieron en la cantidad más pequeña y conveniente de agua y así obtuvieron una solución concentrada que dio una reacción positiva a todas las pruebas para proteínas. Claro, todo es muy fácil de ver... después de que se ha hecho.

Resulta que las proteínas están formadas por cadenas de aminoácidos. Cierta número de ellas sólo están formadas por eso, y son las «proteínas simples». Entre las enzimas, la pepsina y la tripsina constituyen ejemplos de proteínas simples.

Algunas proteínas, sin embargo, están formadas por cadenas de aminoácidos, más porciones que no son cadenas de aminoácidos. Se las llama «proteínas conjugadas».

Algunas enzimas son proteínas conjugadas. Unos ejemplos que no he mencionado anteriormente en este ensayo son «catalasa», «peroxidasa» y «citocromo oxidasa».

Si la porción de ácido no-amino está firmemente adherida a la proteína, se llama «grupo prostético». No obstante, en algunas enzimas, la porción de ácido no-amino no está firmemente adherida a la proteína sino que es fácilmente separable. La porción separada se llama «coenzima» y esta coenzima es altamente significativa en relación con las vitaminas.

En el próximo capítulo estudiaremos las conexiones de coenzimas y vitaminas.

\*Así que, si se sienten impulsados a escribir al Noble Editor para que de vez en cuando induva dos ensayos en un mismo número, adelante. No me importa, todo lo contrario!

---

# X

## LA CUCHILLA BIOQUIMICA

---

Hace poco tiempo, me encontraba en el teatro en espera de que se levantara el telón. En eso que se me acercó una mujer de pelo blanco y me dijo:

—Doctor Asimov, hace tiempo fuimos compañeros de escuela.

—¿De veras? -murmuré con mi habitual suavidad-. No me parece lo bastante vieja.

—Pues sí -insistió-. En la E.P.202.

Me quedé de piedra, porque yo estuve en la Escuela Preparatoria 202 entre los ocho y diez años. Y así se lo dije.

—Ya lo sé. Le recuerdo porque una vez la maestra nos dijo que cierta ciudad era la capital de cierto país, y usted protestó inmediatamente diciéndole que estaba equivocada, y que otra ciudad era la capital. Discutieron y, a la hora del almuerzo, usted corrió a su casa y volvió con un gran atlas y le demostró que tenía razón. No se me olvidará nunca. ¿Se acuerda usted?

Respondí disgustado:

—Sinceramente, no, pero sé que debí ser ese chico, porque era el único en la escuela lo bastante estúpido como para ofender y humillar a una maestra sólo porque me negué a pretender que estaba equivocado cuando sabía que tenía razón.

Luego, en el entreacto, demostré que seguía siendo tan estúpido como siempre. Otra mujer se me acercó y me pidió que estampara mi autógrafo en el programa, y accedí, claro.

—El suyo, es el segundo autógrafo que he solicitado, doctor Asimov -me dijo.

—¿De quién es el otro? -pregunté.

—De Laurence Olivier.

Sonreí y abrí la boca para darle las gracias, pero me oí decirle:

—¡Qué honrado se sentiría Olivier si supiera en qué compañía se encuentra!

Pretendía ser una broma, claro, pero la mujer se alejó en silencio y sin la más mínima sonrisa, y me di cuenta de que acababa de reafirmar mi reputación de monstruosa vanidad.

No crean, pues, que no siento el más mínimo estremecimiento al sentarme a escribir uno de estos capítulos, al preguntarme, cómo no puedo evitar hacerlo, si mi natural estupidez aparecerá claramente esta vez. Esperemos que no sea así al escribir mi cuarto y, último capítulo sobre las vitaminas.

Una molécula está formada enteramente, o casi enteramente, por una o más cadenas de «aminoácidos».

En un extremo de un aminoácido hay un «amino grupo», formado por un átomo de nitrógeno y dos átomos de hidrógeno (NH<sub>2</sub>). Al otro extremo hay un «grupo ácido carboxílico» formado por un átomo de carbono, dos átomos de oxígeno y uno de hidrógeno (COOH). (Por eso se llama un aminoácido.)

Entre el amino grupo y el grupo ácido carboxílico hay un solo átomo de carbono conectado a uno y otro. Dicho carbono tiene dos conexiones adicionales, una de las cuales está adherida a un átomo de hidrógeno y la otra a una «cadena lateral».

Esta cadena lateral puede ser otro átomo de hidrógeno, o uno entre una variedad de grupos de átomos conteniendo carbono.

Los diversos aminoácidos que se encuentran en las moléculas de proteínas difieren unos de otros por la naturaleza de sus cadenas laterales.

Hay veinte aminoácidos diferentes que se pueden encontrar en casi cualquier molécula de proteína aislada del tejido vivo, y cada uno tiene una cadena lateral diferente. Los aminoácidos se juntan cuando el amino grupo de uno se combina con el grupo ácido carboxílico de otro.

Una larga sucesión de estos enganches forma una cadena de aminoácidos, y lo importante de dicha cadena es que las cadenas laterales permanecen intactas y sobresalen de la cadena como los colgantes de una pulsera.

Todas las cadenas aminoácidas tienen una tendencia natural a curvarse, doblarse y plegarse en determinados lugares, formando así un objeto tridimensional, con las cadenas laterales asomando aquí y allí como vello.

Algunas de las cadenas laterales son pequeñas, otras abultadas; algunas carecen de carga eléctrica, otras tienen una carga positiva y otras una carga eléctrica negativa; algunas tienen tendencia a disolverse en agua pero no en grasa; algunas tienden a disolverse en grasa, pero no en agua.

Cada diferente disposición de aminoácidos produce una proteína con diferente reparto de cadenas laterales en la superficie, y cada reparto diferente de cadenas laterales significa una molécula de proteína de propiedades marcadamente diferentes.

El número de disposiciones posibles en una cadena formada por cientos de diferentes aminoácidos de veinte variedades diferentes, es inimaginable.

Si la cadena contuviera solamente veinte aminoácidos, uno de cada tipo, el número de combinaciones sería algo más de 2.400.000.000.000.000 (dos trillones y medio). Imaginen el número de diferentes combinaciones posibles si hubiera docenas de cada tipo de aminoácido repartidos al azar a lo largo de la cadena. Una vez calculé que los aminoácidos en una molécula de hemoglobina podían disponerse de cualquiera de  $10^{620}$  modos. (Es decir, uno seguido de 620 ceros.) El número de todas las moléculas de hemoglobina que han existido en todos los organismos que contienen hemoglobina que hayan vivido en la tierra a lo largo de la historia, no tiene nada que ver con ese número. Incluso el número de partículas subatómicas del universo, no es nada comparado con este número.

No es sorprendente, pues, que las moléculas de proteína puedan producir un número prácticamente infinito de superficies, por lo que es relativamente fácil encontrar una que sea perfectamente apta para cualquier función.

Eso es lo que hace que la química de la vida sea una cosa tan versátil y delicada, y por qué, empezando por las moléculas de proteína más simples de hace más de 3 billones de años, la vida podría cambiarse en decenas de millones de especies diferentes, de las que, por lo menos, 2 billones están ahora vivas.

Ciertas proteínas son muy corrientes y forman una masa enorme de materia, generalmente en las cosas vivientes. Por ejemplo la keratina, que se encuentra en la piel, cabello, cuernos, pezuñas y plumas; el colágeno, en cartílagos y tejido conjuntivo; la miosina, en los músculos, y la hemoglobina, que se encuentra en la sangre.

Si dejamos de lado la pura masa y consideramos simplemente las distintas clases de proteínas conocidas, la gran mayoría de ellas, con mucho, son enzimas. Se conocen unas dos mil enzimas diferentes, que han sido estudiadas, y probablemente muchas más que los bioquímicos aún no han aislado. Además, cada enzima puede existir en un número de variedades ligeramente diferentes.

Cada enzima tiene una superficie que presenta una forma característica, un tipo de carga eléctrica y cierta tendencia química. Cada una, pues, es capaz de unirse sólo a una de las pocas moléculas íntimamente relacionadas, o a una nada más, y proporcionar el entorno necesario para hacer posible un rápido cambio químico para aquellas pocas o únicamente para aquella sola. En ausencia de esta enzima, podría tener lugar el mismo cambio químico, pero en este caso muy lentamente.

Como el número de esas superficies que ahora se conoce que existen y que son útiles

no son nada comparadas con la cantidad que potencialmente pueden existir, hay espacio de sobra para posteriores evoluciones y para la formación de infinitas especies nuevas.

Incluso si millones de planetas de nuestra galaxia están acibillados de vida basada en moléculas de proteína, es lógico pensar que cada planeta podría tener millones de especies totalmente distintas de las de cualquier otro. En realidad, la posibilidad de duplicación (no hablemos de cruces), es prácticamente cero.

La distribución de las cadenas laterales hace posible que una molécula de proteína cumpla eficazmente con su trabajo, y algunas enzimas consisten sólo en cadenas de aminoácidos. Las enzimas digestivas, pepsina y tripsina, que mencioné en el capítulo anterior, son de este tipo. Tales proteínas compuestas sólo de aminoácidos, son «proteínas simples».

Pero es posible que una proteína incluya grupos de átomos, que no sean aminoácidos, dentro de sus moléculas. En general, la preponderancia de la molécula depende de los aminoácidos, así que seguimos considerándola como una proteína, pero la porción de ácido no-amino puede ser importante e incluso crucial en su funcionamiento.

Las enzimas que contienen agrupaciones que no son aminoácidas son las «proteínas conjugadas». (Conjugadas, del latín que significa juntas o en conjunto, es un término apropiado puesto que las agrupaciones de ácido no-amino están unidas a la cadena de aminoácido).

Existen varios tipos de proteínas conjugadas, diferenciadas entre sí por la naturaleza de sus grupos de ácido no-amino. De este modo las moléculas de proteínas unidas con ácidos nucleicos son «nucleoproteínas»; las que están unidas con compuestos grasos son «lipoproteínas»; las que se unen con compuestos parecidos al azúcar son «glicoproteínas»; las que lo están a grupos de fosfatos son «fosfoproteínas», y así sucesivamente.

La porción de ácido no-amino de una proteína puede adherirse con bastante fuerza a la cadena de aminoácido, y la porción adherida se conoce entonces como «grupo prostético». (Prostético procede de la palabra griega que significa «añadido a». El grupo prostético está añadido a las moléculas de proteína.)

No obstante, a veces el grupo prostético está unido débilmente a las moléculas de proteína y puede ser retirado con un tratamiento suave. Esto es frecuentemente cierto en el caso de las enzimas, y el grupo prostético fácil de retirar se llama entonces «coenzima», por razones que les explicaré en seguida.

Incluso cuando una enzima posee una coenzima con una estructura absolutamente distinta de la de las proteínas, sigue siendo la cadena aminoácida de la enzima la que proporciona la superficie necesaria y determina la especificidad de la enzima (la capacidad de una enzima de trabajar con una sola clase de molécula o, como mucho, con un número muy reducido). Con la molécula seleccionada, la coenzima puede realizar entonces el trabajo de efectuar el cambio químico deseado.

Se podría comparar a la enzima con una porra de madera que por sí sola, sin que se le añada nada, puede hacer un buen trabajo, como aplastarle la cabeza a un enemigo para hacerle entrar en razón. Puede clavetear la cabeza de la porra con hueso, piedra o metal, y esto servirá para hacer que el porrazo sea más contundente. O puede sujetar una hoja afilada a un palo de madera y transformarlo en cuchillo o en hacha. De por sí, el mango no es muy útil cuando tiene que actuar de cuchillo; una hoja afilada sola sería difícil de manejar. Pero si junta las dos cosas el trabajo se hace a la perfección.

La porción de aminoácido de una enzima vendría a ser el mango del cuchillo, mientras que la coenzima sería la hoja, el filo cortante... Pero, recuerden, algunas enzimas (como las porras) no necesitan que se les añada nada para hacer el trabajo.

Para estudiar las enzimas, lo mejor es conseguir una que sea lo más pura posible. No resulta fácil. Una enzima determinada existe en pequeña concentración en las células.

Con ella hay otras muchas enzimas, junto con proteínas que no son enzimas, por no hablar de otras grandes moléculas tales como ácidos nucleicos y pequeñas moléculas como las del azúcar, grasas, aminoácidos individuales, y demás.

Actualmente existe una enorme variedad de modos de separar unas proteínas de otras, y de otras grandes moléculas, y, buscando y seleccionando entre las fracciones para ver cuál de ellas es la que mejor provoca la reacción por la que uno se interesa, también puede seleccionar gradualmente la enzima que se busca y obtenerla en forma relativamente concentrada y pura.

Pero también querrá sacar todas las moléculas pequeñas. Quiere las moléculas de la enzima y nada más, excepto el agua que las mantiene disueltas (idealmente, ni siquiera quiere usted el agua, pero le encantaría obtener las moléculas de la enzima en forma cristalina... sólo enzima, y nada más).

Para deshacerse de las pequeñas moléculas, los bioquímicos se sirven de las «membranas semipermeables». Se trata de membranas finas de las que se usan hoy en día para hacer embutidos. Son tan finas y sus moléculas se agrupan con tan poca fuerza que tienen pequeños agujeros. Por supuesto, los agujeros son invisibles, porque son de dimensión molecular. En realidad son demasiado pequeños para permitir el paso de una gran molécula, como la de una proteína (hecha de cientos o miles de átomos), pero pueden ser atravesados por pequeñas moléculas constituidas por tan sólo unas pocas docenas de átomos. De ahí que se la llame membrana semipermeable; es permeable para ciertas moléculas, pero no para otras.

Supongamos pues que cierta cantidad de solución de enzima se pone en una bolsa hecha de membrana semipermeable, y se ata. La bolsa se cuelga sobre un gran vaso de agua. Algunas de las pequeñas moléculas que hay dentro de la bolsa lograrán, por simple movimiento, pasar a través de los agujeros de la membrana y caerán en el agua. Otras muchas moléculas pequeñas atravesarán la membrana y caerán en el agua, pero las moléculas grandes de enzima se quedarán dentro.

Naturalmente también es posible que las pequeñas moléculas, una vez se encuentren en el agua exterior, vuelvan a meterse en la bolsa a través de los agujeros de la membrana. Finalmente se logra un equilibrio con las pequeñas moléculas moviéndose en ambas direcciones en la misma proporción, de modo que no hay más cambio en la concentración.

No obstante, como el volumen del interior de la bolsa suele ser considerablemente más pequeño que el del exterior, la mayoría de las moléculas pequeñas están fuera, en el agua, para cuando se ha logrado el equilibrio.

Si no se han retirado suficientes moléculas pequeñas en el momento de alcanzar el equilibrio, siempre se puede colocar la bolsa en una nueva cantidad de agua y preparar un nuevo equilibrio que llevará la concentración de pequeñas moléculas dentro de la bolsa a un nivel aún menor. En realidad, usted podría mantener el agua corriente entrando por un lado y otro del recipiente a fin de que la bolsa de enzimas esté siempre en agua nueva. Entonces, todas las moléculas pequeñas estarán virtualmente retiradas.

Este proceso se llama «diálisis» (de las palabras griegas que significan «pasar a través») porque usted puede ver cómo las pequeñas moléculas se disocian de las grandes y pasan a través de la membrana.

En 1904, un bioquímico inglés, Arthur Harden (1865-1940) se ocupaba de la purificación de la zimasa de la enzima (que ya mencioné en el capítulo anterior). Uno de los métodos que utilizó fue la diálisis. Colocó una solución de zimasa en una bolsa de membrana semipermeable, y colocó la bolsa en un recipiente de agua. De este modo sacó la mayor parte de las moléculas pequeñas.

Pero al hacerlo descubrió con gran sorpresa que la zimasa del interior de la bolsa ya no producía fermentación. Sin embargo, si añadía el agua del exterior de la bolsa a la solución de zimasa, la mezcla volvía a mostrar actividad.

Aparentemente, la enzima consistía en dos partes unidas tan débilmente que la más leve acción de la diálisis bastaba para separarlas. Una parte estaba formada por grandes moléculas que no podían pasar a través de la membrana, mientras que la otra parte la formaban pequeñas moléculas que sí podían pasar, y ambas, conjuntamente, eran esenciales para el proceso que provocaba la fermentación.

Además, la zimasa del interior de la bolsa podía desactivarse por el calor, por tratarse de una proteína. Una molécula de proteína es tan grande y compleja que resulta desvencijada, por así decirlo. La vibración de sus diferentes partes, intensificada a medida que aumenta la temperatura, no tarda en destruir su orden, rompe la superficie molecular y, naturalmente, destruye la actividad enzimática. El enfriamiento en sí no restablece la actividad de la zimasa desactivada de tal forma, ni tampoco se consigue añadiéndole la materia que se encuentra en el agua exterior.

La materia que hay fuera de la bolsa puede hacerse hervir y, cuando recupera la temperatura normal, todavía es capaz de activar la zimasa (siempre que la zimasa, claro, no haya sido calentada). Así pues, la materia exterior no es una proteína.

Harden llegó a la conclusión de que la enzima está formada por una parte de proteína y otra de no-proteína. La parte de no-proteína la llamó «cozimasa», una palabra en la que el prefijo 'CO-' procede del latín, que significa «junto», puesto que la pequeña porción trabaja conjuntamente con la grande.

Por este descubrimiento y por su otro trabajo sobre fermentación, Harden recibió el Premio Nobel de química en 1929 junto a Von Euler-Chelpin.

La cooperación en el trabajo de las dos partes, una proteína grande y una no-proteína pequeña, resultó finalmente ser característica en un cierto número de enzimas (pero no en todas). En el caso de las enzimas formadas por esas dos partes, la porción proteínica se llamó «apoenzima»; el prefijo 'APO-', del griego, significa «fuera» o «separación».

Es la parte de enzima que queda cuando se retira la parte pequeña. La parte no-proteínica recibe el nombre de «coenzima» por lo que la «cozimasa» de Harden pasó a llamarse «coenzima» 1. Las dos partes juntas forman el «holoenzima»; el prefijo 'HOLO-' deriva del griego y significa «completo» o «entero». A decir verdad, las palabras apoenzima y holoenzima se usan raramente, mientras precoenzima resulta una palabra familiar en bioquímica.

Compartiendo el Premio Nobel de 1929 con Harden, estaba el germano-sueco Hans Karl Von Euler-Chelpin (1873-1964), químico cuyo trabajo sobre fermentación también es importante. Euler-Chelpin se volcó sobre el problema de la estructura molecular de la coenzima 1. Empezó aislando coenzima 1 de la levadura, purificándola y concentrándola a más de 400 veces. Finalmente, consiguió la suficiente para un análisis detallado, que completó en 1933.

Resultó que la coenzima 1 tenía un fuerte parecido con las estructuras nucleótidas que concurren en los ácidos nucleicos, pero notablemente diferenciadas de ellos al contener como parte de la estructura un grupo de piridina formado por una anilla de cinco átomos de carbono y uno de hidrógeno. También contenía dos grupos de fosfato, así que podía llamarse «nucleótida difosfopiridina», generalmente abreviada NDP.

Otra coenzima, que se llamó coenzima 2, difería de la NDP sólo en la presencia de un tercer grupo de fosfato, por la que se llamó «nucleótida trifosfopiridina» o NTP.

Existen unas doscientas clases de enzimas conocidas que tienen NDP o NTP como coenzimas. NDP y NTP actúan para retirar un par de átomos de hidrógeno de una molécula y traspasarlos a otra. Este tipo de reacción química es vital para la producción de energía y las enzimas que lo llevan a cabo se llaman «dehidrogenasas».

La porción proteínica de una dehidrogenasa proporciona la superficie sobre la que una molécula determinada se encuentra a gusto. Las doscientas diferentes apoenzimas hacen posible el manejo de doscientas moléculas diferentes, y en cada una de éstas las coenzimas NDP o NTP realizarán el trabajo de transferir átomos de hidrógeno. Las

NDP o NTP son por tanto la cuchilla que realiza el «corte» pero esto requiere la apoenzima selectiva, el «mango», como herramienta útil.

Lo más interesante de NDP y NTP es que la anilla de piridina que forma parte de la molécula, cuando se la separa del resto, resulta ser una molécula de nicotinamida que, tal como les dije en el Capítulo VII, es la vitamina cuya ausencia de la dieta produce la enfermedad llamada pelagra.

Si la nicotinamida falta de la dieta, el cuerpo no puede formar NDP o NTP, y esto significa que las hidrogenasas empiezan a pararse en su funcionamiento y las células dejan de funcionar normalmente. Los síntomas de pelagra son simplemente una serie de indicios de este fracaso.

Además, a medida que los bioquímicos determinaban la estructura de más y más coenzimas, se encontraron con que varias vitaminas estaban frecuentemente incluidas en sus estructuras. Así pues es necesaria una vitamina en la dieta para formar una coenzima que permitirá a una, o varias, enzimas clave, realizar su trabajo. Sin la vitamina, ciertas reacciones clave fallarán en las células, como consecuencia de lo cual se produciría la enfermedad y, finalmente, la muerte.

Como las enzimas son catalizadoras, se necesitan en el cuerpo en muy pequeña cantidad. Por lo tanto, las coenzimas se necesitan también en pequeña cantidad, y consecuentemente las vitaminas son necesarias sólo en pequeña cantidad... pero esta cantidad, por pequeña que sea, es imprescindible para la vida.

(Algunas enzimas sólo trabajan debidamente en presencia de un átomo de metal, y de ahí lo imprescindible de cantidades trazadoras de ciertos metales, tales como cobre, manganeso y molibdeno, en la dieta. Repito que hay venenos que obran rápidamente y en muy pequeñas dosis para acabar con la vida humana. Actúan combinados con enzimas clave o coenzimas, de tal forma que éstos impiden su funcionamiento.)

Pero, ¿por qué razón el cuerpo humano no puede formar la parte de nicotinamida de coenzima 1 si, después de todo, puede formar sin problemas el resto de la molécula? Algunas formas de vida pueden crear sin excepción todas las complejas estructuras moleculares necesarias para su funcionamiento, usando como materiales de puesta en marcha las simples moléculas presentes en el entorno, incluso antes de que existiera cualquier vida.

Por ejemplo, las células de las plantas empiezan con agua, dióxido de carbono y ciertas sustancias minerales presentes en el mar y en la tierra, y se sirven de la energía del sol también presente desde el principio. A partir de este comienzo empiezan a fabricar todas las sustancias que necesitan.

Los microorganismos y células animales que no pueden servirse de la luz del sol como fuente esencial de energía, deben obtenerla oxidando materias orgánicas que eran originalmente producidas por las plantas. Una vez conseguida esta energía pueden empezar con materiales relativamente sencillos a crear las complicadas moléculas que necesitan. No obstante, es evidente que dependen del mundo de las plantas para su energía y, por consiguiente, para vivir.

(Unos pocos microorganismos son «quimosintéticos» y pueden obtener la energía aprovechándose de acciones químicas que no involucran sustancias orgánicas.)

Supongamos que determinada molécula es necesaria para un organismo en pequeñas cantidades y que puede ser absorbida como tal del alimento que toma. El organismo puede perder la capacidad de formar la molécula y pasar a depender de provisiones dietéticas. Cuanto más avanzado y complejo es un animal, más fácil es que haga esto. ¿Por qué razón? Mi opinión es que cuanto más complejo es un organismo más enzimas necesitará para que todo sea posible. Por ejemplo, los animales tienen músculos y nervios, a diferencia de las plantas, y tienen que servirse de reacciones por medio de enzimas, de las que las plantas pueden prescindir. Hay que dejar espacio para las varias enzimas que controlan infinidad de reacciones en organismos complejos, que los sencillos no precisan.

Si hay ciertas sustancias celulares que sólo se precisan en pequeña cantidad, ¿por qué molestarse fabricándolas? Dejemos que la dieta las supla y así dejar sitio para otros procesos químicos más necesarios. (En realidad, podrían discutirme que las células animales, prescindiendo de la compleja maquinaria requerida para la protosíntesis, y comiendo células vegetales en lugar de conseguir energía de su dieta, antes que del sol, dejan sitio para funciones animales mucho más complejas.)

Naturalmente, hay cosas que no pueden pasarse por alto. Si una determinada molécula pequeña es necesaria en cantidad, no se puede confiar demasiado en la dieta para proporcionar dicha cantidad. Sería correr un riesgo excesivo. Sólo es razonable el riesgo cuando se necesitan pequeñas cantidades.

Así, de veinte aminoácidos encontrados generalmente en las proteínas, el cuerpo humano puede construir doce con los trozos de otras moléculas que encuentra en los alimentos. Si la dieta es pobre en uno u otro de esos doce, el cuerpo puede conseguirlos de sus propios recursos, a costa de mantener la batería de enzimas que lo hacen posible.

Los ocho aminoácidos restantes no pueden ser formados por el cuerpo humano y entonces deben encontrarse en suficiente cantidad en la dieta. Estos ocho son conocidos como los «aminoácidos esenciales», no porque sean más esenciales que otros para el funcionamiento del cuerpo, sino porque son componentes esenciales de la dieta, si se quiere evitar la enfermedad y la muerte por deficiencia.

¿Y por qué esos ocho? Porque son los ocho necesarios en menor cantidad, de forma que es más seguro confiar en éstos que en los restantes.

Ocurre que las vitaminas contienen combinaciones de átomos que no concurren en ninguna parte del cuerpo. El cuerpo utiliza una agrupación de átomos de nicotinamida sólo en las coenzimas 1 y 2, y en ninguna otra parte. ¿Por qué mantener enzimas para la síntesis de tal agrupación? Consíganlos, en cambio, comiendo algo menos complejo que, por alguna razón, debe mantener la necesaria aportación de enzimas.

¿Cómo sabe el cuerpo de qué sustancias puede fiarse al encontrarlas en la dieta, y de qué sustancias no? No lo sabe.

De vez en cuando nace un organismo falto de una u otra enzima, como resultado de una mutación fortuita. Si esa falta de enzima le priva de su capacidad de formar sustancias de las que no puede encontrar en cantidades adecuadas en su dieta, no tarda en morir. Si la enzima que falta es la que controla la formación de algo necesitado solamente en pequeñísima cantidad, el organismo puede, no obstante, conseguirlo de su dieta y podrá seguir viviendo. Incluso puede contribuir a que otras habilidades químicas encuentren espacio para florecer.

Naturalmente, la adquisición de complejidades más efectivas se paga siendo más cuidadoso con la dieta de lo que normalmente seríamos, pero, al parecer, el beneficio es barato por el precio. La mayoría de animales, con su dieta limitada a lo que pueden encontrar en la naturaleza, se guían por el instinto y su gusto les lleva a comer aquello que puede proporcionarles lo que necesitan.

Los seres humanos, por el contrario, tienen la capacidad de jugar con sus alimentos, refinando artículos a fin de conservar aquellas partes que les saben mejor o que se conservan mejor, y tirando lo demás. Hierven, fríen, asan, salan, secan, endulzan y otras cosas que dan mejor sabor o conservan mejor... y, en estos últimos años, añaden infinidad de productos químicos. Todo eso tiende a hacer más arriesgada la dependencia de la dieta para proporcionarnos las sustancias que nosotros no podemos hacer y que precisamos.

En cambio, ahora disponemos de vitaminas sintéticas, píldoras minerales y demás. Todavía podemos morir por enfermedades causadas por deficiencias a causa de la perversidad de nuestros gustos o por la total insuficiencia de cantidad y variedad de los alimentos, que nuestro entorno, o nuestra situación económica, nos permite. Pero sabemos, por lo menos, lo bastante para evitar tal destino si somos tan afortunados

como racionales.

\* La venta de vitaminas en las farmacias ha supuesto pingües beneficios para los farmacéuticos, que por tal motivo han restringido la venta de cebada pelada y otros productos similares, de indudable beneficio para salud del organismo humano.

---

# Tercera Parte

## GEOQUIMICA

### XI

#### MUY, MUY POR DEBAJO

---

Hace algunos años, un productor de Hollywood me sugirió que le escribiera un «material» que pudiera utilizarse como guión, sobre un viaje al centro de la tierra. Le indiqué que se había hecho ya una película de éxito sobre el tema, con James Mason y Pat Boone como estrellas. El productor lo sabía y a su vez me indicó que el arte de los efectos especiales había progresado enormemente desde entonces, y que ahora podía hacerse una versión mucho más espectacular.

—¿Una que sea científicamente correcta? -pregunté.

—Claro -replicó lleno de cordialidad sin saber a qué se estaba comprometiendo.

Así que se lo expuse. Le dije:

—En este caso no habrá viaje a lo largo de cuevas interminables, ni simas en el fondo de la tierra, ni mundos interiores, ni mares subterráneos, ni dinosaurios, ni hombres de las cavernas. La tierra se verá compacta a lo largo del camino y con temperaturas que alcanzan miles de grados.

Pareció indeciso y dijo dubitativo:

—¿Puede sacar de ello una historia interesante?

—Naturalmente -contesté tranquilo, confiando en mi larga experiencia.

—Muy bien.

Así que preparé una historia que me pareció muy interesante y científica, excepto por el hecho de que inventé naves que podían atravesar la roca sin dificultad y permanecer frías aun cuando estuvieran rodeadas de hierro fundido. (No se puede evitar cierta licencia poética).

Tuve que luchar contra los impulsos de introducir tonterías adicionales, y cuando ya empezaba a pensar que saldría una honesta película sobre el centro de la tierra, los poderes que mandan en Hollywood la rechazaron con un estremecimiento que pude sentir en el propio Manhattan.

Me figuro que si se llega a hacer otro viaje al centro de la tierra, tendrá lugar en una tierra hueca, un pequeño sol radiactivo en el centro, mares subterráneos, dinosaurios, hombres de las cavernas y bellas actrices con escaso atuendo.

¡Pero no con mi ayuda!

En primer lugar, ¿por qué piensa la gente que la tierra está hueca?

Esta idea puede haber surgido de la existencia de cavernas, algunas de las cuales son muy grandes, intrincadas y aún sin explorar del todo. Como la parte explorada alcanzaba tremendas profundidades, era fácil suponer que las cavernas alcanzaban una mayor profundidad, tanta que nadie tuvo nunca el valor de explorar

También la noción de un submundo en el que existen los espíritus de los muertos debe haber dado pie a la idea de una tierra hueca, una vez nuestro planeta fue aceptado como un cuerpo esférico. La Divina Comedia de Dante es la máxima expresión literaria de una tierra hueca, con el infierno localizado en el fondo.

Finalmente, una tierra hueca es una concepción dramática. Vale para interesantes historias y es un pretexto para aventuras excitantes.

Puede que la primera historia importante de la tierra hueca sea la de un escritor danés

Ludwig Holberg (1684-1754), que escribió un relato en latín titulado Nicholas Klim bajo tierra. Fue publicado en 1741 y rápidamente traducido a varios idiomas europeos. Situaba un pequeño sol en el centro de la tierra y describía varios planetas en miniatura girando a su alrededor, formando un microsistema solar.

Esta noción fue «transformada» en ciencia por un tal Cleve Symmes (1742-1814) que sostuvo que la tierra no era una esfera sino un buñuelo. Había grandes agujeros en o cerca del polo norte y del polo sur, que presumiblemente se comunicaban.

Symmes podía mantener su afirmación sin peligro, puesto que en su tiempo las regiones polares de la tierra eran todavía misterios impenetrables y nadie podía comprobar si existían o no tales agujeros en uno y otro sitio. Naturalmente, la teoría de Symmes fue encontrada muy convincente por infinidad de gente sencilla, porque parece existir una regla según la cual cuanto más tonta es la afirmación, tanto más ardientemente la creerá la gente. (No nos cabe la menor duda observando el mundo contemporáneo).

La idea fue molienda para el molino de los escritores de ciencia ficción. Edgar Allan Poe (1809-1849) en su 'Mensaje Encontrado En Una Botella', publicado en 1833, describe los apuros de un barco preso en un gigantesco remolino en la región polar.

Aparentemente, el océano cae constantemente en el agujero nórdico de Symmes. (Es de esperar que el agua vuelva a la superficie por alguna parte, o los océanos se habrían secado hace tiempo).

Julio Verne (1828-1905) surgió de los agujeros del fondo del mar, pero en «Viaje al centro de la tierra» publicado en 1864, el punto de partida sigue aún en el norte, un volcán en Islandia. Los exploradores de Verne encuentran un océano en el centro de la tierra y ven mucho exotismo en forma de reptiles gigantes, mastodontes y hombres de las cavernas.

Los ejemplos más notables y recientes de las historias sobre la oquedad de la tierra fueron las de Edgar Rice Burroughs (1875-1950). Comenzando por «En El Corazón De La Tierra», en forma de serial, en 1914, escribió una serie de historias sobre Pellucidar (el nombre que dio al mundo interior).

Y sin embargo, en 1798 ya había quedado absolutamente claro que la tierra no era hueca, y que Symmes decía tonterías.

En 1798, el físico inglés Henry Cavendish (1731-1810) determinó correctamente la masa de la tierra, aproximadamente unos 6 sextillones de toneladas. Lo más exacto que tenemos ahora es 5.976.000.000.000.000.000 toneladas (casi los 6 sextillones). A juzgar por esto y por el volumen conocido de la tierra, podemos determinar inmediatamente que la densidad media de la materia de la tierra es de 5,518 kilos por metro cúbico.

No obstante, la densidad de las rocas de la superficie de la tierra es aproximadamente 2.600 kilos por metro cúbico, mientras que la densidad del océano es tan sólo de 1.000 kilos por metro cúbico. Si además de esto la tierra fuera hueca, sería sencillamente inconcebible que pudiera tener aquella densidad media y la masa total que tiene.

Para justificar la masa de la tierra, su interior no solamente no puede ser hueco, sino que debe estar formado por un material muchísimo más denso que el que hay en la superficie.

Trataré de explicarme. Supongamos que la tierra tiene una masa de 6 sextillones de toneladas, y que toda esta masa estaba (en cierto modo) concentrada en una cáscara relativamente fina rodeando el hueco central. El campo de gravitación asociado con la masa sería tan intenso que la cáscara se haría añicos y se reuniría en una esfera (o en un esferoide plano, si el cuerpo giraba sobre su eje). No existiría ningún hueco, puesto que el campo de gravitación lo eliminaría.

Claro que hay cavernas en la tierra, pero éstas son fenómenos estrictamente de superficie, y las irregularidades triviales parecidas a montañas y valles que sólo

arrugan la lisa esfericidad de la tierra.

Así pues, ya podemos ignorar la locura de los pseudocientíficos y el romanticismo de los escritores de ciencia ficción, y considerar la tierra como densa y compacta por todas partes. La pregunta siguiente sería: ¿De qué está compuesto el interior de la tierra?

Para esta pregunta no hay respuesta fácil. No hay forma de poder observar directamente el material de la tierra más que a unos pocos kilómetros por debajo de su superficie. Incluso hoy en día nos sentimos frustrados. Podemos llegar a 380.000 kilómetros a través del espacio y traer material de la superficie de la luna, pero aún no se ha podido perforar hasta 15 kilómetros dentro de la tierra. Agujerear los 6.400 kilómetros hasta el centro de la tierra puede seguir siendo totalmente inverosímil hasta pasado mucho, mucho, mucho tiempo.

Sí podemos, no obstante, hacer inteligentes deducciones de las observaciones de la superficie terrestre. Por ejemplo, sabemos que la corteza exterior de la tierra que podemos observar directamente, es de naturaleza rocosa. La conclusión más simple a que podemos llegar es, por tanto, que toda la tierra es rocosa. Cuanto más bajemos, más densa se vuelve la roca, puesto que el peso cada vez mayor de la roca que tiene encima hace presión sobre las capas más profundas que, en consecuencia, están más y más comprimidas (y por tanto son más densas).

Sin embargo, resulta imposible estudiar la respuesta de las rocas a las fuerzas de compresión. Aunque muy recientemente hemos podido alcanzar (momentáneamente) compresiones del orden de la magnitud encontrada en el corazón de la tierra, ha quedado claro que la roca no comprimirá suficientemente. Si la tierra fuera totalmente rocosa, las densidades del interior no serían lo bastante importantes como para explicar una media total de 5.518 kilos por metro cúbico. Obviamente, el interior de la tierra debe componerse de alguna materia que es más densa que la roca bajo presión de cero, para empezar, y que seguiría siendo más densa que la roca a presión más alta.

Se pensó en dicha materia desde el comienzo.

En 1600, el físico inglés William Gilbert (1540-1603) experimentó con una esfera que había formado con un material magnético llamado «magnetita» o «imán» (una forma natural de óxido de hierro) y observó el comportamiento de las agujas de una brújula cercana. Las agujas se comportaron exactamente como lo hicieron en respuesta al campo magnético de la tierra, y la conclusión obvia fue que la tierra era en sí un imán esférico.

Pero, ¿por qué tendría propiedades magnéticas? Las rocas de la corteza de la tierra no son magnéticas en general, y la excepcional magnetita es sólo una mínima porción del conjunto. Pero supongamos que el interior de la tierra sea magnetita compacta. La magnetita tiene una densidad, a presión cero, de 5.200 kilos por metro cúbico, el doble del que poseen las rocas de la corteza y sería por tanto más densa que las rocas comunes a fuerte presión del interior de la tierra. No obstante, la magnetita todavía no sería lo bastante densa.

Supongamos que el interior de la tierra fuera una sólida masa de hierro. Este también puede ser magnético y la densidad del hierro, a presión cero, es de 7.860 kilogramos por metro cúbico, tres veces la de las rocas de la corteza. Sería lo bastante denso.

Alrededor de 1820, los científicos aceptaron que los meteoritos eran fragmentos de materia sólida que llegaban a la tierra desde el espacio. Cuando estudiaron estos meteoritos, resultó que eran de dos tipos principales. Había meteoritos de piedra y meteoritos de hierro. Los primeros consistían principalmente en sustancias muy parecidas a los materiales que forman la corteza terrestre. Los segundos, en una mezcla de hierro y níquel en proporciones de nueve a uno. (El níquel, como el hierro, tiene propiedades magnéticas. La mezcla podía servir como un imán planetario interno.)

En el 1800, la opinión popular era que los asteroides eran los restos de un planeta que habría existido en una órbita entre las de Marte y Júpiter y que, por alguna razón, había estallado. Parecía razonable suponer que la parte exterior de aquel planeta era de naturaleza rocosa, y la interior de hierro-níquel, y que esas dos partes eran la fuente de los dos tipos de meteoritos.

En 1866, un geólogo francés, Gabriel Augusto Daubrée (1814-1896) sugirió que la tierra podría también tener esa estructura fundamental, un exterior rocoso envolviendo un interior de níquel y hierro.

Pero había más que una diferencia química en lo más profundo del interior de la tierra. En primer lugar, parecía claro que el interior de la tierra era un lugar caliente. Las erupciones volcánicas eran una prueba indudable de ello. (Y sin duda debido a la acción volcánica surgió la noción de infierno como «lugar de fuego y azufre»)

Más tarde surgió la sutil evidencia del calor interno. La tremenda energía de los terremotos tenía que ser alimentada por algo, y el calor interno era la fuente más razonable que podía sugerirse. También diversas rocas de la superficie de la tierra han cristalizado de forma que parecen haber estado expuestas a grandes temperaturas y presiones, presumiblemente tal vez porque, en un momento dado, se hallaban en lo más profundo de la tierra. Además, como los seres humanos cada vez hacían sus minas más y más profundas y observaban los resultados más de cerca, quedó muy claro que la temperatura se elevaba regularmente a medida que crecía la profundidad. Pero, ¿de dónde procedía el calor? Una teoría sobre el origen de la tierra decía que los planetas del sistema solar eran, para empezar, parte del sol. Por lo tanto se suponía que la tierra estuvo en un principio a la misma temperatura que el Sol, y que con los años se había ido enfriando. La corteza exterior se enfrió lo bastante para solidificarse, pero la roca es un buen aislante del calor, y la parte interior perdía el calor muy despacio y por tanto aún sigue caliente ahora. Algunos científicos trataron de calcular la cantidad de tiempo que precisaría la tierra para enfriarse, y llegaron a la conclusión de que la tierra sólo podría tener una edad de algunas decenas de millones de años. Esta noción de una tierra nacida del sol fue debilitándose gradualmente. Los detalles mecánicos involucrados en ir tirando de los planetas fuera del sol y situándolos en sus actuales distancias y órbitas resultaron un problema inesperadamente insoluble.

Además, hacia 1920, se hizo patente que el interior del sol era muchísimo más caliente que su superficie, y que los pedacitos de materia solar no se condensarían y formarían planetas, sino que se evaporarían en el espacio.

Una teoría opuesta, sugerida originalmente por el astrónomo francés Pierre Simon de Laplace (1749-1827) en 1798, fue muy mejorada y puesta en forma, actualmente aceptable, en 1944, por el astrónomo alemán Carl Friedrich von Weizsäcker (1912- ). El punto de vista actual es que el sol y los planetas se formaron simultáneamente por la unión gradual de cuerpos más pequeños. La alta temperatura interior de la tierra fue por consiguiente el resultado de la conversión de la energía cinética de todos aquellos cuerpos en calor.

Lo que es más, en la primera década del 1900 se vio que elementos tales como el uranio y el torio, junto con los isótopos de elementos mucho más comunes como el potasio y el rubidio, sufrían un trastorno radiactivo que originaba calor. El calor por kilo por segundo era muy poco, pero la provisión planetaria total era suficiente para producir considerable calor, y este calor continuaba con una disminución solamente moderada, durante billones de años.

El interior de la tierra, por tanto, no se enfriaba tan rápidamente como podría suponerse, y la edad de la tierra no resultó ser 25 millones de años más o menos, sino 4.600 millones de años..., siendo ésta la edad del sistema solar total.

Fuera cual fuera la fuente del calor interno de la tierra, o la velocidad a la que se había enfriado hasta la temperatura actual, seguía pendiente la cuestión sobre el estado del interior de la tierra.

La impresión original era que el aumento de temperatura respecto de la profundidad significaba que todo lo que estaba por debajo de 80 kilómetros tenía que estar fundido y fluido, de modo que la tierra era, esencialmente, una enorme bola de líquido rodeada por una costra sólida relativamente fina. Esto fue refutado por el físico escocés Lord Kelvin (1824-1907), quien señaló que semejante corteza fina y sólida sería terriblemente débil y se rompería rápidamente por las influencias de las mareas provocadas por el sol y por la luna. En todo caso, el efecto de las mareas sobre la superficie sólida de la tierra parecía demostrar que ésta, en conjunto, era tan fuerte como el acero.

Así pues, en 1900 se presintió que las altas temperaturas del interior de la tierra estaban neutralizadas, por así decirlo, por las altas presiones. Aunque las temperaturas eran lo bastante altas para fundir roca y metales a la presión normal de superficie, la creciente presión con la profundidad lo mantenía todo sólido, aun cuando la temperatura de la tierra en su mismo corazón era de 6.000 grados Centígrados, aproximadamente. En otras palabras, la tierra tenía que ser (así parecía) totalmente sólida.

Esto acabó creando un problema. En 1895, el químico francés Pierre Curie (1859-1906) demostró que las sustancias magnéticas perdían su magnetismo si las temperaturas subían por encima de cierto nivel (el «punto Curie»). Para el hierro, el punto Curie es de 7600 C, y la temperatura del centro de la tierra es ciertamente más elevada. Por Consiguiente parecería que el centro no podría ser el responsable del magnetismo de la tierra. Durante cierto tiempo, fue un enigma.

Cuando el Siglo XIX tocaba a su fin, los científicos empezaban a estudiar detalladamente los terremotos, e inesperadamente encontraron una nueva técnica con la que estudiar el interior de la tierra.

El primer «sismógrafo» que resultó útil para detectar las ondas y vibraciones provocadas por los terremotos, fue inventado en 1855 por un físico italiano Luigi Palmieri (1807-1896). El aparato fue discretamente mejorado en 1880 por el geólogo inglés John Milne (1850-1913) que montó una cadena de sismógrafos en Japón y en otras partes. Con él empezó la moderna ciencia de la sismología.

Cuando tenía lugar un terremoto, las vibraciones eran detectadas por diferentes sismógrafos en distintos momentos, dependiendo de la distancia del epicentro del seísmo. De este modo podía medirse la velocidad con que las ondas del terremoto viajaban a través del interior de la tierra.

En 1889, las vibraciones de un terremoto en el Japón podían detectarse 64 minutos más tarde en Alemania. Si las ondas hubieran viajado a lo largo de la corteza curva de la tierra a las velocidades que se conocen, no habrían podido llegar a Alemania en tan poco tiempo. La conclusión fue que habían tomado un atajo, pasando en línea directa, más o menos, a través del interior de la tierra.

En 1902, el geólogo irlandés Richard Dixon Oldham (1858-1936) estudiando las ondas recibidas de un terremoto en Guatemala, pudo demostrar que la velocidad a la que viajaban las ondas a través de las más profundas capas de la tierra era menor que aquélla a la que viajaban a través de capas menos profundas.

Las ondas, al viajar a través de la tierra, cambiaban de velocidad al profundizar, tomando una ruta curva, a veces incluso acusadamente curva. Es un fenómeno parecido al de las ondas de la luz, que se curvaban y refractaban al pasar del aire al vidrio o viceversa, o al de las ondas sonoras, que se curvan al pasar a través de las capas de aire de densidad y temperatura diferentes.

El camino curvo tomado por las ondas de un terremoto al atravesar el interior de la tierra, les permitía alcanzar ciertas porciones de la superficie terrestre y otras no. Se podía crear una «zona de sombra» dentro de la cual las vibraciones emitidas por el terremoto no podían sentirse, aunque dichas vibraciones podían percibirse más cerca y más lejos del epicentro, más que en donde estaba la zona de sombra.

Estudiando la naturaleza de la zona de sombra y lo que tardaban las ondas del seísmo en llegar a los distintos puntos de la superficie de la tierra, el geólogo alemán Beno Gutenberg (1889-1960) demostró, en 1912, que las ondas sufrían una súbita y pronunciada disminución de velocidad y un subsiguiente cambio violento en su dirección, cuando penetraban más allá de cierta profundidad. La profundidad crucial, determinó, era de unos 2.900 kilómetros por debajo de la superficie de la tierra. Era una violenta línea divisoria (la «discontinuidad de Gutenberg») de forma que la tierra parecía estar dividida en dos regiones importantes. Había un núcleo central, una esfera con un radio de 2.900 kilómetros, cuya composición era presumiblemente hierro y níquel. Alrededor, y formando casi el resto de la tierra, había una «capa» rocosa. El súbito y violento cambio de la velocidad de las ondas sísmicas al pasar de la capa al centro, o viceversa, era aún la mejor prueba de un cambio vivo de la composición química entre las dos regiones.

Dentro del envoltorio y dentro del núcleo, las ondas viajaban en suaves trayectorias curvas, que indicaban una mayor densidad según la profundidad. Así, de una densidad de superficie de 2.600 kilogramos por metro cúbico, la densidad aumenta a medida que uno perfora a través de la capa hasta que al llegar a una profundidad de 2.900 kilómetros por debajo de la superficie, la densidad es de 5.700 kilos por metro cúbico. A medida que uno va acercándose al centro a semejante profundidad, la densidad aumenta, de pronto, a 9.700 kilos por metro cúbico, y continúa subiendo hasta que en el mismísimo centro de la tierra alcanza los 13.000 kilogramos por metro cúbico. Estas cifras encajan con la noción de una capa rocosa y un núcleo central de hierro y níquel. Entretanto, en 1909, el geólogo croata Andrija Mohorovicic (1857-1936) estaba estudiando un terremoto en los Balcanes y detectó un cambio muy acusado en la velocidad de las ondas a una profundidad de unos 30 kilómetros por debajo de la superficie (la discontinuidad de Mohorovicic»). Aparentemente, la capa rocosa tenía una delgada capa exterior, llamada generalmente la «corteza».

Tanto la corteza como la capa están compuestas de sustancias rocosas, pero los detalles de su estructura son diferentes. La corteza, por ejemplo, es alta en silicato de aluminio, mientras que la capa (a juzgar por los datos sísmicos y comparando las velocidades de las ondas a través de la capa y de las rocas de diferente composición, bajo condiciones de laboratorio) es alta en silicato de magnesio.

Pero sigue planteándose la cuestión sobre el estado del interior de la tierra, ¿es sólido o líquido? Incluso ya en 1920 la opinión mayoritaria era que era sólido.

No sólo se creía que la presión mantendría el núcleo central sólido, incluso a alta temperatura, sino que los nuevos conocimientos sobre radiactividad contribuían a la idea. Las sustancias radiactivas, uranio, tório y demás, estaban todas concentradas en la capa, puesto que los compuestos de dichas sustancias se mezclaban más fácilmente con la roca que con el hierro y níquel. Podía ocurrir que la capa fuera caliente y en cambio el centro relativamente fresco, incluso lo bastante fresco para mantener el hierro por debajo del punto Curie, y por lo tanto magnético.

Pero hay dos tipos de ondas sísmicas. Algunas son «transversales» y vibran de arriba abajo como las ondas de la luz, moviéndose en ángulo recto en dirección a la propagación de las ondas. Esas son conocidas como «ondas S». Otras son «longitudinales» y vibran de dentro a fuera como las ondas sonoras, en dirección de la propagación de las ondas. Estas son las «ondas P».

Las ondas longitudinales, como las ondas P, pueden viajar a través de cualquier tipo de materia: sólida, líquida o gaseosa. Las transversales, como las ondas S, pueden viajar a través de sólidos o sobre la superficie de líquidos, pero no pueden viajar a través de líquidos o gases.

Oldham fue el primero en observar la existencia de estos dos tipos de ondas sísmicas, y en 1914 le pareció que jamás había detectado ondas S atravesando el núcleo central. Así que empezó a sospechar que el centro podía ser líquido.

Gutenberg, por el contrario, estaba convencido de que el centro era sólido y su prestigio era tal que hasta 1925 los geólogos no se convencieron de que las ondas S no pasaban a través del centro. E incluso entonces les costó trabajo decidir que el núcleo central era líquido.

En 1926, el astrónomo inglés Harold Jeffreys (1891- ) calculó la rigidez de la capa por los datos de las ondas sísmicas y demostró que era considerablemente más rígida que la tierra entera (como se calculó por los datos sobre mareas). Esto significaba que el centro tenía que ser menos duro o rígido que la tierra entera, y que por lo tanto podía muy bien ser líquido. Finalmente esto inclinó la opinión en sentido contrario, y a partir de aquel momento quedó establecido que la tierra tiene un núcleo central de hierro y níquel líquidos.

Un núcleo de hierro líquido estaba obviamente por encima del punto Curie, pero la rotación de la tierra podía provocar remolinos y estos remolinos provocarían efectos electromagnéticos que, con o sin punto de Curie, serían los causantes del campo magnético de la tierra.

Finalmente, en 1936, una geóloga danesa, Inge Lehmann, observó que las ondas P que penetraban en el núcleo y que pasaban muy cerca del centro de la tierra, parecían experimentar un pequeño y súbito aumento de velocidad. Sugirió entonces que había un «núcleo más interior» en el Centro de la tierra y que era una esfera con un radio de 250 kilómetros.

¿En qué se diferencia el núcleo interior del núcleo exterior? La opinión general es que mientras que el núcleo exterior es líquido, las presiones en el mismísimo centro de la tierra son lo bastante grandes para solidificar el hierro y níquel de forma que el núcleo interior es sólido.

Este es el estado actual de la cuestión. Hay cierta polémica respecto a la exacta naturaleza química del núcleo. Algunos mantienen que puro hierro-níquel podría ser demasiado denso para explicar la densidad de conjunto de la tierra, y que el núcleo debe contener una significativa cantidad de óxido para rebajar dicha densidad. Puede ser, pues, que el núcleo consista en hierro-níquel algo oxidado.

Voy a concluir diciendo que el núcleo sólido interior forma aproximadamente un 0,8 por ciento del volumen de la tierra; el núcleo líquido exterior, un 15,4 por ciento; la capa rocosa, alrededor de 82,8 por ciento; y la corteza rocosa un 1,0 por ciento.

En términos de masa, el denso núcleo metálico (exterior e interior) conjuntamente, forma aproximadamente un tercio de la masa total de la tierra, mientras que las capas rocosas exteriores (capa y corteza) forman conjuntamente los otros dos tercios.

---

## Cuarta Parte ASTRONOMIA

### XII EL TIEMPO ESTÁ DESBARAJUSTADO

---

Es duro vivir gobernado por el tiempo, pero he llegado a hacerlo honradamente. Cuando era un niño, tenía que estar abajo para poder repartir los periódicos por cuenta de mi padre y había que hacerlo a tiempo, porque los clientes debían recibir sus periódicos antes de ir al trabajo.

Por si fuera poco, tenía que llegar a tiempo a la escuela, o pondrían «retrasado», y poco después se lo comunicarían a mis padres. Mi madre, como europea, abrigaba la curiosa impresión de que el crimen debe ser castigado, y me pegaría con toda seguridad, y además con mano dura.

Y después, naturalmente, los programas de radio empezaban a la hora exacta y quién quería perderselos...

Así que para mí fue glorioso el día en que me regalaron mi primer reloj de pulsera, y me hice amo del tiempo. Ahora podía saber qué hora era con una simple mirada a mi muñeca izquierda, y esto significaba que nunca más llegaría tarde. O por lo menos, si llegaba tarde, sabría primero que iba a llegar tarde, y, eventualmente, que había llegado tarde.

Ahora hace mucho tiempo desde aquel primer reloj de pulsera y desde entonces siempre ha habido uno. No quiero decir que haya habido siempre uno cerca de mí. Quiero decir que siempre he tenido uno en mi muñeca. Casi siempre. Me lo quito; de mala gana, para ducharme y también cuando me voy a la cama (en cuyo caso tengo un despertador en la mesita de noche, con esfera luminosa, así que en cualquier momento en que abra los ojos sé inmediatamente la hora que es).

Cuando llevo el reloj, dudo de que pasen nunca cinco minutos sin mirar rápidamente mi muñeca, sin más propósito que saber la hora que es. Puede que no necesite saber la hora, y que saberlo no tenga ninguna finalidad; pero no importa. Debo saber la hora.

En mi juventud, recuerdo que esto me enfrentaba frecuentemente con un molesto dilema. Allí estaba yo, acariciando la cabeza de una deliciosa jovencita, o pellizcándole la mejilla (o haciendo lo que estuviera haciendo..., es difícil recordarlo después de tanto tiempo) y, de pronto, me acometía el loco deseo de saber la hora. Sabía perfectamente que mirar al reloj sería interpretado por la joven de una sola manera: que estaba aburrido y ansioso por deshacerme de ella. Esto por alguna razón la enfurecería, y lo que estuviéramos haciendo llegaría a su fin. También sabía de sobra que por inteligente que resultara una excusa («¿qué es este arañazo en la muñeca?») se daría cuenta.

A veces me vela obligado al loco recurso de tratar de alterar las reglas del juego, al principio: «Oye muñeca, tengo un tic nervioso que me hace mirar el reloj cada cinco minutos. Pero no quiere decir nada, ¿sabes?»

Posiblemente me contestaría:

—¿De veras? Bien, pues deja el reloj encima de esta cómoda y vuelve la esfera hacia el otro lado.

Déjenme que les diga que esto casi daba al traste con la diversión.

En todo caso, hablemos del tiempo.

En aquellos días felices anteriores a cuando todo el mundo tenía un reloj lo bastante preciso para decir la hora exacta, por lo menos al minuto, ya que no al segundo, la gente conseguía desenvolverse bien. Generalmente había un reloj (de indiferente precisión) en el campanario, el punto más alto de la ciudad, de forma que todo el mundo pudiera verlo. Las horas las tocaban las campanas de la iglesia para que todo el mundo oyera la hora si daba la casualidad de que estuvieran mirando en dirección opuesta o si algo les interceptaba la vista. Por esto tenemos la palabra clock, de la palabra francesa cloche, que quiere decir «campana».

Así, cuando Falstaff, en la primera parte de Enrique IV (de Shakespeare) presume falsamente de haber dado muerte al valiente Hotspur, en la batalla de Shrewsbury, dice que «batallaron una hora larga según el reloj de Shrewsbury».

La gente que vivía en áreas rurales no tenían siquiera un reloj municipal que les guiara. En tal caso usaban los relojes del cielo. Así, al principio de la misma obra, un obrero está inquieto por lo tarde que es. Dice: «Y si no son las cuatro del día (4 a.m.) que me aspen. El Carro de Charlie (1a Osa Mayor) está sobre la nueva chimenea, y nuestro caballo aún no está cargado.»

Las estrellas viajan regularmente a través del cielo y, por su posición y la estación del año, alguien como el obrero que acabo de mencionar puede calcular aproximadamente la hora.

Si apunta directamente arriba, apuntará hacia la parte más alta del cielo, en relación con usted; es decir, al «cenit» (de una palabra árabe que significa «por encima»). Si trazamos una línea imaginaria de norte a sur a través del cenit, divide el cielo en dos mitades iguales entre el punto en que nace un objeto celeste y el punto en que se pone. Esta línea norte-sur a través del cenit, se llama «meridiano», de una palabra latina que significa «mediodía».

La razón para dicha palabra es que al pasar de este a oeste, del nacimiento a la puesta, un cuerpo celeste cruza el meridiano a mitad de su camino, así que el sol, por ejemplo, lo cruza a mediodía. Los cuerpos celestes no pasan necesariamente a través del cenit al cruzar el meridiano. Generalmente pasan al norte o al sur del cenit. El sol y la luna, vistos desde la zona templada del norte, pasan siempre al sur del cenit. No obstante, un cuerpo celeste, cruzando el meridiano por cualquier parte, lo hace así en mitad de su camino a través del cielo.

Si anotáramos el momento en que una estrella determinada cruzó el meridiano en una noche determinada, y luego cuando lo cruzó de nuevo a la noche siguiente, y después a la siguiente y así sucesivamente, y lo hiciéramos con un buen reloj, encontraríamos que los intervalos eran de igual duración y de un alto grado de exactitud. Esto no debe sorprendernos, puesto que el paso de las estrellas a través del cielo es en realidad un reflejo de la rotación de la tierra sobre su eje, y esta rotación se hace a una velocidad constante.

A propósito, pueden preguntarse por qué íbamos a tomarnos la molestia de medir los intervalos entre las veces que se cruza el meridiano, cuando el meridiano es una línea imaginaria que cuesta situar. ¿Por qué no medir los intervalos entre salida y salida de estrella, o entre puesta y puesta de estrella?

En primer lugar, el horizonte en tierra es irregular y partido, y por consiguiente difícil de observar. Incluso en el mar, donde el horizonte es liso, está generalmente cubierto de bruma e incluso si no la hubiera, la absorción y refracción atmosférica de la luz haría la visión confusa. Los objetos se observan con más facilidad y exactitud cuanto más altos están en el cielo y, por tanto, se observan con más facilidad y exactitud cuando cruzan el meridiano.

El intervalo entre el cruce del meridiano por una estrella en una noche y la siguiente es el «día sideral». (Sideral viene del latín que significa «constelación» o «estrella»). Es la duración de una rotación completa de la tierra en relación con las estrellas, es decir,

con el universo en general.

El día sideral sólo tiene interés para los astrónomos, pero no para la gente en general. La gente corriente duerme durante la noche, e incluso si está despierta, las posiciones y movimientos de las estrellas no le interesan lo más mínimo.

No obstante, la gente está despierta durante el día, y durante el día es imposible no darse cuenta de la posición y movimiento del sol. De sus cambios de posición dependen todo tipo de actividades y, por lo tanto, el momento en que el sol cruza el meridiano es verdaderamente importante para todos.

Claro que uno no puede contemplar cómo el sol cruza el cielo sin quedarse ciego, pero no hay que hacerlo. El sol produce sombras que pueden observarse fácil y cómodamente, y estas sombras son una clave perfecta para los movimientos del sol. Supongamos que clava usted firmemente un palo en el suelo. Al salir el sol, el palo proyectará una sombra larga hacia el oeste. A medida que el sol va subiendo en el cielo, la sombra irá acortándose cada vez más y (si usted se encuentra en la zona templada norte) girará hacia el norte. La sombra pasa el palo, al norte, relativamente corta entonces, y después empieza a alargarse más y más hacia el este, hasta la puesta del sol.

Supongamos que marca las sombras del palo, al amanecer y al ponerse el sol, como dos surcos en el suelo, y divide el ángulo que forman en dos. No es difícil hacerlo. En tal caso encontrará que la línea que sirve como bisectriz se extenderá exactamente de norte a sur. Cuando la sombra cae sobre esta línea, el sol está cruzando el meridiano y es exactamente mediodía.

Al palo se le llama «gnomon» (la g no se pronuncia) de la palabra griega que significa «saber», puesto que nos hace saber la hora del día.

Los antiguos aprendieron a poner un gnomon en una taza colocada sobre un pedestal. El gnomon estaba colocado en un ángulo apropiado hacia el norte, así que la sombra caía sobre el borde de la taza y viajaba a lo largo de dicho borde de oeste a este. La distancia entre la sombra del amanecer y la de la puesta del sol estaba marcada en doce partes, marcando doce divisiones iguales del día, y así se conseguía un reloj de sol.

¿Por qué doce? Ésa fue una moda iniciada por los sumerios unos 3.000 años A.C. Todavía no habían descubierto un buen sistema para tratar las fracciones, así que prefirieron usar números que eran menos capaces de dejar fracciones cuando se hacían partes más pequeñas. Doce puede dividirse bien por 2, 3, 4 y 6, y por ello resultaba útil.

Cada división se llamó «hora» (de una palabra griega que significaba «momento del día»).

Originalmente, la salida del sol marcaba el punto cero de la medición de las horas, de modo que la «primera hora» era una hora después de la salida del sol, la «segunda hora» dos horas después de la salida del sol, y así sucesivamente. De ahí que cuando la Biblia habla de la «hora once», no quiere decir que sean las once de la mañana o de la noche, sino once horas después de la salida del sol; es decir, la última hora con luz de día antes de la «hora doce», que correspondía a la puesta del sol.

La palabra inglesa noon es una distorsión del griego «nueve» y significaba la «novena hora», que empezaba cuando la luz del día estaba en sus tres cuartas partes; en otras palabras, media tarde. Quizá se asociaba con la hora de la comida, y cuando ésta se trasladó a mediodía y fue la más importante, la asociación con la comida fue más fuerte que la asociación con nueve, así que noon pasó a ser mediodía, o la sexta hora. Por esa razón ahora hablamos de «antes del mediodía» y «después del mediodía», o si preferimos hablar latín, podemos decir antemeridian (A.M.) o postmeridian (P.M.).

Naturalmente, la noche también fue dividida en doce horas, al igual que la luz diurna. Como todos sabemos, durante medio año la luz se alarga y la noche se acorta, mientras que durante el otro medio año los días son más cortos y las noches más

largas. Esto ocurre así en todas partes menos en el ecuador, y cuanto más se aleja uno del ecuador en una u otra dirección, más marcados están dichos cambios. Donde el reloj de sol es el método para marcar las horas, las horas, individualmente, son más largas de día y más cortas de noche, o viceversa, según la época del año. No obstante, los relojes de sol no eran los únicos mecanismos para marcar las horas. También tenían sus fallos. No funcionaban si el día estaba nublado; y aunque esto no tenía la menor importancia en el clima, casi sin nubes, de Egipto, donde tal vez inventaron el reloj de sol, resultaba un inconveniente en regiones de atmósfera más turbulenta. Tampoco, claro, ni siquiera en Egipto, los relojes de sol funcionaban por la noche.

Así que la gente tuvo que buscar otros medios para decir la hora. Estudiaron procesos que continuaron a ritmo lento, pero al parecer constante, y trataron de sincronizarlos con el reloj de sol.

Por ejemplo, ciertas velas de determinada altura y grosor se prepararon para que ardieran, entretanto se hacían marcas en una segunda vela, que no ardía, marcando en ella los puntos alcanzados por la vela ardiente al final de las horas sucesivas. Se marcaron velas parecidas, de esta misma forma, y a partir de entonces las horas de la noche podían seguirse mediante velas encendidas. Del mismo modo, podían marcarse ciertos períodos de tiempo por la caída de arena o de gotas de agua a través de pequeñas aberturas.

Estos aparatos portátiles, si tienen que medir horas que se alargan o se acortan con las estaciones, resultan complicados y poco prácticos. Fue mucho más sencillo considerar que las horas tenían una duración constante, de día y de noche, así como a lo largo del año. Cada hora tenía una duración de  $1/24$  parte de un día, y esta práctica ha seguido hasta ahora.

Hay una cuestión sobre cuándo empieza el día. Lo natural parece ser que el día empieza cuando sale el sol; o bien que el día termine a la puesta del sol, y a partir de entonces empiece un nuevo día.

La gente del sudoeste de Asia, incluyendo a los judíos, empiezan el día a la puesta del Sol, y este hábito perdura hasta ahora en el calendario religioso de los judíos. Así, el Sabat judío (que generalmente se supone que cae en sábado) empieza realmente el viernes a la puesta del sol.

Incluso en la vida cristiana queda un resto fósil de este punto de vista. Hablamos de la víspera de Todos los Santos, la víspera de Navidad y la víspera de Año Nuevo. Todas estas fiestas no eran originalmente la noche anterior a la fiesta. Eran la primera parte de la fiesta en sí, que en aquellos tiempos empezaba a la puesta del sol del día anterior.

Pero para los astrónomos, las imperfecciones de tener que considerar los intervalos entre salidas o puestas de sol resultaban irritantes. El momento de la salida o de la puesta del sol variaba según la naturaleza del horizonte. El sol tardaba un poco más en salir por encima de una colina en el horizonte oriental, y se ponía un poco antes tras una colina del horizonte occidental. Además, las nubes y neblinas frecuentemente oscurecían el horizonte en el momento crucial. Por otra parte, a medida que los días se acortaban, la salida del sol tenía lugar cada mañana un poco más tarde, y la puesta del sol un poco más pronto, mientras que cuando los días se alargaban, ocurría lo contrario. En cualquiera de los casos, el intervalo entre salida y salida, o entre puesta y puesta, era más largo unas veces que otras.

El momento exacto del paso del sol por el meridiano es mucho más fácil de medir que el de la salida ó la puesta del sol. Más aún, el intervalo entre los dos es constante a lo largo del año, porque tanto si los días se alargan como si se acortan, se acortan y se alargan por ambas partes por igual, dejando el centro en su sitio.

Por consiguiente, el intervalo de tiempo que marca el «día solar» (una rotación completa de la tierra con respecto al sol) se mide mejor de mediodía a mediodía, o de

medianoche a medianoche. La elección recayó en la medianoche porque esto significaba que el día empezaba a cambiar cuando todo el mundo estaba durmiendo (o hubiera debido estar durmiendo) y no en mitad de un día activo, algo que desbarataría las relaciones comerciales y las haría más complejas.

Sería lógico contar las horas de una a veinticuatro, y esto ya se está haciendo en ciertas condiciones y en algunos lugares. No obstante, el viejo hábito de dos períodos de doce horas cada uno, está demasiado arraigado para desecharlo del todo. Solemos contar pues de 1 a.m. a 12 del mediodía, y a continuación empezamos a contar de 1 p.m. a 12 de la noche, o medianoche.

Así ya no contamos doce horas de día y doce de noche. En cambio, ambos grupos de doce horas son parte de día y parte de noche. Además, noon, que originalmente quería decir la novena hora del día, y luego pasó a ser la sexta hora, actualmente es el número doce. ¡Para que digan que el tiempo no está desbarajustado!

Hasta mediados del siglo XVII, no había relojes capaces de medir las pequeñas divisiones de la hora. Sin embargo se había establecido la costumbre de dividir cada hora en 60 minutos, y cada minuto en 60 segundos. También esto empezó con los sumerios, que aplicaron este sistema a la división de cada grado de un arco en 60 minutos de arco, y cada minuto de arco en 60 segundos de arco. Eligieron el número 60, lo mismo que el número 12, porque tenía la ventaja de los numerosos divisores. El número 60 es divisible por 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20 y 30.

El día solar se define como de 24 horas de duración, es decir, 24 horas, o minutos, o segundos. El día sideral, que ya he mencionado en este capítulo, no es tan largo. En realidad es de 23 horas, 56 minutos y 4 segundos. La diferencia es de 3 minutos 56 segundos.

¿Por qué diablos tiene que ser más corto el día sideral que el solar, y por tan extraña cantidad? Cuando la tierra completa una vuelta, lo hace tanto de acuerdo con las estrellas como con el sol, ¿no es cierto?

La respuesta es ¡No! Hay una diferencia.

Verán ustedes, la tierra no sólo gira sobre su eje sino que a la vez lo hace alrededor del sol.

Cuando la tierra gira en su viaje alrededor del sol, las estrellas no se ven afectadas por la medida. Se encuentran tan alejadas que la órbita de la tierra alrededor del sol, que está a 186 millones de kilómetros de distancia y nos parece enorme, en realidad es como un punto respecto a las distantes estrellas. Por tanto, la tierra puede verse como girando sobre su eje, pero en cambio estar inmóvil respecto a las estrellas.

El sol está mucho más cerca de nosotros que las estrellas, pero parece cambiar de posición frente a las estrellas mientras la tierra se mueve.

En un momento dado, vemos el sol frente a las estrellas en una determinada porción de cielo (las estrellas que están más cerca del sol no pueden ser vistas normalmente, claro, pero vemos las estrellas que están a su oeste antes del alba, y las que están a su este inmediatamente después del ocaso, y si conocemos bien el cielo, Conoceremos las estrellas intermedias, las que están en las proximidades del sol).

Pasado medio año, estamos del otro lado del sol y por lo tanto lo vemos frente a las estrellas del otro lado del cielo. Otro medio año y volvemos a estar donde estábamos, y el sol vuelve a estar donde estába. En otras palabras, el sol parece recorrer un circuito completo del cielo en un año, 365,2422 días solares.

Esto significa que cuando la tierra gira sobre su eje una vez, respecto a las estrellas, el sol se ha movido ligeramente hacia el este frente a las estrellas y la tierra debe continuar girando aún 3 minutos y 56 segundos para completar su vuelta. Cada día tiene que dar esta pequeña vuelta extra para ponerse al nivel del sol, y después de un año completo, la tierra ha dado una vuelta extra sobre su eje a fin de estar al nivel del sol que ha dado una vuelta completa por el cielo.

Por consiguiente, mientras que un año consta de 365,2422 días solares, consta a su

vez de 366,2422 días siderales. La diferencia de 3 minutos y 56 segundos entre un día solar y un día sidereal, es de  $1/366,2422$  de año.

El día sidereal es el auténtico periodo de la rotación de la tierra respecto del universo en general, pero es inútil discutir este punto con nadie que no sea astrónomo. La gente de la tierra depende del sol, y para nosotros lo que cuenta es cuando el sol (ni Sirius, ni el centro galáctico, ni algún quasar lejano) cruza el meridiano. Por dicha razón, si preguntan a alguien cuánto tarda la tierra en girar sobre su eje, les contestarán que 24 horas. Si tratan de insistir que son 23 horas, 56 minutos y 4 segundos, es posible que les rompan un ladrillo en la cabeza.

Sin embargo, a pesar de todo lo que he dicho, el intervalo de mediodía a mediodía no es exactamente de 24 horas. Suele ser un poco menos o un poco más. Hay dos razones.

En primer lugar la tierra no gira alrededor del sol en un círculo perfecto. Si lo hiciera, se movería siempre a la misma velocidad, pero no es así. La órbita es ligeramente elíptica, así que una mitad del año la tierra está algo más cerca del sol de lo normal, y se mueve a una velocidad un poco más alta que lo normal. Durante el otro medio año, está un poco más alejada del sol y se mueve a una velocidad un poco inferior a la normal.

Si nos encontramos sobre la superficie de la tierra, vemos el movimiento terrestre reflejado en el aparente movimiento del sol hacia el este frente a las estrellas. Durante medio año este movimiento aparente es más rápido de lo normal. Esto quiere decir que la rotación de la tierra lleva al sol de este a oeste en el cielo, su movimiento adicional hacia el este porque su mayor velocidad lo lleva al punto meridiano un poco más tarde de lo que hubiera ocurrido si la órbita de la tierra hubiera sido circular.

Entonces el sol empieza a disminuir su movimiento aparente y su ganancia baja y se transforma en pérdida. Finalmente, la pérdida disminuye y se transforma en ganancia.

Uno puede prever el tiempo en que el sol cruza el meridiano de día en día. Hay un pequeño pandeo arriba y otro abajo, pero al final del año las cosas están exactamente donde deben estar. La diferencia, como mucho, es de tan sólo unos pocos minutos.

Otra causa de la irregularidad reside en el hecho de que el eje de la tierra tiene una inclinación de 23,5 grados sobre el plano de su revolución alrededor del sol. En los equinoccios (20 de marzo y 23 de septiembre) el movimiento aparente del sol a través del cielo corta el ecuador en un ángulo y se mueve más despacio de oeste a este. En los solsticios (21 de junio y 21 de diciembre) se mueve paralelamente al ecuador y a una distancia determinada de él, y lo hace con más rapidez. Entre los equinoccios y los solsticios, el movimiento aparente se hace más lento o se acelera. Otra vez hay un pandeo y un bajón en el curso del año, pero éstos se equilibran al final del año.

Si suma conjuntamente los dos efectos, consigue lo que se llama la «ecuación de tiempo».

Cada uno de los dos efectos individuales es simétrico, con la parte más alta del pandeo y la más baja del bajón iguales en tamaño, y apareciendo con sólo seis meses de distancia. No obstante, los dos efectos no son iguales en tamaño ni aparecen en la misma época del año. La ecuación de tiempo, que es la suma de los dos, es por tanto asimétrica. Tiene dos pandeos hacia arriba, en el transcurso del año, y dos hacia abajo, y los dos salientes son de diferente tamaño.

Si comenzamos al principio del año, el sol cruzará el meridiano un poco tarde. Esta diferencia aumenta y alcanza el punto máximo el 12 de febrero, cuando se retrasa un poco más de 14 minutos. El sol empieza entonces a recuperarse y llega a tiempo el 14 de abril. Entonces sigue adelante y se adelanta 8 minutos el 20 de mayo. Vuelve a llegar a tiempo el 20 de junio y va retrasándose de modo que el 4 de agosto lleva un retraso de 6 minutos. El 29 de agosto está de nuevo a la hora y entonces adelanta, y el 3 de noviembre lleva algo más de 16 minutos de ventaja. Disminuye el paso y

vuelve a llegar a tiempo el 20 de diciembre, y continúa retrasándose y empieza otra vez el proceso con el año nuevo.

Esta irregularidad en el movimiento solar, en el que nunca hay más de un cuarto de hora de diferencia, no afecta a la persona corriente, pero sería un auténtico quebradero de cabeza para los relojeros si intentaran diseñar un reloj que marcara el tiempo exacto, de acuerdo con el actual movimiento del sol a lo largo del año.

En cambio, los cronometradores pretenden que hay un sol cruzando el meridiano todos los días a la misma hora, como ocurriría si la órbita de la tierra fuera circular y su eje no fuera inclinado. A esto se le llama «sol medio»; procede del latín median, y significa «medio», «norital».

Hay por consiguiente «tiempo solar», que es el marcado por un reloj de sol, y «tiempo medio solar» en el que el intervalo de mediodía a mediodía es siempre de 24 horas exactamente, señale lo que señale el reloj de sol.

Se puede marcar la posición del sol real al este y al oeste del sol medio, al este cuando es rápido y al oeste cuando es lento. M mismo tiempo, se puede señalar la posición del sol real al norte y al sur del ecuador (una posición que varía en el transcurso del año debido a la inclinación de su eje).

El resultado es una «figura ocho» asimétrica, con el lazo sur más largo y más ancho que el lazo norte (o sea el reflejo de la asimetría de la ecuación tiempo).

Esta figura ocho asimétrica se llama «analema», que procede de una palabra latina que significa «reloj de sol», ya que puede obtenerse en parte por la comparación del mediodía según el reloj de sol y el reloj normal. En las grandes esferas la figura está colocada en medio del océano Pacífico, posiblemente porque la región está vacía y parece necesitar ornamento. Ciertamente yo no veo la necesidad de ello, aunque confieso que tuve que estudiarlo cuidadosamente mientras escribía este capítulo.

Dos datos más antes de terminar. No podemos utilizar el tiempo solar medio sin ulterior modificación.

Vamos a suponer que cada comunidad ajustara su mediodía al momento en que el sol medio cruzara el meridiano de determinado punto central de dicha comunidad. El resultado sería «hora local media», o «tiempo local medio». No obstante, a los ferrocarriles les resultó imposible preparar horarios cuando cada comunidad tenía su propia hora. Por lo tanto surgió la noción de «tiempo estándar», en el que unas fajas fijas de la superficie de la tierra fueron asignadas a un tiempo determinado sin tener en cuenta cuál era su tiempo local medio (véase «Los tiempos de nuestras vidas», en "Ciencia, números y yo", Doubleday, 1968).

Al final resulta que a medida que los días se alargan, la gente duerme durante varias horas de sol matutinas, y luego, después de la puesta del sol, consumen energía eléctrica a fin de iluminar las horas de oscuridad. Si la gente se levantara más temprano en la mitad veraniega del año, y se acostara más pronto, podría ahorrarse algo de energía.

¿Pueden ustedes imaginar al Gobierno de los Estados Unidos ordenando a todo el mundo que se levante una hora antes y se acueste una hora después, sólo para ahorrar la energía desesperadamente necesaria? Pues bien, los americanos con su orgulloso individualismo e independencia se alzarían como un solo hombre y denunciarían a esos burócratas de Washington que intentaron decirles a qué hora debían levantarse por las mañanas.

Así que el Gobierno organiza el horario de economía de luz, y adelanta el reloj en una hora. Cuando ahora dice 7 a.m. es realmente 6 a.m. El reloj miente y todo el mundo sabe que miente. Pero...

Mientras que los americanos se negarían a ser esclavos del Gobierno, se muestran patéticamente ansiosos de ser esclavos del reloj. Un Gobierno serio y bien intencionado puede decirles que se levanten a las 6 en lugar de a las 7 y se oíría un

griterío atronador, pero cuando un reloj embustero les dice que lo hagan, se levantan todos como niños buenos.  
Voy a dejarles para que mediten sobre la moral de la historia.

---

## XIII

# EL DESCUBRIMIENTO DEL VACIO

---

El Congreso de Ciencia Ficción más agradable al que he asistido fue el XIII Congreso Mundial de Ciencia Ficción, celebrado en Cleveland en 1955. Era un congreso muy reducido (solamente trescientos asistentes) y muy amistoso, y yo era el invitado de honor, lo que también ayudaba.

Incluso yo era más joven de lo que soy ahora, lo que también ayudaba, y gran número de mis amigos se encontraban allí (por curiosa coincidencia) más jóvenes y más guapos de lo que son ahora, y algunos de ellos, desgraciadamente, más vivos entonces de lo que están ahora.

Una de las personas maravillosas que llegué a conocer bien en aquel congreso fue Anthony Boucher, que entonces era editor del F & CF. Era el maestro de ceremonias de aquel congreso, un hombre amable y encantador que está ya muerto, aunque estará siempre presente en los corazones de quienes lo conocieron.

Me quedé asombrado cuando, al mencionarle a otro asistente al congreso, al al bondadoso Tony espetarme:

—No me gusta.

Me pareció sorprendente, dado que la persona de la que hablábamos parecía un hombre agradable y no me había resultado nada difícil encontrarle simpático (aunque tampoco me cuesta ningún esfuerzo que me guste casi todo el mundo). Así que dije:

—¿Por qué no te gusta, Tony? Parece simpático.

Tony meneó la cabeza y dijo:

—No bebe.

Abrí los ojos. Ignoraba que el beber fuera un requisito para merecer la aprobación de Tony. Desconcertado, arguí:

—Pero, Tony, Yo tampoco bebo.

—Esto es diferente. Actúa como si no bebiera. Tú actúas como si estuvieras tan borracho como todos nosotros.

En realidad más borracho. Todos aquellos participantes en el congreso están serenos de vez en cuando y andan criticando al mundo, pero yo nunca me sereno. Y es porque yo no dependo del alcohol ni de ninguna sustancia química para lubricarme. La vida es para mí una larga altura, y en especial el escribir uno de estos ensayos basta para excitarme, incluso en momentos de dificultad. (Una vez escribí tres ensayos de un tirón, sin parar, para conservar el equilibrio cuando mi preciosa hija, rubia, de ojos azules, se partió el tobillo.)

Así que sigamos con ello.

En la vida corriente tendemos a pensar en el aire como si no fuera nada. Si miramos un recipiente que no contiene nada más que aire, lo describimos como «vacío». En cierto modo, hay algo de acertado en la descripción si lo comparamos con algún otro objeto de los que nos rodean.

Lo más denso que conocemos, bajo las condiciones estándar que nos rodean en la superficie de la tierra, es el metal osmio. Un centímetro cúbico de osmio tiene una masa de 22,57 gr, así que su densidad es 22,57 gr/cm<sup>3</sup>. (Para aquellos a quienes resulte difícil visualizar medidas métricas, aclararé que 1 pulgada cúbica equivale a 16,39 centímetros cúbicos, y 1 onza es igual a 28,349 gramos. Por consiguiente el osmio tiene una masa de 13,04 oz/pulg. cúbica. No obstante, voy a quedarme en el sistema métrico.)

En comparación, la densidad del aire es de unos 0,00128 gr/cm<sup>3</sup>, que es

aproximadamente 1/17,600 de la densidad del osmio. En estas circunstancias es tentador considerarlo como «nada».

El hecho de que el aire tenga masa, y que por tanto sea atraído por el campo de gravedad de la tierra y que pueda medirse por su peso, no quedó establecido hasta 1643. En esa fecha el físico italiano Evangelista Torricelli (1608-1647) demostró que si un tubo abierto por un extremo se llena de mercurio y se invierte en un depósito de mercurio, no todo el mercurio del tubo cae al depósito. Una columna de mercurio de 76 cm permanece en el tubo, mantenida allí indefinidamente por el peso del aire que presiona el mercurio del recipiente.

La densidad del mercurio es de 13,546 gr/cm<sup>3</sup>, lo que supone 10.583 veces la densidad del aire. Esto significa que una columna de mercurio suspendida en un tubo cerrado debe estar contrarrestada por una columna de aire 10.583 veces más alta que la columna de mercurio. Dado que la presión del aire soporta 75 centímetros de mercurio, la columna de aire debe medir 8,04 kilómetros de altura (casi 5 millas). Esto fue un descubrimiento revolucionario. Hasta entonces se había supuesto más o menos que el aire se extendía hacia arriba indefinidamente tan alto como la luna y, posiblemente, tan alto como las estrellas.

Por ello, en las primeras historias de ciencia ficción, figuraba que la gente llegaba a la luna proyectada por un chorro de agua o mediante un coche tirado por pájaros enormes. Estos métodos funcionarían sólo si el aire fuera universal.

Ahora, por primera vez, se sabía que la atmósfera era un fenómeno estrictamente local y que ceñía la superficie de la tierra, y que más allá de eso ya no había nada. La gente tenía que aceptar el hecho de que entre la tierra y la luna (o en términos más generales, entre dos cuerpos del universo) había un vacío mayor o menor, o nada. La única forma conocida de cruzar este vacío es mediante el uso de acción y reacción, como en un cohete, un principio explicado por primera vez por el científico inglés Isaac Newton (1642-1727) en 1687.

Según se mire, pues, el experimento de Torricelli resultó ser el descubrimiento del espacio. En realidad, el universo entero, incluyendo la tierra, usted y yo, está incrustado en el espacio. Esta palabra significa normalmente la región más allá de la atmósfera de la tierra donde no hay esencialmente nada, y que suele distinguirse del espacio llamándosele «espacio exterior».

La palabra alternativa sería

Pero, bueno, ¿cuán vacío es el vacío? ¿Completamente vacío?

Por ejemplo, la atmósfera no tiene en realidad 8 km de altura. Eso sería cierto si la densidad de la atmósfera fuera la misma todo el tiempo, pero no es así. Eso podría deducirse del hecho de que en 1662, el científico británico Robert Boyle (1627-1691) demostró que los gases estaban comprimidos y más densos cuando se hallaban bajo presión.

El fondo de la atmósfera en la que nos movemos, respiramos y tenemos a nuestros seres, está comprimido desde arriba por kilómetros de aire, de modo que vivimos en un mar de gas que es muchísimo más denso de lo que podría ser si no fuese por la presión. A medida que uno va elevándose en la atmósfera hay un peso cada vez menor arriba, y por lo tanto una presión de aire cada vez menor empujando hacia abajo. Por esta razón el aire se hace cada vez menos denso a medida que aumenta la altura. Al hacerse menos denso se va extendiendo cada vez más hacia arriba y alcanza mucha mayor altura de la que lograría si la densidad fuera constante en todas partes.

Así, en la cima del Everest, que tiene 8,8 kilómetros de altura, la densidad atmosférica es sólo de unos tres octavos sobre el nivel del mar. Esto es insuficiente para permitir a nuestro aparato respiratorio que mande oxígeno suficiente, a los pulmones para que la vida continúe. En cuanto al uso práctico para nosotros y en lo que concierne a las demás criaturas vivientes, debemos considerar que la atmósfera tiene sólo de 9 a 10

kilómetros de altura.

Sin embargo, la atmósfera se extiende mucho más arriba, haciéndose cada vez menos densa, cada vez menos capaz de mantener vida activa (aunque pueden sobrevivir semillas y esporas de diferentes tipos). Para seguir su ascensión, contemplemos la atmósfera de un modo diferente.

De un volumen determinado de aire limpio y seco, 78,084 por ciento es nitrógeno, que consiste en moléculas de nitrógeno cada una de las cuales está formada por dos átomos de nitrógeno ( $N_2$ ). Después, 20,947 por ciento es Oxígeno, que está formado por dos átomos de oxígeno ( $O_2$ ). Luego, 0,934 por ciento es argón, formado por átomos individuales de argón (Ar). Finalmente, 0,032 por ciento de dióxido de carbono, consistente en moléculas formadas por un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno ( $CO_2$ ).

Estos cuatro componentes, conjuntamente, constituyen el 99,997 por ciento de la atmósfera. Hay quizás una docena de otros componentes insignificantes apretujados en el restante 0,003 por ciento del volumen, pero podemos ignorarlos.

Conocemos la masa de átomos individuales de argón, y la masa de moléculas individuales de oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono. Como también conocemos la masa de un centímetro cúbico de aire, podemos calcular cuántas partículas (un término que empleamos para incluir tanto los átomos de argón como las moléculas de los otros gases) están presentes en un centímetro cúbico de aire bajo condiciones estándar. La cantidad es 26.880.000.000.000.000.000, es decir, casi 27 trillones. En la cima del Everest, la cantidad es todavía de unos 10 trillones por centímetro cúbico, y podemos defendernos con esto... más o menos.

A 100 kilómetros por encima del nivel del mar, la atmósfera es menos de una millonésima parte de densa que a nivel del mar, lo que forma un vacío extraordinariamente bueno desde el punto de vista de los laboratorios, pero también significa que hay aún 10.000 billones de partículas por centímetro cúbico.

A 3.000 kilómetros sobre el nivel del mar, la atmósfera es menos de una millonésima de billonésima parte de lo que es a nivel del mar, pero todavía significa que hay 10.000 partículas por centímetro cúbico. Incluso a 30.000 kilómetros por encima del nivel del mar, casi una doceava parte del camino a la luna, sigue habiendo 10 partículas por centímetro cúbico.

Se puede ver que los jirones de gas se hacen cada vez más finos pero no desaparecen necesariamente a cero en el espacio. Pueden bajar a 1 partícula por centímetro cúbico o a 1 partícula por metro cúbico, y sin embargo no llegar nunca a cero. El vacío, en otras palabras, no es nunca enteramente vacío.

Pero es inútil ir en busca de la perfección. Podríamos arbitrariamente establecer un límite más bajo de densidad, al definir una atmósfera, y donde la densidad es todavía más baja podríamos llamarlo vacío. Así, los fenómenos, aproximadamente más altos, de los que la atmósfera de la tierra podría considerarse responsable son las auroras, alguna de las cuales pueden tener 1.000 kilómetros de altura, en cuya altitud sólo hay unas 300.000 partículas por centímetro cúbico. Llamemos a cualquier cosa menor que ésa

En tales condiciones, todo el espacio es vacío excepto por el ínfimo, insignificante volumen en el área inmediata de grandes cuerpos.

Cada estrella tiene una atmósfera, naturalmente, como la tiene nuestro sol, y cada planeta gaseoso gigante también tiene una atmósfera, como Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Sin embargo, cualquier objeto más pequeño que un gigante gaseoso raramente la tiene. En nuestro sistema solar hay sólo cuatro cuerpos más pequeños que los gigantes gaseosos, y que se sabe que tienen atmósferas. Son Venus, Tierra y Marte, entre los planetas, y Titán, entre los satélites.

Poco después del experimento de Torricelli quedó demostrada la naturaleza limitada de la atmósfera terrestre; En realidad fue entonces cuando los astrónomos empezaron a

darse cuenta de que la luna, por ejemplo, no tenía atmósfera.

Hagamos una pregunta. ¿Por qué el argón existe como átomos únicos, mientras que el oxígeno y el nitrógeno se emparejan y forman átomos de dos moléculas? Sin llegar a detalles de cantidad mecánica, digamos solamente que la disposición de electrones alrededor del átomo de argón es muy estable. La estabilidad no puede ser disminuida haciendo que un átomo de argón comparta alguno de sus electrones con otro átomo de argón o con un átomo de cualquier otra clase. Por lo tanto, los átomos de argón permanecen aislados.

La disposición de átomos alrededor de un átomo de oxígeno o de nitrógeno no es particularmente estable. Puede lograrse un aumento considerable de estabilidad si un átomo de oxígeno comparte electrones con otro átomo de oxígeno, o si un átomo de nitrógeno comparte sus electrones con otro átomo de nitrógeno.

Combinándose, los átomos desprenden el exceso de energía necesaria para mantener la configuración inestable de su condición única. Para separar estas parejas, debe proporcionarse de nuevo el exceso de energía e introducirse en la molécula. Ésta no es una tarea simple y no ocurre espontáneamente bajo las condiciones de la atmósfera que nos rodea, de modo que las moléculas de oxígeno y nitrógeno siguen estando allí indefinidamente.

No obstante, a fin de que dos átomos individuales compartan electrones, deben de estar muy juntos, tan juntos que podríamos considerar que colisionan. Pero la verdad es que no hay problema en condiciones atmosféricas ordinarias.

Supongamos que todas las moléculas de nitrógeno y de oxígeno existen en solitario esplendor. ¿Qué ocurriría?

Con moléculas de dos átomos de oxígeno y nitrógeno separadas en átomos únicos, habría algo así como 53 trillones de partículas por centímetro cúbico, todas ellas átomos. Si los átomos se movieran, cada uno tendría que viajar solamente una 3,3 millonésima parte de un centímetro (por término medio) antes de colisionar con otro. Como los átomos viajarían a una velocidad media de cerca de 6.500 centímetros por segundo (alrededor de 170 kilómetros por hora), ocurrirían casi 200 millones de colisiones por segundo. Esto quiere decir que en una pequeñísima fracción de segundo todos los átomos únicos encontrarían pareja. Los átomos de oxígeno y los átomos de nitrógeno se volverían moléculas de oxígeno y moléculas de nitrógeno, y el calor producido llevaría a la atmósfera a la incandescencia.

No obstante, a medida que uno sube la atmósfera se hace menos densa. Hay menos partículas por centímetro cúbico y por tanto están más separadas. Una partícula determinada debe viajar algo más lejos y por tanto por un período algo más largo, antes de sufrir una colisión.

Cerca de 85 kilómetros sobre el nivel del mar, una partícula debe viajar un centímetro, por término medio, antes de colisionar con otra partícula. A unos 600 kilómetros sobre el nivel del mar, una partícula debe viajar 10 millones de centímetros (¡100 kilómetros!) antes de colisionar. Las partículas que hay en el vacío difícilmente llegarían a colisionar.

Muy lejos de la superficie del planeta, la radiación energética del sol, rayos ultravioleta y rayos X, puede proporcionar la energía para partir las moléculas de oxígeno e hidrógeno en átomos individuales. (Dicha radiación es absorbida mucho antes de que pueda alcanzar las capas más bajas de la atmósfera y causar daños allí.) A los átomos individuales no les resulta fácil colisionar en las bajas densidades del vacío, así que cuanto más se sube en la atmósfera, más probable será que los átomos desparejados se encuentren.

A grandes alturas, el oxígeno y el nitrógeno tienden a desvanecerse casi juntos, y en cambio se encuentran el hidrógeno y el helio. Estos coinciden en la parte más baja de la atmósfera y en mínimas cantidades. Cinco partículas de cada millón son átomos de

helio (He) con la disposición más estable de electrones de cualquier átomo. Cinco partículas de cada 10 millones son moléculas de hidrógeno, cada una formada por un par de átomos de hidrógeno (H<sub>2</sub>).

El hidrógeno y el helio son los dos gases menos densos y tenderían a flotar sobre los demás gases si las diferencias de temperatura no tendieran a mezclar la atmósfera. Sus partículas son los átomos más pequeños y ligeros, así como son los que se mueven con mayor rapidez y los que menos probabilidades tienen de ser retenidos por un determinado campo gravitacional. Por estas dos razones hay una mayor tendencia en estos dos gases a buscar su camino a lo más alto de la atmósfera, y a «gotear» en el vacío.

Ocurre también que el hidrógeno y el helio son los elementos más comunes en el universo. De todos los átomos que existen, se estima que el 90 por ciento son de hidrógeno y 9 por ciento de helio, mientras que los demás elementos, juntos, forman el 1 por ciento restante.

Esto puede parecer increíble dado que la vasta tierra, así como la Luna, Marte, Venus, Mercurio y demás están compuestos casi de todo menos de hidrógeno y helio. No obstante, el sol y los gigantes gaseosos están formados principalmente, o casi enteramente, de hidrógeno y helio, y como estos cinco objetos suman el 99.9999 por ciento de toda la masa del sistema solar, la naturaleza de la composición química de todos sus otros cuerpos, incluyendo la tierra, no alcanza a pesar lo que un saco de plumas.

En la Grecia antigua, cuando el filósofo Demócrito (circa 470-380 A.C.) estaba desarrollando la teoría atómica, mantenía que la masa solamente consistía en átomos. Sólo existían, dijo, átomos, y entre ellos el vacío.

Una vez comprendido el crucial experimento de Torricelli y descubierto que el aire no llenaba el universo, fue posible modificar el punto de vista de Demócrito en mayor escala. Al parecer, en el universo sólo existían las estrellas y el vacío.

Para el ojo, esto parece ser ciertamente la verdad. Uno puede ver las estrellas y el resto sólo cielo negro que parece no contener nada. Con el telescopio, la extensión aparentemente vacía del cielo se descubre llena de estrellas demasiado lejanas para que puedan ser vistas con los ojos, pero todas estas estrellas están separadas por un aparente vacío. No importa lo mucho que se aumente el telescopio y cuantas estrellas puedan detectarse, siempre hay espacios vacíos entre ellas.

Así pues, podríamos decidir que los únicos puntos de interés del universo son las estrellas (y cualquier planeta acompañante que puedan tener) y que el vacío está totalmente vacío de interés, por así decirlo. ¿Y qué podemos decir sobre nada, o sobre casi nada? Y sin embargo, a los pocos años del invento del telescopio se descubrieron objetos en el vacío que no parecían ser estrellas. En 1612, el astrónomo alemán Simon Marius (1573-1624) informó sobre una mancha de luz confusa en la constelación de Andrómeda. Estas manchas confusas eran de aspecto completamente distinto a los vivos puntos de luz que eran las estrellas y fueron llamadas nebulae (de la palabra latina para «nubes»). La que Marius descubrió fue llamada por espacio de tres siglos «nebulosa de Andrómeda».

Después, en 1619, el astrónomo suizo Johann Cysat (1586-1657) encontró que la estrella central en la «espada» de Orión era en realidad una mancha de luz confusa más que un punto vivo. A ésta la llamaron «nebulosa de Orión».

Estas manchas confusas se multiplicaron a medida que mejoraron los telescopios y fueron frecuentemente confundidas con cometas por parte de astrónomos superentusiastas. A partir de 1771, el astrónomo francés Charles Messier (1730-1817) empezó a compilar una lista de más de cien objetos que podían engañar a los cazadores de cometas si no se les advertía.

El resultado fue que muchos de los objetos de la lista de Messier eran, después de todo, colecciones de estrellas. La nebulosa de Andrómeda no es una nube de polvo o

de niebla, sino un vasto conglomerado de cientos de billones de estrellas, localizadas tan lejos que, individualmente, se pierden en una mancha luminosa. Estos conglomerados se llaman ahora «galaxias» y hablamos de la «galaxia de Andrómeda». Treinta y ocho de los objetos señalados por Messier han resultado ser galaxias. Otros objetos de la lista de Messier están en nuestra propia galaxia de la Vía Láctea, pero son «racimos globulares» y «racimos abiertos», colecciones de cientos de cientos de millares de estrellas que lucen confusamente juntas. De estos racimos hay cincuenta y ocho en la lista.

Luego están las estrellas que han sufrido alguna violencia y han emitido gran cantidad de polvo y gases que brillan a la luz de la estrella. Éstas son «nebulosas planetarias» y sólo unas pocas figuran en la lista. El primer objeto mencionado en la lista de Messier es la «nebulosa del Cangrejo» y ésta es lo que queda de una estrella que estalló casi del todo como una supernova, hace nueve siglos y medio.

Pero hay unas pocas nebulosas que en realidad son nubes brillantes de átomos de hidrógeno y helio. La nebulosa de Orión es una de ellas. Las otras dos son la «nebulosa de Norteamérica», en Cisne (así llamada por su forma), y la «nebulosa de la Laguna», en Sagitario (así llamada porque parece constar de dos partes con un oscuro canal o laguna en medio).

La nebulosa de Orión brilla porque en su vasto volumen hay un número de estrellas ardientes que calientan su gas y hacen que los átomos de hidrógeno ganen energía, pierdan sus electrones y se ionicen. Este hidrógeno ionizado tiende a perder su energía ganada, en forma de luz. Los átomos ganan constantemente energía de las estrellas del interior de la nebulosa, y con la misma constancia la irradian en una especie de halo fluorescente que es característico de las «nebulosas de emisión».

Puede parecer asombroso que su brillo pueda verse a través de las inmensas distancias que nos separan de las nebulosas. El gas de que se componen es extremadamente rarificado, porque poseen sólo de 1.000 a 10.000 partículas por centímetro cúbico. Ésta es una densidad equivalente a la de nuestra atmósfera a una altura de 3.000 a 10.000 kilómetros sobre el nivel del mar, y es lo bastante baja para hacer que tales nebulosas concuerden con nuestra definición del «vacío». Pero, aun cuando tal cantidad de átomos desparramados se extiendan sobre años luz cúbicos, de espacio, es suficiente para producir un resplandor visible.

Hay nubes más delgadas, con sólo unos 100 átomos por centímetro cúbico, que resultan mucho más difíciles de detectar, puesto que sus densidades son equivalentes a nuestra atmósfera a una altura de 20.000 kilómetros. Finalmente, el espacio más vacío, el vacío más vacío, tiene sólo 0,3 partículas por centímetro cúbico (o alrededor de 5 partículas por pulgada cúbica).

Pero, naturalmente, no todas las nebulosas resplandecen.

Cuando el astrónomo germano-británico William Herschel (1738-1822) estaba estudiando la Vía Láctea, se fijó que en ciertas regiones había muy pocas estrellas, o ninguna. Estas regiones oscuras tenían límites definidos, a veces muy marcados, y en el lado contrario de los límites podía haber regiones simplemente reventando de estrellas en grandes cantidades.

Herschel adoptó la explicación más sencilla. Dio por hecho que esas oscuras regiones de la Vía Láctea carecían realmente de estrellas. Que eran tuneles de vacío atravesando multitud de estrellas y revelando la oscuridad del vacío más allá de la Vía Láctea. La tierra está situada de tal forma que nos permite mirar la boca del túnel. «Es seguro -dijo Herschel-, que hay un agujero en los cielos».

Existe un buen número de tales regiones, claro está, y con el tiempo fueron conocidas y descritas. En 1919, el astrónomo americano Edward Emerson Barnard (1857-1923) habla catalogado la posición de 182 regiones oscuras y, hoy en día, el número conocido es superior a 350.

A Barnard y al astrónomo alemán Max F.J.C. Wolf les pareció, independientemente,

que era muy improbable que hubiera tantos «agujeros» en la Vía Láctea, con todas sus aberturas mirando hacia la tierra de forma que los astrónomos podían ver dentro de ellos.

Parecía mucho más plausible que las regiones oscuras fueran inmensas nubes de partículas que no contenían estrellas y que, por tanto, no generaran energía ni relucieran; pero permanecían frías y oscuras. Tales nebulosas bloqueaban la luz que tenían detrás y aparecían como manchas oscuras contra la luz que escapaba por todos lados desde detrás de ellas.

Estas «nebulosas oscuras» no parecían ser, de ningún modo, producto de las estrellas. Más bien lo contrario, porque los astrónomos creen ahora que en la nebulosa oscura pueden formarse estrellas, en condiciones propicias. Se cree que todo el sistema solar pudiera ser producto de una nebulosa oscura que, hace algo menos de 5 billones de años, se condensó para formar el sol y sus planetas.

Si una nebulosa oscura es lo bastante grande, pueden formarse dentro de ella muchas estrellas, y las primeras proporcionarían la energía para producir una nebulosa de emisión. En ciertas nebulosas como la de Orión se distinguen algunas pequeñas manchas oscuras y circulares. Se las llama «glóbulos Bok» en memoria del astrónomo germano-holandés Bart Jan Bok (1906-1983) que fue el primero en estudiarlas en 1940. Se cree que son nubes de gas que se van condensando actualmente y que alguna vez, pronto (en sentido astronómico), pasarán a ser estrellas recién nacidas. Las nebulosas oscuras, así como las de emisión, están principalmente compuestas de hidrógeno y helio y tienen aproximadamente la misma densidad, pero dada su naturaleza no pueden estar formadas solamente por gases. Si una nebulosa oscura tiene 10.000 átomos de hidrógeno y helio por centímetro cúbico, probablemente puede contener también 100 partículas de polvo (cada una compuesta de decenas o centenares de átomos, incluyendo, quizá, silicio y varios metales) por centímetro cúbico.

Sabemos que así debe ser, simplemente porque una nebulosa absorbe luz solar. Una partícula de polvo es cien mil veces tan efectiva absorbiendo luz solar como lo es un átomo o molécula de gas. Así ocurre en nuestra propia atmósfera.

Todas las moléculas gaseosas de nuestra atmósfera hacen poca actividad en cuanto a absorción de luz solar, pero permiten que penetren unas gotitas de agua o fragmentos de polvo, y las condiciones cambian al instante. Puede que haya muy poca cantidad de líquido o sólido comparándola con el gran número de moléculas de gas presente, pero esas ínfimas cantidades producen niebla o bruma que oscurece la luz del sol.

Si sólo un 1 por ciento de las partículas de una nebulosa es polvo y el 99 por ciento restante son átomos o moléculas de gas, entonces el polvo sigue siendo el causante de 99,9 por ciento del oscurecimiento de la luz estelar.

No obstante, aunque algunas nebulosas emiten luz y otras la oscurecen, y aunque ambos tipos de nebulosa llaman la atención por ello, algo mucho más sutil y fascinante tiene lugar dentro de ellas, y es a esto a lo que me referiré en el capítulo siguiente.

---

## XIV

# LA QUIMICA DEL VACIO

---

A principios de este año asistí al banquete, en el transcurso del cual se repartían los galardones anuales a los Escritores de Misterio, de América, y fui con mi querida esposa Janet. Somos un poco sentimentales respecto de este acto, porque nos conocimos, hace veintiséis años, en uno de estos banquetes.

En todo caso se me había pedido que entregara el Edgard a la mejor novela de misterio del año. Como éste era el galardón de mayor categoría, era el último en entregarse y estuvimos sentados pacientemente durante toda la ceremonia, en la que se sucedieron una docena de oradores para demostrarnos lo agudos e inteligentes que eran.

Janet empezó a sentirse inquieta. Sabía que yo me sentía bastante menos que agradecido por esta oportunidad de entregar un importante Edgard, dado que yo ni siquiera había sido nominado nunca por la EMA. También se daba cuenta de que yo escuchaba todas esas muestras de inteligencia y agudeza, y estaba pensando la forma y manera de acabar con todo.

Así que se inclinó hacia mí y me dijo:

—Isaac, todos estos pobres nominados para la mejor novela han estado sumidos en el más angustioso suspense durante toda la velada. No lo prolongues más. Anuncia simplemente los cinco títulos y autores y luego lee el nombre del ganador.

—Sí querida -dije (soy un marido sumamente amable)-. Voy a anunciar los nominados y luego el ganador.

Y entonces llegó mi hora y salté al podio con mi habitual y juvenil empuje y leí una frase de la carta que había recibido dándome instrucciones de cómo comportarme en la concesión del premio. Me decían que algunos de los nombres iban a ser muy difíciles de pronunciar, y que si tenía problemas debía llamar a las oficinas de EMA para que me enseñaran a pronunciar bien.

Entonces doblé la carta, la guardé en la chaqueta, dije que estaba orgulloso de la naturaleza pluriétnica y pluralista de la sociedad americana, y que me molestaba pedir ayuda. Yo pronunciaría todos los nombres difíciles lo mejor que pudiera si el público era capaz de aguantarme.

Luego fijé mi atención en la lista de nominados que, por pura coincidencia, incluía sólo autores cuyos nombres eran de simple origen anglosajón. Leí cada título del libro, titubeé ante el nombre del autor, fijándome ansiosamente y soltándolo con un poco de dificultad, siendo cada vez premiado con risas. Cuando terminé y cogí el sobre que contenía el nombre del ganador, pensé entristecido que probablemente contenía el nombre más complicado de todos y que seguramente tendría que pronunciarlo un par de veces. Y, en efecto, el ganador era Ross Thomas, un nombre que pronuncié con gran dificultad. Coseché mi sexta tanda de carcajadas y volví a mi asiento.

—Lo único que hice fue leer los nombres -confesé a Janet.

Mortunadamente, mientras escribo estos capítulos no tengo a nadie al lado que me aconseje ser breve, así que voy a continuar, tranquilamente, desde el punto en que dejé el capítulo anterior.

En el capítulo anterior he hablado del vacío, de los espacios casi vacíos fuera de la inmediata proximidad de grandes cuerpos. Según la opinión terrenal, el vacío es un vacío que no contiene nada..., pero no del todo nada. Contiene tenues nubes de polvo y gas, aquí y allí. Incluso el vacío más claro, el más alejado de cualquier estrella, debe contener átomos desperdigados, de un tipo u otro. La cuestión es: ¿De qué tipo?

¿Hay algún medio de analizar un vacío casi completo, a muy larga distancia, para determinar la naturaleza de la materia que contiene, tenuemente desperdigada? Un principio de respuesta llegó en 1904. Un astrónomo alemán, Johannes Franz Hartmann (1865-1936) estaba estudiando las líneas espectroscópicas de una estrella binaria, Delta Orionis. Las dos estrellas de la binaria estaban demasiado cercanas para poder observarlas como objetos separados en el telescopio, pero como se movían una junto a otra, primero una se alejaba de nosotros mientras que la otra se acercaba; luego, ésta se alejaba mientras que la primera se acercaba de nuevo.

Ambas estrellas tenían líneas espectroscópicas, y cuando una se alejaba mientras la otra se acercaba, una serie de líneas se movían hacia el final rojo del espectro, mientras que las otras iban hacia el extremo violeta. Cuando las estrellas invertían su movimiento, las líneas espectrales hacían lo mismo. En otras palabras, las líneas espectrales del sistema binario se harían dobles mientras las estrellas se movían una hacia otra, después parecían mezclarse cuando una eclipsaba la otra, luego volvían a desdoblarse en otra dirección, una y otra vez.

Pero Hartmann se fijó en que una línea en particular no se movía. Era la línea que representaba átomos del elemento calcio. El calcio no puede ser parte de ninguna de las dos estrellas porque ambas estrellas se mueven. Tiene que formar parte de algo estacionario respecto a las estrellas, y esto tiene que ser los tenues jirones de gas interestelar que se encuentra entre las estrellas y la tierra. Esos jirones son sumamente tenues, pero el número de átomos crece en los años luz que separan las binarias de nosotros, y la luz estelar en su camino encuentra lo bastante de ellos para tener la longitud de onda del calcio absorbida visiblemente. En efecto, Hartmann había identificado el calcio entre los componentes del gas interestelar.

Por supuesto que no fue inmediatamente aceptado. Se habían hecho otros estudios, con resultados conflictivos<sup>1</sup> y se habían avanzado toda clase de teorías contradictorias. En 1926 el astrónomo inglés Arthur Stanley Eddington (1882-1944) demostró convincentemente que la explicación del gas interestelar era correcta. Por entonces, también habían sido detectados en el gas interestelar otros tipos de átomos, como los del sodio, potasio y titanio.

Dichos metales son elementos relativamente corrientes en la tierra, y presumiblemente en todo el universo. No obstante, entonces ya se sabía que el hidrógeno es con mucho el elemento predominante en el universo, y debería ser también predominante en el gas interestelar. Cerca de un 90 por ciento de todos los átomos del universo son hidrógeno y el 9 por ciento, helio. Todos los demás, juntos, suman sólo y como mucho un 1 por ciento. ¿Por qué debe uno detectar los componentes menores y no los dominantes?

La respuesta es fácil. Los átomos, tales como el calcio, absorben con fuerza ciertas longitudes de onda, de luz visible. El hidrógeno y el helio no lo hacen. Por tanto, al estudiar el espectro de luz visible, se detectan las líneas oscuras correspondientes al calcio y otros átomos del vacío. En cambio no se ve nada en el caso del hidrógeno y del helio.

Sólo en ciertas condiciones se hace visible el hidrógeno. Un átomo consta de un núcleo con una carga positiva que queda cancelada por la carga negativa de un único electrón en los alrededores del átomo. El núcleo y el electrón juntos forman un «átomo de hidrógeno neutral». No obstante, si hay una estrella ardiente en las proximidades, la reacción energética que libera desprende al electrón del núcleo, dejando tras de sí un . De vez en cuando, el ion de hidrógeno se recombina con el electrón, liberando el impulso de energía que sirvió para separarlos, y dicho impulso también puede ser detectado.

Esas emisiones de iones de hidrógeno fueron observadas en nebulosas luminosas y también pudieron utilizarse para estudiar a las estrellas ardientes jóvenes que abundaban en los brazos espirales de las galaxias, de ahí que la intensa radiación de

esas estrellas formara importantes cantidades de hidrógeno ionizado durante años luz. En 1951, el astrónomo americano William Wilson Morgan (1908- ) pudo trazar las curvas del hidrógeno ionizado que marcaba los brazos espirales de nuestra propia galaxia, en una de las cuales se encuentra nuestro sol. Hasta entonces, se suponía que nuestra galaxia tenía una estructura espiral, pero ésta fue la primera pieza de evidencia directa.

Sin embargo, los iones de hidrógeno se encontraron sólo en ciertos puntos de la galaxia. Pero la mayor parte de la galaxia consistía en estrellas pequeñas y opacas. El espacio entre ellas consistía en un tenue gas de átomos neutros de hidrógeno que resultaban invisibles en lo que se refería a espectros de luz ordinarios. No obstante, mientras el hidrógeno ionizado se utilizaba para planificar los brazos espirales de la galaxia, cambió la situación con respecto a los átomos neutros de hidrógeno.

El Ejército alemán había ocupado los Países Bajos en 1940 y había colocado al país a la oscura sombra de la tiranía nazi. La investigación astronómica se hizo imposible, y un joven astrónomo holandés, Hendrik Christoffel van de Hulst (1918- ) se vio obligado a considerar lo que podía hacer con sólo pluma y papel.

El átomo neutro de hidrógeno puede existir en dos formas. En una, el electrón y el núcleo giran en la misma dirección; en la otra, giran en direcciones opuestas. Las dos formas tienen un contenido de energía ligeramente diferente. Un fotón vagabundo de luz estelar podría ser absorbido por la energía de baja forma, que entonces se convertiría en energía de alta forma. La energía de más alta forma se deslizaría espontáneamente hacia la energía de baja forma, más pronto o más tarde, y liberaría la energía que había absorbido.

En 1944, Van de Hulst demostró que la energía liberada lo sería en forma de un fotón de microonda con una longitud de onda de 21 centímetros (que sería alrededor de una cuarenta millonésima tan energética como la luz visible). Cualquier átomo de hidrógeno solitario emitiría esa longitud de onda de 21 centímetros sólo cada millón de años como término medio, pero hay tantos átomos de hidrógeno en el espacio exterior que, en un determinado momento, gran número de ellos liberan esos fotones de microonda, y éstos, en teoría, podrían ser detectados.

No obstante, antes de la Segunda Guerra Mundial faltaban los instrumentos para la detección de esos fotones débiles.

Pero justo antes de la Segunda Guerra Mundial se desarrolló el radar y, durante la guerra, se le dedicó una gran cantidad a investigación. Resulta que el radar trabaja con rayos de microonda y, al final de la guerra, se disponía de mucha tecnología para la detección de microondas. La radioastronomía se había hecho práctica.

Empleando las nuevas técnicas, el astrónomo americano Edward Millis Purcell (1912- ) detectó la radiación de 21 centímetros en 1951. En consecuencia, ahora era posible estudiar el hidrógeno interestelar frío y obtener una enorme cantidad de información nueva sobre la galaxia.

Lo que es más, las nuevas técnicas de radioastronomía podían utilizarse para detectar otros componentes del gas interestelar.

Por ejemplo, los núcleos independientemente cargados del átomo ordinario de hidrógeno consisten en un protón y nada más. Hay unos pocos átomos de hidrógeno, sin embargo, consistentes en un protón y un neutrón. Tales núcleos conservan aún una sola carga positiva, pero que es dos veces tan maciza como un núcleo ordinario de hidrógeno. Este átomo de hidrógeno, macizo, recibe habitualmente el nombre de «deuterio».

El «deuterio», como el hidrógeno ordinario, tiene dos estados energéticos, y al deslizarse del más energético al menos emite un fotón de microonda, de una longitud de onda de 91 centímetros. Esta radiación fue detectada por astrónomos americanos, en la Universidad de Chicago, en 1966, y ahora sabemos que alrededor de un 5 por ciento del hidrógeno interestelar está en forma de deuterio. En el mismo año un

astrónomo soviético detectó la radiación de microonda característica del átomo de helio.

La docena de átomos más comunes en el universo (y por tanto en el gas interestelar) en orden decreciente de abundancia son: hidrógeno (H), helio (He), oxígeno (O), neón (Ne), nitrógeno (N), carbono (C), silicio (Si), magnesio (Mg), hierro (Fe), azufre (S), argón (Ar) y aluminio (Al).

Como he dicho antes, el hidrógeno y el helio juntos suman un 99 por ciento de los átomos del universo. Si dejamos éstos de lado, LOS otros diez tipos de átomos que he puesto en lista suman más del 99,5 por ciento de todos los demás átomos. En resumen, menos de uno entre cada veinte mil átomos del universo es de una variedad distinta de los doce mencionados. Pueden ignorarse, según lo que sigue.

Consideremos ahora si es posible que los átomos de gas interestelar pueden existir allí como otra cosa que átomos únicos. ¿ Pueden dos o más átomos combinarse para formar una molécula?

Para combinarlos, los átomos deben primero colisionar, y los átomos individuales del vacío interestelar están tan separados que las colisiones ocurren raras veces. No obstante, ocurren las colisiones, y como el universo ha existido más o menos en las actuales condiciones de 10 a 14 billones de años, deben haber ocurrido muchas, muchas colisiones y se habrán formado muchas moléculas. Claro que las moléculas, una vez formadas, deben resistir ulteriores colisiones con radiación y partículas energéticas que tenderían a partirlas de nuevo, pero el equilibrio entre formación y partición puede ser tal que, en cualquier momento, hay cierto número de partículas en existencia.

¿Y qué clase de moléculas serían ésas? Para empezar, podemos eliminar todos los átomos excepto los doce tipos mencionados. Los de cualquier otro tipo serían excesivamente pocos para involucrarse en la formación de moléculas en concentración visible. De los doce mencionados, podemos apartar tres, ya que los átomos de helio, neón y argón no se combinan con otros átomos bajo ninguna condición conocida. En cuanto al silicio, magnesio, hierro, y aluminio no es probable que formen pequeñas moléculas, pero tienden a añadir más y más átomos de sí mismos con otros, tales como los del oxígeno, para formar partículas de polvo.

Estas partículas de polvo suman solamente cerca de un 1 por ciento de la masa de gas interestelar, pero su presencia es inconfundible. Los átomos individuales y las pequeñas moléculas de gas interestelar no absorben cantidades significativas de luz solar, así que el espacio exterior es generalmente transparente.

No obstante, el polvo es terriblemente absorbente. Una masa de polvo absorbe una cantidad de luz solar cien mil veces mayor a la que absorbe una masa de gas. En esos volúmenes de espacio donde el polvo interestelar es moderadamente abundante, las estrellas que se encuentran tras ellos (con relación con la tierra) se ven opacas y enrojecidas. Si el polvo es lo bastante abundante, las estrellas quedan totalmente ocultas y tenemos la «nebulosa oscura» que mencioné en el capítulo anterior. (Los átomos individuales del tipo que generalmente crean partículas de polvo se encuentran en el espacio, bien porque todavía no se han agregado a las partículas, o bien porque han sido desprendidos de ellas. Estas explican las líneas espectrales como las que fueron detectadas por Hartmann.

Si estamos pensando en verdaderas moléculas y no en partículas de polvo debemos limitarnos a cinco tipos de átomos: hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, carbono y sulfuro, en este orden de decreciente abundancia.

¿Existirían combinaciones de estos átomos en cantidad detectable? La respuesta fue sí, porque algunas combinaciones radian, de hecho, en la región de luz visible cuando pierden la energía absorbida, y en 1941 ya pudieron ser detectadas por medios espectroscópicos ordinarios. Tres combinaciones de este tipo son, la combinación carbono-nitrógeno «cianuro» (CN), la combinación carbono-hidrógeno,

Estas tres combinaciones no existirían en la tierra. Podrían formarse, sí, pero serían muy activas y rápidamente se combinarían con otros átomos o moléculas del entorno para formar moléculas más complicadas y más estables. Pero en el gas interestelar las colisiones son tan raras que esas combinaciones inestables no tienen más remedio que seguir existiendo, al menos hasta cierto punto.

No hay otras posibles combinaciones moleculares capaces de irradiar en la región de luz visible, o así lo pareció por cierto tiempo, como si los astrónomos hubieran llegado a su límite. No obstante, en 1953, el astrónomo soviético Iosif Samuilovich Shklovskii (1916-1985) observó que el átomo de oxígeno era más común que el carbono o el nitrógeno, así que la combinación

Los cálculos demostraron que el hidróxido desprendería cuatro longitudes de onda de microondas de características diferentes, y éstas servirían como sus «huellas dactilares». En octubre de 1963, fue detectada la huella del hidróxido y los astrónomos lograron la clave para ulteriores identificaciones.

Por ejemplo, con el hidrógeno, el más corriente con mucho de los componentes del gas interestelar, podemos contar con que cerca del 99,8 por ciento de las colisiones fortuitas involucrarían dos átomos de hidrógeno. Esto significa que una combinación hidrógeno-hidrógeno, la «molécula de hidrógeno» (H<sub>2</sub>) debería ser la molécula más común en el espacio. En 1970, la radiación de la microonda característica de la molécula del hidrógeno fue detectada en las nubes de gas interestelar.

Actualmente han sido detectadas en el espacio diferentes combinaciones de dos átomos. Son H<sub>2</sub>, CO, CH, CH<sup>+</sup>, CN, CS, CC, OH, NO, NS, SO, SiO y SiS. Las dos últimas involucran el átomo de silicio y pueden ser incipientes partículas de polvo. Fíjense también en que seis de las trece contienen átomos de carbono.

A mediados de la década de los 60, los astrónomos no confiaban seriamente en detectar ninguna combinación atómica en el espacio que contuviera tres o más átomos. Estaban seguros de que podían formarse mediante choques ocasionales de una combinación de dos átomos con un átomo de hidrógeno, o (menos probable) con algún otro tipo de átomo, o (aún menos probable) con otra combinación de dos átomos. Sin embargo, parecía que esas combinaciones de tres o más átomos difícilmente podían formarse así en cantidades detectables incluso en nubes de gas donde los átomos estaban más abundantemente distribuidos que generalmente en el espacio interestelar, y donde las colisiones tendrían lugar con más probabilidades. Pero en 1968 llegó la gran sorpresa que revolucionó las ideas sobre el tema y estableció la nueva ciencia de la «astroquímica». En noviembre de aquel año, fueron detectadas las huellas deladoras, microondas, de la molécula de agua (H<sub>2</sub>O) y de la molécula de amoníaco (NH<sub>3</sub>). La molécula de agua, como pueden ver, consta de tres átomos, y la de amoníaco de cuatro.

Dichas moléculas son muy estables y corrientes en los cuerpos planetarios. La tierra tiene océanos de agua y los gigantes gaseosos tienen atmósferas ricas en amoníaco. Pero el problema está en cómo tan complicadas moléculas pudieron haberse formado en cantidad detectable en las nubes de gas interestelar en las que las colisiones necesarias no suelen ocurrir con frecuencia.

Ahora, se han detectado en el espacio interestelar no menos de trece combinaciones diferentes de tres átomos, de las que ocho contienen un átomo de carbono. Además han sido detectadas nueve diferentes combinaciones de cuatro átomos, ocho de las cuales contienen un átomo de carbono (la única que no lo contiene es la molécula de amoníaco).

El último recuento que he visto cataloga veinticuatro combinaciones de más de cuatro átomos y cada una de ellas contiene átomos de carbono. La mayor es una molécula de trece átomos hecha de una ristra de once átomos de carbono con uno de hidrógeno en un extremo, y un átomo de nitrógeno en el otro.

Cuanto más complicadas son esas moléculas interestelares, mayor es el puzzle de su

formación. Por una parte, cuanto mayor es la molécula más inestable resulta, y lo más probable es que la rompieran los fotones de luz estelar, vagabundos. No obstante, la impresión que se tiene es que las partículas de polvo que hay en las nubes de gas interestelar sirven para proteger las moléculas que se van formando, y hace posible que continúen existiendo.

Se han presentado varios esquemas de colisiones diferentes en diferentes condiciones, y los cálculos basados en estas suposiciones se han utilizado para descubrir las clases y los diversos tipos de moléculas que se forman. Ninguno de los cálculos es gratuito, pero alguno de ellos termina en la papelera. La conclusión general es que la química interestelar es rara debido a las inusuales condiciones (si las comparamos con las que estamos familiarizados) pero no es ilegal. Es decir, las leyes físicas y químicas seguidas en la formación de esas grandes moléculas interestelares son las mismas que contemplamos en la tierra.

Es interesante que de las cincuenta y nueve diferentes moléculas identificadas en el espacio, cuarenta y seis contengan átomos de carbono, incluyendo a todas las combinaciones, menos una, que poseen más de tres átomos. Parecería que en el espacio exterior, en un estado de casi vacío, y en condiciones extremadamente diferentes de las de la tierra, es en el átomo de carbono y no en otro en donde reside la complejidad. Esto sirve para sostener la conclusión a la que llegué en el ensayo «El Único» (véase La tragedia de la Luna, Doubleday, 1973).

Parece que entre los astrónomos no hay duda de que las cincuenta y nueve diferentes combinaciones atómicas detectadas hasta el momento no incluyen todas las existentes. Puede que hayan centenares o millares de combinaciones diferentes en las nubes de gas, pero el problema está en detectarlas. Obviamente, cuanto más complicada es la molécula, más interesante resulta..., pero cuantas menos se formen, más difícil resultará el detectarlas.

Por ejemplo, no es difícil imaginar que, ocultas entre los años luz cúbicos de una nube de gas, pueda haber rastros aquí y allá de simples moléculas de azúcar o de aminoácidos. Estos rastros, o trazas, si se recogieran por todo el vasto volumen, podrían sumar toneladas y toneladas, pero extendidas como están, pueden ser indetectables en el previsible futuro.

Ya es importante que sepamos exactamente cómo se han formado las moléculas que tenemos detectadas. Si podemos calcular un esquema aceptable, seremos capaces de calcular qué otras moléculas adicionales, más complicadas, pueden haberse formado. Esto puede proporcionarnos ciertas posibilidades apabullantes.

El astrónomo británico Fred Hoyle (1915- ) por ejemplo, ya sospecha que las moléculas que pueden crearse en las nubes interestelares son lo bastante complejas para poseer alguna de las propiedades de la vida, aunque respecto a esta teoría constituye una minoría, es el único.

No obstante, parece probable que lo que forma las nubes de gas interestelar es relevante en cuanto a la formación de vida, aunque no la contengan en realidad. Nuestro sistema solar nació, condensado, de una nube de polvo y gas interestelar, y mientras los trozos sólidos y los grumos que formaban la tierra debieron calentarse mucho en el proceso hasta el extremo de que los complicados compuestos de carbono, si existía alguno, fueron destruidos, la primitiva tierra debió de haber estado rodeada por una fina capa de gas que contenía varias moléculas orgánicas. Gran parte de este gas debió ser barrido por el joven viento solar, pero parte de él debió de introducirse en la joven atmósfera de la tierra y en el océano.

En otras palabras, ¿hacemos mal intentando averiguar el origen de la vida en la tierra, desde el principio..., desde las sencillas moléculas? Supongan que la tierra empezó con, por lo menos, alguna de las más complicadas moléculas y tuvo participación en su principio a lo largo del camino de la vida.

Los pequeños restos de materia del sistema solar tal vez conserven estas moléculas

originales. Se trata de condritas carbonosas, una especie de meteorito, que contiene por ejemplo pequeñas cantidades de aminoácidos y moléculas como grasa. Puede que los cometas también lo tengan. En realidad, Fred Hoyle cree que los cometas pueden ser semilleros de vida y que incluso moléculas tan complicadas como las de los virus, pueden estar allí. Ha sugerido incluso que el roce con un cometa puede hacer que un virus quede depositado en la atmósfera de la tierra, un virus que puede ser patógeno y contra el que los seres humanos tendrían poca o ninguna defensa.

¿Puede ser éste el origen de las súbitas pandemias que afligen la tierra..., como por ejemplo la peste negra en el siglo xiv? O uno puede sugerir que dado que se supone que la tierra ha pasado a través de la cola del cometa Halley en 1910, puede haber recogido algunos virus que, finalmente, se multiplicaron y causaron la gran epidemia de gripe en el año 1918.

Yo, de momento, no creo nada de esto y no conozco a ningún científico que esté de acuerdo con Hoyle en sus especulaciones más radicales, pero me sorprende que no haya servido de tema, aún, para historias de ciencia ficción. O quizá sí, dado que ya no puedo leer todas las historias de ciencia ficción que se editan.

---

## XV

# LA REGLA DE LOS NUMEROSOS PEQUEÑOS

---

Frecuentemente recibo cartas preguntándome cosas porque suponen que lo sé todo, y 2) que dirijo un servicio gratis de información.

No obstante, contesto siempre que puedo porque aborrezco decepcionar a la gente, especialmente si son lo bastante atentos como para incluir un sobre con sello y su dirección. Observen que digo

Pero de vez en cuando soy ampliamente recompensado por la molestia, cuando una pregunta me hace pensar. Por ejemplo, una mujer me escribió recientemente pidiéndome que le explicara la diferencia entre una estrella y un planeta. Sonrel y estuve a punto de contestarle:

Entonces, algo sorprendido, empecé a pensar. ¿Podemos tratar con tanta desenvoltura el asunto de las estrellas y los planetas? Así que me decidí a escribir un ensayo sobre el tema.

Si consideramos una determinada clase de sustancias que aparecen en diferentes tamaños, suele parecer que cuanto más pequeño es el tamaño, más numerosos son los objetos individualmente. Así, las piedras son más numerosas que las rocas, las piedrecitas más que las piedras, y los granos de arena más que las piedrecitas. Por otra parte, las cebras son más numerosas que los elefantes, los ratones más que las cebras, las moscas más que los ratones, las bacterias más que las moscas.

«La regla de los numerosos pequeños» (como yo digo) parece que puede aplicarse también a los objetos astronómicos. La primera indicación de esto apareció en relación con el brillo de las estrellas. Hiparco, el antiguo astrónomo griego, dividió las estrellas en seis clases: de primera magnitud para las más brillantes, de segunda para las siguientes y así sucesivamente, hasta llegar a la sexta magnitud para las más apagadas. El número de estrellas de primera magnitud era pequeño, pero había más estrellas de segunda magnitud y así sucesivamente. Más de la mitad de las estrellas visibles son de sexta magnitud.

Parecía natural en la antigüedad y en la Edad Media suponer que las estrellas visibles eran las únicas que había. Después de todo, si uno no ve algo, es que no está. Con el invento del telescopio se hizo aparente que había estrellas demasiado apagadas para que el ojo las viera. Se hizo posible entonces extender la línea de magnitudes en dirección a las apagadas, clasificarlas de séptima magnitud, de octava y demás.

Resultó que el número de estrellas de una determinada magnitud continuó aumentando a medida que uno recorría la línea hasta niveles más y más apagados. Los antiguos, naturalmente, asumieron que todas las estrellas estaban a la misma distancia de nosotros puesto que, pensaban, estaban sujetas a una esfera celeste sólida. Parecía, por consiguiente, que una estrella estaba más apagada que otra solamente porque era la más pequeña de las dos. (Por esta razón las clases se llamaron «magnitudes», un término que implica más tamaño que luz.) El que las estrellas pequeñas fueran más numerosas que las grandes no les parecía nada raro. Sin embargo, hoy en día sabemos que las estrellas pueden estar a distancias ampliamente diferentes de nosotros, y que una estrella puede aparecer apagada no sólo porque sea pequeña sino por estar muy distante.

No obstante, es posible determinar la distancia de las diversas estrellas y tenerlo en cuenta. Podemos determinar lo que serían las magnitudes si estuvieran todas a una distancia fija de 10 parsecs (o 32,6 años luz). Esto nos da «magnitudes absolutas». Si ordenamos las estrellas de este modo encontramos que cuanto mayor es la magnitud absoluta y cuanto más bajo es el brillo verdadero (o «luminosidad») de una estrella,

menor es la masa y más numerosos los miembros de su clase. Así, por cada estrella que es más grande que el sol y por consiguiente más luminosa, hay veinte estrellas que son menos grandes y menos luminosas que el sol.

La luminosidad aumenta y decrece con la masa, pero mucho más rápidamente. Así, Proción es 1,8 veces tan grande como el sol, pero 5,8 veces más luminosa. Sirius es 2,5 tan grande como el sol, pero 23 veces más luminosa. Por el contrario, 70 Ofiuchi A tiene 0,95 veces la masa del sol, pero sólo 0,36 de su luminosidad.

A medida que la masa disminuye, llega un punto en que la estrella está demasiado apagada para ser detectada, y esto significa que nos vamos acercando a la línea divisoria entre estrellas y planetas. ¿Cuál es pues la estrella conocida menos luminosa? (y por tanto menos maciza).

En mi libro Alfa Centauro, la estrella más cercana, publicado en 1976, catalogo como estrella menos luminosa la « Estrella Van Biesbroek», así llamada porque la descubrió un astrónomo belgaamericano, George van Biesbroek, hacia 1940. También se la puede llamar por el nombre más cómodo de VB 10.

El valor más reciente que he podido encontrar para la magnitud absoluta de VB10 es de 18,6. Esto significa que VB 10 es 13,9 magnitudes más apagada que el sol. La magnitud es una función logarítmica y por cada unidad de magnitud la luminosidad debe decrecer por un factor de 2,512. De ello se deduce que VB 10 es solamente 1/350.000 tan luminosa como el sol (es decir, 0,000035).

Si nuestro sol fuera remplazado por VB10, veríamos naturalmente un objeto mucho más pequeño en el cielo, porque la VB 10 tiene probablemente un diámetro de 200.000 kilómetros como máximo. Esto es aproximadamente 1/7 del diámetro del sol, así que VB 10 parecería tener un diámetro angular de un poco más de 4 minutos. La distinguiríamos como un pequeño disco, más que como un simple punto de luz.

Sería de un color rojo profundo porque, considerando su tamaño, no desarrollaría suficiente energía nuclear en el centro para llevar a la superficie más que calor rojo. El brillo de VB 10 aparecería solamente 1,3 veces lo que es la luna llena ahora, de modo que la tierra quedaría solamente bañada por una luz de luna roja. En cuanto a la luna en sí, en estas circunstancias, brillaría reflejando la luz roja de VB 10, con un brillo total, cuando estuviera llena, sería igual al de una estrella como Arcturus. Este brillo se extendería tenuemente sobre toda la cara de la luna. Dudo de que pudiera llegar a verse la luna, en este caso, sin algo que la «aumentara».

No obstante, desde que se publicó mi libro, la VB10 ha sido destronada. En 1981 se identificó una estrella mucho más apagada y, en 1983, otra aún más. Ésta, que ahora mantiene el récord, es la LHS 2924 y tiene una magnitud absoluta de 20. Esto significaría que es solamente 1/7 tan luminosa como la VB 10, o aproximadamente 1/1.200.000 tan luminosa como nuestro sol (0,0000085). Si estuviera situada en el lugar de nuestro sol, tendría un brillo de sólo 2/5 del de la luna llena en las actuales condiciones.

¿Cuánta masa tienen estas estrellas tan apagadas? La respuesta es que es muy difícil determinarlo con cierto grado de certeza, pero el mejor tanteo parece suponerlas 0,06 veces tan grandes como el sol (o 1/17 de la masa del sol, si prefieren las fracciones). Ahora, estudiemos el asunto desde el otro extremo. ¿Cuál es el cuerpo con más masa que conocemos y que no tiene la suficiente como para desarrollar el calor suficiente, del tipo que sea, para que brille con luz propia?

La respuesta es sencilla. El mayor objeto sin brillo que conocemos es el planeta Júpiter, que sólo es visible por el reflejo de la luz solar.

Júpiter tiene una masa de casi 1/1.000 de la del sol, o sea 0,0015. Esto significa que la LHS 2924 tiene una masa de unas 60 veces la de Júpiter (60/3). En algún punto entre 1/3 y 60/3, pues, se encuentra la línea divisoria entre una estrella y un planeta. Puede que no sea una divisoria marcada porque otros factores que no son la masa (digamos, la constitución química del objeto) pueden afectar la capacidad de un objeto para

generar su propia luz.

De todos modos, como regla simple podríamos decir que  $10^3$  es la línea divisoria. Cualquier objeto que tenga una masa 10 veces menor que la de Júpiter puede ser considerado un planeta, mientras que cualquier objeto con una masa superior a 10 veces la de Júpiter puede considerarse una estrella.

Por la «regla de los numerosos pequeños», podríamos dar por sentado que debe haber un número mucho mayor de planetas que de estrellas en el universo, puesto que los planetas son pequeños y las estrellas grandes.

Juzgando solamente nuestro sistema solar, así es ciertamente. Nuestro sistema solar contiene solamente un cuerpo que es lo bastante grande para ser una estrella: el sol. Tiene también infinidad de objetos oscuros girando alrededor de él, cuyo tamaño va desde el de Júpiter a las microscópicas partículas de polvo.

Los cuatro cuerpos mayores en la órbita del sol, los «gigantes gaseosos», Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, suman algo más que el 99 por ciento de la masa total que gira alrededor del sol. Todo lo demás, incluyendo la tierra y otros pequeños planetas, todos los satélites, asteroides, meteoroides y cometas, suman el otro 1 por ciento. Un observador objetivo, revisando el sistema solar, llegaría a la conclusión de que éste consiste en el sol, cuatro planetas y una dispersión de restos despreciables.

El más pequeño de los gigantes gaseosos del sol es Urano, que tiene una masa de alrededor de  $1/22$  de la de Júpiter. Podríamos decir con cierta arbitrariedad que todos los objetos con masa superiores a  $10^3$  son estrellas; que los objetos con masas de  $10^3$  a  $0,05 J$ , son planetas; y que los objetos con masas menores de  $0,05 J$  (incluyendo nuestra tierra) son «subplanetas».

Mediante esta definición podemos decir que nuestro sistema solar consiste en una estrella, cuatro planetas e innumerables subplanetas. Si otras estrellas van acompañadas por sistemas planetarios similares (y la impresión general entre los astrónomos es que probablemente es así) entonces eso sólo significa que hay cuatro veces más planetas que estrellas.

No obstante, esto quizá relega injustamente los planetas a cuerpos oscuros que orbitan estrellas. ¿Por qué no puede haber planetas totalmente independientes de las estrellas?

Después de todo, las estrellas son más numerosas cuanto más pequeñas son, de acuerdo con la «regla de los numerosos pequeños», ¿y por qué debemos considerar justo limitarnos solamente a las estrellas que pueden ser localizadas por nuestros variados instrumentos, como tampoco eran justos los antiguos que se limitaban sólo a aquellas estrellas que podían distinguirse a simple vista?

Cualquier proceso involucrado en la formación de estrellas es un proceso que parece formar más bien estrellas medianas que estrellas gigantes, y estrellas pequeñas más que estrellas medianas. ¿Podría este proceso dejar de formar estrellas muy pequeñas, que fueran tan pequeñas que no pudieran desarrollar reacciones nucleares y brillar, con más frecuencia aún? Estas pequeñísimas «estrellas» serían en realidad planetas que no girarían alrededor de alguna estrella cercana, sino que orbitarían el centro de la galaxia independientemente. Serían análogas a los asteroides del sistema solar que son lo bastante pequeños para ser satélites, pero que no lo son; en lugar de estar en la órbita de algún planeta cercano, giran directamente en la órbita del sol.

Existe la tendencia a llamar a esos objetos planetarios independientes «enanas negras», pero no me parece que sea un buen nombre, puesto que también se utiliza para las estrellas enanas blancas, que se han enfriado finalmente hasta el punto de que ya no irradian y por tanto no se pueden detectar, y las

Me parece que deberíamos llamar a los cuerpos planetarios que son miembros independientes de la galaxia, «planetas primarios» y a los cuerpos planetarios que orbitan estrellas, «planetas secundarios». (Tal vez deberíamos hablar también de subplanetas primarios y secundarios.)

Aunque hemos detectado innumerables estrellas, todavía no hemos detectado con seguridad planetas secundarios, a excepción de los cuatro de nuestro propio sistema solar. Ha habido balanceos en el movimiento de algunas estrellas cercanas que han sido interpretados como indicativos de la presencia de planetas secundarios en su órbita, pero estas indicaciones por lo general ya no son aceptadas. Más recientemente han sido detectadas fajas de polvo y gravilla cerca de algunas estrellas, y eso sugiere la presencia de planetas secundarios, pero aún no podemos tener la certeza de ello. En cuanto a los planetas primarios, la situación parece mucho peor. Después de todo, la única razón que nos conduce a la esperanza de detectar planetas secundarios es precisamente porque hay una estrella cercana. La estrella cercana puede balancearse en su ruta por el «tirón» de un planeta cercano relativamente grande, o el planeta puede ser detectado por su reflejo de la luz de aquella estrella cercana. La esencia de un planeta primario (asumiendo que exista) es que no hay estrella cercana; ninguna estrella que hacer balancear; ninguna estrella que le preste luz por reflexión.

Así pues, ¿podemos detectar alguna vez un planeta primario por observación directa? ¡Posiblemente!

Incluso si su campo de gravitación es demasiado débil para ser detectado e incluso si no irradia luz propia ni tiene estrella disponible para reflejar, puede estar todavía lo bastante caliente para emitir radiaciones infrarrojas o algún tipo característico de radiación de microondas, y a lo mejor aún podemos desarrollar métodos para detectarlo.

La capacidad de hacerlo puede aumentarse de uno o dos modos. Podemos situar un telescopio espacial lo suficientemente grande para superar, por un considerable margen, la capacidad de los

telescopios situados en la tierra; o podemos desarrollar naves espaciales que puedan transportar seres humanos para explorar mucho más allá del sistema solar.

Cabe finalmente que algún planeta primario esté circulando por el centro galáctico en una órbita que se cruce con la del sol. Puede llegar el momento en que tal planeta primario llegue del espacio interestelar y se mueva por los alrededores de nuestro sistema planetario. ¡Cuánta excitación causaría, de no ser que la contingencia de que tal cosa ocurriera sería, bueno, astronómica!

Sin embargo hay muchos otros tipos de evidencia.

A juzgar por lo que podemos ver, la masa de una galaxia típica (como la nuestra, por ejemplo) podría ser 100 billones de veces la de nuestro sol, y esta masa fuertemente concentrada hacia el centro. Quizás un 90 por ciento de ella se encuentra en el propio punto central de la galaxia, mientras que el 10 por ciento restante está extendido a través de las enormes regiones exteriores.

Esto tiene cierta similitud con el sistema solar, donde la mayor parte de la masa está concentrada en el sol central y solamente una pequeña porción está extendida por las vastas regiones exteriores del sistema.

Si ésta es en verdad la estructura de las galaxias típicas, entonces la rotación de las partes que la forman debería mostrar parecido con la rotación de las partes de nuestro sistema solar. Por ejemplo, cuanto más alejado del sol está un planeta, más despacio cruza su órbita, porque la intensidad de la atracción gravitacional del sol disminuye con la distancia. De acuerdo con esto, los astrónomos estaban completamente seguros de que cuanto más lejos estuviera una región galáctica del Centro galáctico, más lento sería el movimiento de rotación de las estrellas de aquella región.

En los últimos años, los astrónomos han medido las proporciones rotativas de las regiones galácticas a distancias cada vez mayores del centro, y han encontrado, con gran asombro, que eso no era cierto, que el grado de rotación no disminuye con la distancia del modo que se suponía.

La conclusión es por tanto que cada galaxia (incluyendo la nuestra), además de las

estrellas que podemos ver con toda claridad, debe tener un nimbo de masa resistente envolviendo todo el cuerpo de la galaxia, un nimbo o halo hecho de algo que nosotros no podemos ver. Y cada galaxia debe ser por consiguiente más sustancialmente densa de lo que pensábamos que era.

Si es así, podríamos solucionar otro problema. Las galaxias existen en agrupaciones de varios tamaños. Si se examina una típica agrupación de galaxias, descubrimos que las galaxias individuales están en movimiento, sin rumbo fijo, dentro del grupo. Estos movimientos tenderían a romper y dispersar el racimo, a menos que el campo de gravitación total de la agrupación fuera suficientemente intenso para mantener unidos a los componentes, pese a su movimiento. No obstante, la masa de una agrupación, a juzgar por su contenido de estrellas visibles, es insuficiente para mantenerla unida aun cuando es obvio que se mantiene unida. Y cuanto mayor es el racimo, más disminuye el campo de gravitación de sus estrellas visibles.

El asunto se hace menos desconcertante si se tiene inmediatamente en cuenta la masa de halos invisibles, y si asumimos también que debe haber cierta masa distribuida entre las galaxias individuales de una agrupación.

Finalmente, el universo como un todo, tiene solamente alrededor de un 1 por ciento de la masa necesaria para evitar que aumente sin parar (es decir, que siga «abierto»), si uno se fía, por lo menos, de las estrellas que pueden verse en el universo. Algunos astrónomos piensan que sería más sensato tener el universo « cerrado»; es decir, disminuir la expansión hasta llegar a un paro eventual junto al campo de gravitación general, y de allí seguir una contracción lenta pero acelerándose, para terminar en un Gran Crujido. Ahí el halo de las galaxias podría proporcionar la masa adicional necesaria para eso.

Pero si los puzzles de las galaxias rotatorias, los racimos unidos, y el universo aparentemente abierto, quedan todos solucionados por los halos galácticos, no hace más que proporcionarnos otro puzzle.

¿De qué está hecho el halo? ¿En qué consiste? Si allí hay masa, que no podemos ver porque no está compuesta por estrellas, ¿de qué está compuesta entonces? (Los astrónomos lo llaman el misterio de la masa inexistente.)

Hay sin embargo una posibilidad, y es que la masa del halo consista en innumerables planetas primarios. Dichos planetas ni brillarían ni encontrarían luz que reflejar, así que serían completamente invisibles para nosotros. Sus contribuciones individuales a los campos gravitacionales de las galaxias, y a los del Universo como un todo, serían no obstante muy significativas.

Supongamos que la masa corriente de un planeta primario fuera la de Júpiter. Si hubiera un millar de planetas primarios parecidos en el halo de cada estrella visible en la galaxia en sí, eso bastaría para doblar la masa aparente de la galaxia.

Si se añaden los planetas primarios desparramados a través del cuerpo de cada galaxia y a través del espacio entre las galaxias, podría sumar cien mil planetas primarios para cada estrella visible en el universo. Esto explicaría el modo en que las agrupaciones de galaxias se unen, y bastaría también para cerrar el universo y solucionar de una vez por todas el misterio de la masa inexistente.

En verdad que cien mil planetas primarios para cada estrella visible parece ponérselo algo difícil a la «regla de los numerosos pequeños». Pero, ¿por qué entonces culpar de ello a la masa inexistente en los planetas primarios? Hay también otras posibilidades. Los halos galácticos, y el espacio intergaláctico, podrían, por ejemplo, estar cosidos de agujeros negros, que tendrían cada uno una masa igual a la de una estrella, incluso a la de una estrella gigante o a la de un racimo de estrellas. A pesar de sus masas potencialmente enormes, los agujeros negros aislados en el espacio resultarían tan invisibles como planetas primarios.

Podría ser entonces que los halos estuvieran hechos de una cantidad sustancial de agujeros negros con su correspondiente, aunque más pequeño (y más creíble) número

de planetas primarios.

Pero en ese caso hay otro enigma. Al formarse las galaxias, la atracción de sus propios campos gravitatorios debió haber actuado para concentrar con fuerza a sus estrellas visibles hacia el centro. Y si es así, ¿por qué no actuarla para concentrar, con fuerza, planetas primarios y agujeros negros también hacia el centro? ¿Por qué un tipo de masa se concentraría y otro no?

Hay una objeción mucho más seria. Existen razones teóricas para arguir que el número de protones y neutrones que pueden existir posiblemente en el universo, es quizá suficientemente grande para formar la masa que podemos ver. Entonces, si la masa del universo es significativamente mayor que la masa que podemos ver, el exceso debe estar hecho de algo más que de protones y neutrones.

Los planetas primarios, y naturalmente también los agujeros negros, están hechos casi en su totalidad de protones y neutrones (lo mismo que las estrellas) de forma que si el argumento teórico es correcto, los planetas primarios y los agujeros negros no pueden ser responsables de la masa inexistente. Los astrónomos van buscando por lo tanto explicaciones exóticas, como los neutrinos (véase «Nada y Todo» en Contando los eones \*) o incluso otras partículas más exóticas.

Incluso esto, naturalmente, no quiere decir que los planetas primarios no existan..., simplemente que no existen en gran número. Puede haber relativamente pocos que no sobrepasen el número permisible de protones y neutrones. Naturalmente, cuantos menos haya, más difícil resultaría detectarlos.

Pero tenemos que formularnos otra pregunta. ¿Funciona siempre la «regla de los numerosos pequeños»?

Obviamente, no. Si consideramos a los machos humanos o a las hembras humanas, hay más, en cada caso, de tamaño mediano que de tamaño grande. En este caso, si uno empieza por los individuos enormes y se piensa en el número de los que son más pequeños y todavía más pequeños, al principio el número crece, pero inmediatamente se llega al punto máximo y empiezan de nuevo a decrecer.

¿Es posible que el tamaño de las estrellas se pare en cierto punto o valor, y que por debajo de dicho punto el número de estrellas caiga vertiginosamente?

Las estrellas se forman por condensación de enormes nubes de gas y polvo. En general, cuanto más masa tiene la nube, más maciza será la estrella, o mayor el número de estrellas que se forme, o ambas cosas.

Presumiblemente, pues, las estrellas de pequeña masa proceden de nubes relativamente pequeñas. Pero cuanto más pequeña sea la nube, más débil es el conjunto del campo gravitacional y menos probable que sufra cualquier condensación bajo la atracción hacia dentro del mencionado campo.

Algunos astrónomos objetan que una nube que sea tan pequeña que sólo pueda formar un planeta primario por condensación, sería demasiado pequeña para conseguir cualquier condensación. Claro que los planetas secundarios, como Júpiter, y los subplanetas secundarios, como la tierra, han sido obviamente formados, pero lo fueron en los alrededores turbulentos de una nube que era lo bastante grande como para formar el sol por condensación.

Partiendo de este punto de vista, puede ocurrir que los planetas primarios sean improbables, después de todo. En este caso debemos darnos por satisfechos con la simple distinción entre estrellas y planetas con la que empecé. Las estrellas tienen masa y dan luz. Los planetas son pequeños, no irradian luz y giran en órbita alrededor de las estrellas.

Esto nos deja con un asunto final que discutir.

En las estrellas normales, como nuestro sol, la energía que los mantiene luminosos se origina por fusión nuclear en su centro, fusión que convierte el hidrógeno en helio. Sin embargo, para que esto tenga lugar debe alcanzarse cierta temperatura crítica en el mismo centro interior de la estrella, a medida que se va condensando de la nube

inicial. Se ha calculado que si una estrella en estado de condensación tiene menos de 0,085 veces la masa del sol (o aproximadamente una doceava parte de su masa) entonces esa temperatura crítica no se podrá alcanzar.

Pero una estrella que es algo menor que la doceava parte de la masa de nuestro sol, una vez formada, puede alcanzar una temperatura central lo bastante alta como para fundir hidrógeno-2 (deuterio) y transformarlo en helio-3. (De todos los átomos estables, el deuterio es el más fácil de fundir.)

El deuterio, no obstante, es mucho menos corriente que el hidrógeno-1 y se consume rápidamente más allá del punto en que servirá de combustible. En lugar de brillar durante muchos billones de años como lo haría una pequeña estrella de hidrógeno fundido, una estrella de deuterio fundido brillará solamente unos pocos millones de años.

Una estrella aún más pequeña puede no alcanzar una temperatura que provoque cualquier fusión; no obstante, la energía cinética de su contracción puede provocar una temperatura lo bastante alta como para hacerla brillar..., aunque por un período más corto del de las de fusión de deuterio.

Estas pequeñas estrellas, que producen luz por medios casi de verdadera fusión de hidrógeno, pueden no ser consideradas por algunos como verdaderas estrellas. Tal vez debiéramos llamarlas

Pero las subestrellas pueden verse, si existen, y están suficientemente cercanas a nosotros. En realidad, estrellas como la VB 10 y la LHS 2924 (y cualquier otra estrella igualmente apagada) parecen tener masas algo menores a una doceava parte de la de nuestro sol. En tal caso pueden bien ser subestrellas.

---

## XVI

# SUPERESTRELLA

---

Soy socio del «Dutch Treat Club», cuyos miembros son todos activos, en cierta manera, en el campo de las comunicaciones. (Yo escribo.) Nos reunimos una vez por semana para comer y convivir. Durante los ocho meses de no verano, añadimos también alguna distracción y algo edificante en forma de conferencia instructiva. Una vez falló el entretenimiento y recibí una llamada urgente la noche anterior a la reunión. ¿Podía preparar algo en tan poco tiempo?

Bueno, puedo cantar algo y no tengo vergüenza, así que les dije: -¡Claro!

Llegó la comida del día siguiente y cuando fue la hora del entretenimiento, me levanté e inmediatamente surgió una fuerte sospecha entre los asistentes. Para empeorar las cosas, les anuncié alegremente que iba a cantarles las cuatro estrofas de Barras y estrellas, incluso la tercera estrofa que había sido oficialmente suprimida por el delito de ser ofensiva para nuestros buenos amigos los británicos, a los que colectivamente califica con la cariñosa expresión de «esclavos y mercenarios».

Los Dutch Treaters no se andan con chiquitas. Aman nuestro himno nacional pero cada uno de ellos tenía la clara impresión de que lo había oído más que suficientemente en el curso de su vida. No era necesario que les «entretuvieran» con él. Por tanto fui blanco de protestas y abucheos.

Yo me mantuve imperturbable. Conocía a mis consocios. Podían cantar la primera línea de la primera estrofa, y conocían alguna que otra palabra o frase. Ignoraban completamente que existieran otras tres estrofas, y naturalmente no sabían nada de lo relacionado con la historia del poema. Yo me proponía contársela.

Les expliqué la interesante historia. Trataba del ataque por tres bandas, de la ofensiva de 1814, que amenazaba destruir los jóvenes Estados Unidos treinta y un años después de que Gran Bretaña reconociera su independencia. Y el destino de América dependía de que fuera o no tomado el fuerte McHenry, en el puerto de Baltimore, de que el bombardeo nocturno de la flota británica terminara con la bandera de barras y estrellas ondeando sobre el fuerte.

Presenté cada estrofa con la necesaria explicación y a continuación la canté claramente, de forma que se entendieran bien todas las palabras. (Complicué la vida al pobre acompañante, lo confieso. No soy cantante profesional y canté cada estrofa en un tono diferente.)

Cuando terminé la cuarta estrofa con una nota sostenida y triunfal, el mismo público que protestó al principio se levantó espontáneamente y me dedicó una ovación que raras veces había disfrutado. Estoy convencido de que en un acceso de patriotismo, de una intensidad jamás experimentada hasta entonces, aquellos hastiados y embotados ancianos habrían desfilado como un solo hombre hasta el centro de reclutamiento más cercano y tratado de alistarse, caso de que hubiera pensado en sugerírselo.

Después, cuando reflexioné sobre lo ocurrido, me pareció que la seguridad que tenía de poder hacerles tragar lo que me había propuesto, nacía de mi experiencia con esos ensayos científicos de F & CF. Estoy dispuesto a hablar de cualquier cosa por anticuada que pueda parecer a ciertos lectores razonablemente sofisticados, simplemente porque tengo la plena seguridad de que puedo presentárselo con un enfoque interesante.

Una vez, cuando dediqué un par de ensayos a la exploración polar, un lector me escribió para decirme que sospechaba que yo lo había sacado todo de un manualito de geografía escolar, pero que de todas formas había encontrado que era una buena lectura.

Pues bien, éste es mi trabajo, adelante con él.

En el capítulo anterior les hablé de las estrellas más pequeñas, así que lo razonable es que trate ahora de las estrellas más grandes.

Empezaré con el sol, la única estrella lo bastante cercana para que podamos verla a simple vista (o también con el telescopio, si prefieren) como un simple punto de luz. Desde el punto de vista de la tierra, el sol es un objeto enorme. El diámetro medio de la tierra es de 12.742 kilómetros, y si le damos un valor 1, entonces el diámetro de Júpiter, el planeta gigante de nuestro sistema solar, es de 11,18. No obstante, el diámetro del sol, desde el mismo punto de vista, es de 109,2 (ó 9,77 veces el diámetro de Júpiter).

Si consideramos el volumen de la tierra (un poco más de un trillón de kilómetros cúbicos) como 1, entonces el volumen de Júpiter es algo menos de 1.400. Si Júpiter estuviera hueco, cabrían dentro 1.400 tierras, si las metieran bien apretujadas. Sobre la misma base, el volumen del sol es sin embargo poco más de 1.300.000, de modo que si el sol fuera hueco podrían meterle dentro 900 Júpiteres.

Una cosa más. Establezcamos la masa de la tierra (alrededor de 6 trillones de kilogramos) con un valor 1. En este caso, la masa de Júpiter es de 317,83 y la del sol de 332.865.

La masa total de todo lo que se mueve alrededor del sol, todos los planetas, satélites, asteroides, cometas y material meteórico, suma 448,0 en la tierra o sea 1. Esto significa que la masa del sol es 743 veces la del sistema solar en conjunto. Dicho de otra forma, el sol forma el 99,866 por ciento de toda la masa del sistema solar. Pero dejemos de comparar el sol con los planetas. Es como comparar un gigante monstruoso con insignificantes pigmeos. ¿Como puede compararse el sol con otras estrellas? Ahí las cosas podrían parecer diferentes.

Empecemos por las cien estrellas más cercanas. Están lo bastante próximas como para que estemos razonablemente seguros de que las conocemos todas. Si intentáramos elegir cien estrellas en una región que estuviera relativamente distante, las más pequeñas podrían estar demasiado apagadas para verlas y terminaríamos con una muestra inadecuada.

De las cien estrellas más cercanas, noventa y siete son claramente más pequeñas que el sol. Una es aproximadamente del mismo tamaño que el sol, Alfa Centauro A, la mayor del sistema de estrellas dobles Alfa-Centauro.

Solamente dos de las estrellas más cercanas tienen más masa que el sol. Una es Proción, cuya masa (si establecemos que la del sol es igual a 1) es 1,77, y la otra es Sirio, cuya masa es 2,31.

Si las estrellas más cercanas son una buena muestra del conjunto (y podrían serlo) entonces nuestro sol es superado en masa por sólo un 2 por ciento de las demás. ¿Quiere esto decir que el sol es una estrella monstruosa y que deberíamos considerarla como un gigante?

¡No! Estaríamos estudiándolas equivocadamente.

De modo que sólo hay cinco cuerpos en el sistema solar mayores que la tierra: el sol, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Entre los cuerpos más pequeños que la tierra hay cuatro planetas, varias docenas de satélites, cien mil asteroides, cien billones de cometas e incontables trillones de fragmentos meteóricos. No obstante, todo eso no significa que la tierra sea un objeto de tamaño monstruoso.

El hecho de que haya tantos objetos más pequeños que la tierra es solamente un ejemplo de la «regla de numerosos pequeños» de la que les hablé en el capítulo anterior. A pesar de tantos cuerpos más pequeños, la existencia de un sol es suficiente para poner de manifiesto que la tierra es un objeto pequeñísimo.

Tampoco importa que haya tan pocas estrellas con más masa que el sol. Lo que cuenta es cuánto más grandes que el sol puedan ser algunas estrellas. Basta con que haya unas pocas con más masa que el sol para que consideremos al sol como un cuerpo

relativamente pequeño.

Medir la masa de una estrella no es fácil. Se hace mejor si puede medirse la fuerza de su campo gravitatorio. Por la naturaleza del resultado podremos determinar la masa de la estrella.

Así, en el caso de las estrellas binarias, tenemos a dos estrellas girando alrededor de un centro de gravedad común. Si conocemos la distancia de la binaria podemos calcular por lo tanto la distancia entre las dos estrellas por su aparente separación, y utilizar entonces la distancia de la binaria y su período de revolución para obtener la masa total de las dos estrellas. Por el tamaño comparativo de las dos órbitas podemos determinar la masa de cada una.

Afortunadamente, más de la mitad de las estrellas del cielo son partes de sistemas binarios. Proción y Sirio son miembros de sistemas binarios y deberían ser mencionadas como Proción A y Sirio A, puesto que cada una tiene mayor magnitud que su compañera. En el caso de estas dos estrellas, las compañeras, Proción B y Sirio B, son enanas blancas.

No obstante, por el momento dejemos las masas. Otro modo de comparar estrellas es por la intensidad con que irradian. Y no quiero decir con eso lo brillantes que parecen estar en el cielo. Esto depende tanto de la distancia a que están de nosotros como de la cantidad de radiación que desprenden. Una estrella puede brillar muy intensamente y estar tan lejos de nosotros que resulta invisible incluso sirviéndonos de un telescopio. Por el contrario, otra puede brillar poco pero estar tan cerca de nosotros que tenga un aspecto maravilloso en el cielo.

No obstante, si conocemos la distancia de varias estrellas podemos dar por sentada dicha distancia y calcular cuánta luz irradiaría cada estrella determinada si todas estuvieran a la misma distancia de nosotros. Este nivel de brillo se llama «luminosidad».

El sol no está mal en cuanto a luminosidad. De las cien estrellas más cercanas, solamente dos son claramente más luminosas que el sol y también son las más claramente mayores que el sol: Proción y Sirio. Si establecemos la luminosidad del sol igual a 1, entonces la luminosidad de Proción es aproximadamente 5,8 y la de Sirio 23, también aproximadamente.

¿Es esta relación entre gran masa y gran luminosidad muy significativa? Después de todo puede haber muchas razones por las que una estrella pueda ser particularmente luminosa. La luminosidad puede depender de la composición química, de la turbulencia interna, de la intensidad del campo magnético, de la velocidad de rotación, y de otros factores. Incluso puede ocurrir que contribuya cada una de las diferentes propiedades de una estrella, y que las luminosidades de estrella a estrella varíen de forma desconcertante.

En 1916, Arthur Eddington empezó a trabajar en este problema. Consideró primero las estrellas más voluminosas. Éstas eran de densidades más bien bajas y presintió, por su alta temperatura superficial, que podían ser totalmente gaseosas. Había ciertas «leyes de gas» establecidas experimentalmente en la tierra, y el uso de dichas leyes podía explicar lo que ocurriría a un volumen de gas con la masa de una gran estrella. Eddington pensaba que habría una fuerza atrayendo todo el gas... gravitación. Habría dos fuerzas que actuarían para impedir que el gas fuera atraído: presión del gas y presión de radiación.

Mientras la gravedad mantiene unida la estrella sube la presión del gas, pero también sube la temperatura del gas. De hecho, siguiendo las leyes del gas, la temperatura en el centro de las estrellas debe alcanzar millones de grados. A medida que la temperatura sube, la cantidad de radiación emitida, y por tanto la presión de radiación, debe subir también y muy rápidamente.

Finalmente, Eddington obtuvo una ecuación que relacionaba masa y luminosidad. A mayor masa, mayor presión de gas y radiación necesarias para mantener a la estrella

en un tamaño equilibrado; y a mayor presión de radiación, más brillo de la estrella. Parecía que la luminosidad dependía enteramente de la masa de una estrella. Eddington anunció la ley de masa-luminosidad en 1924, y para entonces descubrió que las estrellas ordinarias como el sol, e incluso las estrellas enanas, también encajan en la relación. Por ello se llegó a la conclusión de que todas las estrellas eran totalmente gaseosas incluso cuando su densidad normal era, como en el caso de nuestro sol, igual a la del agua líquida en la tierra, y cuando la densidad del centro del sol aun era mucho más alta.

La densidad del centro del sol es aproximadamente cinco veces la del platino en la tierra. Sin embargo, en tiempos de Eddington se sabía que la masa de un átomo está concentrada en el núcleo más pequeño que hay en su centro. Estaba claro, pues, que bajo las presiones del centro del sol, los átomos se descomponían y los núcleos se movían libremente en un mar de electrones sueltos.

Los núcleos podían distribuirse más abundantemente en semejante mar que como parte de átomos intactos. Por esta razón, la densidad podía ser muy alta, y no obstante la libertad de movimiento de los núcleos ultrapequeños sería tal que esta «materia degenerada» seguiría comportándose como un gas.

Incluso las enanas blancas, que son virtualmente todas ellas materia degenerada, se comportan como si fueran gaseosas. Es sólo cuando llegamos a las estrellas de neutrones cuando falla esta regla y obtenemos un cuerpo con tanta masa como una estrella que actúa como si fuera sólida.

La ley de masa-luminosidad de Eddington se aplica especialmente a estrellas de secuencia principal (estables, estrellas de fusión de hidrógeno como nuestro sol). De acuerdo con esta ley, la luminosidad varía en un 1/3,5 por ciento de la energía de la masa. En otras palabras, una estrella con dos veces la masa del sol tendría una luminosidad de unas doce veces la del sol. Una estrella con una masa tres veces mayor que la del sol tendría una luminosidad de unas cincuenta veces la del sol, y así sucesivamente.

Eso tiene una consecuencia que puede notarse al instante. Cuanto más luminosa es una estrella y más radiación emite, más hidrógeno debe fusionar para producir dicha radiación.

Supongamos que una estrella tiene tres veces más masa que el sol. Posee por consiguiente tres veces más provisión de combustible. Dado que gasta dicha provisión de combustible cincuenta veces a la velocidad que lo hace el sol, gasta su mayor provisión de combustible en 1/50, es decir, aproximadamente 1/17 en el tiempo en que lo hace el sol.

Una estrella necesita fusionar aproximadamente sólo una décima parte de su provisión de hidrógeno antes de que su centro empiece a fusionar helio. La estrella abandona entonces su secuencia principal y empieza a dilatarse y transformarse en un «gigante rojo». En un tiempo relativamente corto se transformó en una enana blanca, estrella de neutrones, o agujero negro, según su masa. Una estrella con la masa del sol permanecerá en la secuencia principal unos 10 billones de años. (Por decirlo con otras palabras, la permanencia del sol en la secuencia principal está ahora casi en la mitad.) Una estrella con una masa tres veces mayor que la del sol seguirá en secuencia principal sólo un poco más de medio billón de años debido a la prodigalidad con que fusiona su provisión de hidrógeno.

Así pues, cuanto más masa tiene una estrella más corta es su duración normal. Las estrellas más pequeñas en la secuencia principal seguirán goteando sus radiaciones en pequeñas cantidades por espacio de 200 billones de años, o más.

Por el contrario, una estrella que tenga cincuenta veces la masa del sol permanecerá en la secuencia principal, según la ley de masa-luminosidad de Eddington, sólo 10.000 años, un mero parpadeo en la escala astronómica de tiempos.

Así puede verse por qué hay tan pocas estrellas con más masa que el sol. No

solamente hay cuerpos mucho mayores formados en menor cantidad que los de menos masa, según la «regla de numerosos pequeños», sino que estos cuerpos de gran masa que se forman desaparecen más rápidamente del movimiento y luminosidad, y cuanto más masa tienen, más rápidamente se desvanecen. Si ahora mismo pudiéramos ver una estrella que tuviera cincuenta veces la masa del sol, esperaríamos, según la ley de masa-luminosidad de Eddington, que se hubiera formado probablemente durante los tiempos históricos y que, al cabo de unos pocos millares de años, desapareciera.

Una segunda consecuencia de la ley de Eddington es que cuanto mayor es la masa de la estrella, mayores son las fuerzas de atracción hacia adentro y de proyección hacia fuera, dejando menor margen en el equilibrio. Un empujoncito hacia un lado u otro en las pequeñas estrellas significaría un exceso de fuerza relativamente pequeño. La estrella se tambalearía un poco, y luego volvería a recobrar su equilibrio. (El sol puede tener sus estremecimientos, pero aunque tiene bastante masa, sus estremecimientos no serían nunca suficientes para borrar la vida de la tierra, y conste que para ello no haría falta mucho.)

Por el contrario, si consideramos estrellas que tienen mucha masa, los pequeños movimientos representarían excesos de fuerza cada vez mayores. Finalmente, los estremecimientos normales que cabe esperar bastarían para provocar el colapso o la explosión de una estrella. En cualquiera de los casos, dejaría de ser una estrella normal. El propio Eddington pensó que una estrella que fuera cincuenta veces mayor que el sol sería tan grande como podría ser una estrella y seguir manteniendo un equilibrio razonable. A esto podría llamársele el «límite de Eddington».

He aquí una lista de algunas estrellas notables en nuestra propia galaxia, que son aún más luminosas que Sirio. He calculado más o menos la masa de cada una de ellas basándome en la ley de Eddington:

Estrella	Luminosidad (Sol=1)	Masa (Sol=1)
Pólux	30	2,6
Vega	48	3,0
Espiga	570	6,1
Alfa Crucis	910	7,0
Beta Centauro	1.300	9,5
Canopus	5.200	11,5
Deneb	6.300	12,2
Rigel	23.000	17,5

Muy alejada en el cielo del sur (invisible para la gente de las latitudes de Europa y norte de Estados Unidos) está la constelación de la Dorada. En esta constelación está la Gran Nube de Magallanes, la galaxia más próxima a la nuestra. Podemos ver en ella muchos detalles, incluyendo una estrella más luminosa que cualquiera cercana a nuestra galaxia. Es invisible a simple vista, pero la Gran Nube de Magallanes está a 55.000 parsecs de distancia. Teniendo en cuenta esta enorme distancia, la Dorada debe ser 480.000 veces más luminosa que el sol, con una masa de unas cuarenta veces la de nuestro sol. Se acerca al límite de Eddington.

Así pues, parece que hay estrellas que pueden tener una masa cincuenta veces mayor que la de nuestro sol, y que a su vez el sol es sólo una estrella de tamaño mediano, que así es como se la suele considerar.

Pero, hay un fallo. El límite tope de Eddington es sin duda excesivamente conservador. En 1922, dos años antes de que Eddington anunciara su ley de masa-luminosidad, un astrónomo canadiense, John Stanley Plaskett (1865-1941), había descubierto que una estrella aparentemente anodina era binaria. Resultó que cada estrella tiene de 65 a 75 veces más masa que el sol, y cada una puede ser cerca de 2.500.000 veces más luminosa que el sol.

Esta binaria, llamada «gemelas Plaskett» (un nombre mucho más impresionante que el oficial «HD 47129»), puesta en el lugar del sol, probablemente evaporaría la tierra en un santiamén. La tierra tendría que girar alrededor de las gemelas Plaskett a una distancia 55 veces superior a la corriente entre Plutón y el sol (es decir, 1/100 de parsec) a fin de reducir la radiación total recibida. Y aun así nos mataría, porque la luz de las gemelas Plaskett sería muchísimo más fuerte que los rayos X y ultravioletas de la luz de nuestro sol.

La existencia de las gemelas Plaskett provocó un aumento del límite de Eddington a una masa de cerca de 70 veces la del sol, un límite dado en la Enciclopedia de Astronomía de Cambridge, un libro excelente publicado en 1977.

No obstante, en la década de los 70 volvió a rehacerse la física de las grandes estrellas, utilizando los conocimientos obtenidos desde Eddington. Por ejemplo, las turbulencias dentro de una estrella tienen un papel mucho más importante de lo que se había creído. También hay una continua y apreciable pérdida de masa de las grandes estrellas causada por los vientos estelares, un fenómeno desconocido en tiempos de Eddington.

Ni la turbulencia ni la pérdida de masa invalidan la ley de masa-luminosidad (que, después de todo, está apoyada no sólo por la teoría, sino por una meticulosa observación). En cambio elevan el límite de Eddington a valores sorprendentemente altos, dejando bien claro que la estabilidad y longitud de vida de las «estrellas de gran masa» son mayores de lo que hasta entonces se había creído.

Se tenía información sobre estrellas de gran masa (o «superestrellas», como me gusta llamarlas), con masas 100 veces superiores a la del sol, pero en vista del bajo límite de Eddington, tal información fue recibida con gran escepticismo. No obstante, una vez modificada la teoría para admitir la existencia de superestrellas, se han detectado algunas, y es posible que por cada 2 billones de estrellas haya una superestrella con una masa 100 veces mayor que la de nuestro sol. Esto significa que podría haber de 100 a 150 superestrellas, sólo en nuestra galaxia.

Algunas superestrellas han sido identificadas. En mi ensayo «Dispuesto y Esperando» (en *El camino al infinito*, Doubleday, 1979) me referí a una estrella peculiar, Eta Carinae, como sumamente inestable y por tanto, y posiblemente, la próxima supernova. En aquella época yo no había alcanzado aún la noción de las superestrellas (tratar de estar al corriente de todo en ciencia es especialmente agotador e increíblemente frustrante) pero ahora mi impresión es que Eta Carinae debe sus peculiaridades más al hecho de ser una superestrella que al de ser una pre-supernova. Ya en 1970 se tenía información de que Eta Carinae podía ser una superestrella. Ahora, ciertos astrónomos parecen estar de acuerdo al respecto y es posible que Eta Carinae tenga una masa no inferior a 200 veces la del sol. Su luminosidad puede ser de 5 millones la del sol, es decir, 10 y 1/2 veces la de la Dorada o igual a la de las gemelas Plaskett juntas.

Eta Carinae está perdiendo masa. En anteriores ensayos decidí que esto era señal de que se trataba de una pre-supernova, pero las superestrellas siempre pierden masa a consecuencia de un buen y fuerte viento estelar. Esto las ayuda a mantenerse relativamente estables. El hecho de que el viento estelar de Eta Carinae contenga nitrógeno y oxígeno, que yo tomé también como un indicio de pre-nova, puede significar únicamente que las superestrellas están sometidas a fuertes turbulencias internas, que a su vez pueden servir también para mantenerlas estables.

El viento estelar puede acarrear a Eta Carinae una pérdida anual de algo así como una masa solar completa en cien años. Si esto permaneciera invariable, Eta Carinae habría desaparecido por completo en 20.000 años, pero naturalmente no va a ser así. A medida que Eta Carinae va perdiendo masa y saliéndose de su status de superestrella, su viento estelar tenderá a disminuir en volumen. Puede ser que las superestrellas, por su activo viento estelar, vayan poco a poco perdiendo su envoltura rica en hidrógeno y

se vuelvan centros desnudos de estrellas, que son sobre todo helio. Se las llama «estrellas Wolf-Rayet», por los astrónomos que primero se fijaron en ellas.

Otra superestrella de nuestra galaxia es una llamada P Cisne. Es muy parecida a Eta Carinae, pero más pequeña. Su masa es más o menos la mitad de la de Eta Carinae, y tal vez unas 100 veces la de nuestro sol. Su luminosidad es sólo un tercio de la de Eta Carinae, pero así y todo sigue siendo 1.500.000 veces más luminosa que el sol y más de tres veces más luminosa que 5 Dorada.

Pero, ¿cuál es la superestrella más luminosa de las que conocemos? Bien, volvamos a la Gran Nube de Magallanes.

Dentro de la nube hay una nebulosa gaseosa parecida a la gran nebulosa de Orión, en nuestra propia galaxia. La nebulosa de la Nube es muy grande. Cubre un área de unos 3.000 por 1.000 parsecs y es el objeto más brillante de la Gran Nube de Magallanes.

Puede incluso verse a simple vista. Es mayor que cualquier nebulosa de nuestra galaxia, o que cualquiera que podamos distinguir en cualquier galaxia 10 suficientemente cercana a nosotros para encontrar detalles visibles. Se llama la nebulosa de la Tarántula porque su forma, según algunos observadores, se parece a la de una araña.

La nebulosa Tarántula parece contener cierto número de estrellas Wolf-Rayet, que pueden ser las descendientes de todo un grupo de superestrellas. La nebulosa puede ser, por lo menos en parte, producto de los trozos desprendidos, por explosión, de dichas superestrellas.

Algunos piensan que casi toda la luminosidad e ionización de la nebulosa Tarántula procede ahora de un área central situada a una distancia de tan sólo 1/10 de parsec. El área puede contener varias estrellas, pero en 1981 un grupo de astrónomos llegó al convencimiento de que era la sede de una sola superestrella, la más luminosa detectada hasta ahora. Esta superestrella se llama R136a.

R136a puede que tenga una masa 2.000 veces mayor que la del sol. En cuanto a masa, el sol es respecto a R136a lo que el planeta Mercurio sería respecto a un planeta algo mayor que Saturno. Esto hace que nuestro sol parezca una menudencia, pero por favor que esto no ofenda su chauvinismo solar. Las superestrellas hacen el espacio inviable por años luz para ellas, ¿y qué hay de grande en ello?

La R136a puede ser casi 60 millones de veces más luminosa que el sol, lo que la haría 40 veces más luminosa que Eta Carinae. La temperatura de su superficie podría ser de 60.000 C.

Si la tierra girara alrededor de R136a tendría que hacerlo a una distancia de 1/26 de parsec (1/8 de un año luz) para reducir el nivel de la aparente radiación al de nuestro sol, e incluso entonces tendríamos que vivir bajo tierra para evitar la fuerte radiación. Todo ello quiere decir que ahora conocemos la existencia de una clase de estrellas importantes cuya existencia ni siquiera había sido soñada hace quince años, y que en realidad era considerada imposible. Si ahora podemos estudiar detalladamente tales estrellas, podemos aprender mucho sobre astrofísica estelar, que puede así aplicarse a estrellas más ordinarias, incluyendo nuestra propia y deliciosa Menudencia.

---

## XVII

# HASTA DONDE ALCANZA EL OJO

---

Recibí un aviso de uno de los departamentos de cobro de impuestos. Este tipo de comunicaciones están marcados por dos características invariables. Primero, producen temblores. (¿Qué es lo que querrán ahora? ¿Qué he hecho mal?) Segundo, están escritos en supermarciano. Resulta imposible interpretar lo que comunican. Por lo que pude adivinar, algo estaba mal en mi pequeña declaración de impuestos de 1979. Había pagado 300 dólares de menos y me reclamaban esta cantidad más 122 de intereses, así que el total ascendía a 422 dólares. En medio de toda aquella palabrería había una colección de vocablos que sonaban más o menos como a una amenaza de colgarme por el dedo gordo del pie durante veinte años si no pagaba dentro de cinco minutos.

Llamé a mi contable que, como siempre, se mostró imperturbable ante esta amenaza a la existencia del prójimo.

—Mándemelo -dijo disimulando un bostezo-. Veré de qué se trata.

—Creo que sería mejor que pagara primero -murmuré nervioso.

—Si quiere, puesto que puede hacerlo.

Así lo hice. Rellené un cheque, lo metí en un sobre, y me precipité a Correos para hacer el depósito y así salvar mi dedo gordo. Después llevé el documento a mi contable, que utilizó su lupa especial de contable para estudiar la letra pequeña. Por fin estuvo en condiciones de emitir su diagnóstico.

—Le comunican que ellos le deben dinero a usted -dijo.

—¿Entonces por qué me cargan intereses?

—Son los intereses que le deben a usted.

—Pero me amenazan en el caso de que no les pague.

—Ya lo sé. Pero cobrar impuestos es un trabajo penoso y aburrido, y no les puede censurar por intentar animarlo con ciertas bromas inofensivas.

—Pero ya les he pagado.

—No importa. Les escribiré diciéndoles simplemente que aterrorizaron a un honrado ciudadano, y al final le mandarán un cheque de 844 dólares, que es el importe de la deuda que tienen con usted, más su paga innecesaria.

Luego añadió con una sonrisa jovial:

—Pero, por favor, respire.

Esto me dio la oportunidad de decir la última palabra:

—Una persona acostumbrada a tratar con los editores -expuse severamente- no suele contener la respiración en espera de que le paguen (La verdad es que los de impuestos me devolvieron el cheque diciéndome que no tenían derecho a él).

Y ahora, habiendo establecido mis credenciales como individuo listo y previsor, pasemos a mirar hasta dónde alcanza el ojo.

Supongamos que entro en el futuro hasta donde alcance el ojo humano (remedando una frase que empleó una vez Alfie Tennyson). Si lo hago, ¿qué veré que le está ocurriendo a la tierra? Para empezar, supongamos que la tierra está sola en el universo, aunque con su actual estructura y edad.

Naturalmente, si está sola en el universo no hay sol que la ilumine y la caliente, así que su superficie es oscura y está a una temperatura de cerca de cero absoluto. En consecuencia, no tiene vida.

No obstante, su interior está caliente por la energía cinética de los pequeños cuerpos que se unieron para formarla hace 4,6 eones (al «eón» se le da el valor de

1.000.000.000.000 -un billón- de años). El calor interno escaparía despacio solamente a través de la roca aislante de su corteza, y además se renovaría continuamente por el colapso de los constituyentes radiactivos de la materia terrestre, tales como el uranio-238, el uranio-235, el torio-232, el potasio 40 y así sucesivamente (de ellos, el uranio-238 contribuye al 90% del calor).

Así pues, podemos asumir que la tierra, sola en el universo, perduraría en condiciones de frío externo y calor interno. El uranio-238, sin embargo, se deteriora lentamente, con una vida media de 4,5 eones. Como consecuencia, la mitad de la provisión original ya ha desaparecido, y la mitad de lo que queda desaparecerá en los 4,5 eones próximos, y así sucesivamente. En unos 30 eones, a partir de ahora, el uranio-238 restante de la tierra será solamente un 1 por ciento del contenido actual.

Podemos suponer por tanto que con el tiempo el calor interno de la tierra irá escapando y será cada vez menos eficazmente remplazado por la provisión de los materiales radiactivos que irán disminuyendo. Dentro de 30 eones, el interior de la tierra será solamente tibio. Continuará perdiendo calor (pero cada vez más despacio) por un período indefinido, acercándose incluso más al cero absoluto y, naturalmente, sin llegar a alcanzarlo del todo.

Pero la tierra no es sólo el único cuerpo que existe. Solamente en nuestro sistema solar hay incontables objetos de tamaño planetario y subplanetario, desde el enorme Júpiter a las diminutas partículas de polvo e incluso a los átomos individuales y a las partículas subatómicas. Podría haber colecciones parecidas de objetos no luminosos girando alrededor de otras estrellas, por no hablar de los objetos que vagan por los espacios interestelares de nuestra galaxia. Supongamos, pues, que toda la galaxia se compusiera solamente de dichos objetos no luminosos. ¿Cuál sería su destino final? Cuanto mayor es el cuerpo, más alta es la temperatura interna y mayor aún el calor interno reunido en el proceso de su formación y, en consecuencia, más largo es el tiempo que tardaría en enfriarse. Sospecho que Júpiter, con algo más que trescientas veces la masa de la tierra, tardaría en enfriarse por lo menos mil veces lo que tardaría la tierra, es decir, unos 30.000 eones.

En el transcurso de este vasto espacio de tiempo (dos mil veces la edad actual del universo) ocurrirían sin embargo otras cosas que sobrepasarían el mero proceso de enfriamiento. Habría colisiones entre cuerpos. En los períodos de tiempo a que estamos acostumbrados, las colisiones no serían corrientes, pero en un espacio de 30.000 eones habría muchísimas. Algunas colisiones provocarían fragmentaciones y desintegraciones en cuerpos más pequeños. Pero cuando un cuerpo pequeño colisiona con uno mayor, el pequeño queda atrapado por el mayor y se queda en él. Así, la tierra atrapa trillones de meteoritos y micrometeoritos cada día, y como consecuencia su masa va aumentando lentamente.

En realidad podemos aceptar como regla general que, a consecuencia de las colisiones, los cuerpos grandes crecen a expensas de los pequeños, así que con el tiempo los cuerpos pequeños tienden a hacerse más raros, mientras que los grandes se hacen mayores.

Cada colisión que añade masa a un cuerpo grande, añade también energía cinética que es convertida en calor, de modo que la velocidad de enfriamiento del cuerpo grande disminuye aún más. De hecho, los cuerpos grandes son especialmente efectivos en recoger cuerpos pequeños y ganar energía a una velocidad que les hará calentarse más que enfriarse. Esta mayor temperatura, más las mayores presiones centrales que aparecen con el aumento de masa, finalmente (cuando el cuerpo es como mínimo diez veces la masa de Júpiter), provocarán reacciones nucleares en el centro. El cuerpo, en otras palabras, sufrirá «ignición nuclear» y su temperatura total se elevará aún más hasta que, finalmente, la superficie se vuelva levemente luminosa. El planeta se habrá transformado en una débil estrella.

Podemos por tanto imaginar nuestra galaxia como un conjunto de cuerpos planetarios

y subplanetarios no luminosos que gradualmente desarrollarán débiles puntos de luz, allí y allá. Pero, es inútil imaginarlo porque en realidad la galaxia, al formarse, se condensó en cuerpos de suficiente masa como para soportar desde el principio la ignición nuclear. Consta de unos 300 billones de estrellas, muchas de ellas muy brillantes, y unos pocos millares de veces más luminosas que nuestro sol.

Lo que debemos preguntarnos es qué será de las estrellas, porque su sino sobrepasará cualquier cosa que ocurra a los cuerpos más pequeños no luminosos que, en su mayoría, giran en órbita alrededor de las diversas estrellas.

Los cuerpos no luminosos pueden existir sin cambio importante (excepto por el proceso de enfriamiento y colisiones ocasionales) por períodos indefinidos, porque su estructura atómica resiste la atracción de la fuerza de gravedad. No obstante, las estrellas se encuentran en situación diferente.

Las estrellas, al tener más masa que los planetas, poseen campos de gravedad mucho más intensos, y su estructura atómica se deshace por la atracción de esos campos. Como resultado, las estrellas, en formación, se encogerían hasta tener tamaño planetario y adquirirían enorme densidad, si la gravedad fuera lo único a tener en cuenta. No obstante, las enormes temperaturas y presiones del centro de esas grandes masas se transforman en ignición nuclear, y el calor desarrollado por las reacciones nucleares del propio centro consigue que crezca el volumen de las estrellas, incluso en contra de la atracción de sus enormes fuerzas de gravedad.

Sin embargo, el calor de las estrellas se desarrolla a expensas de la fusión nuclear que convierte el hidrógeno en helio, y finalmente en núcleos más complicados aún. Dado que hay una cantidad finita de hidrógeno en cualquier estrella, las reacciones nucleares pueden continuar solamente durante cierto tiempo. Más pronto o más tarde, a medida que disminuya el carburante nuclear, habrá un fallo gradual de la posibilidad de que el calor nuclear formado mantenga el desarrollo de las estrellas pese al inexorable y siempre continuado tirón de la gravedad.

Las estrellas de una masa no superior a las de nuestro sol, consumirán finalmente bastante de su carburante hasta el punto de verse obligadas a sufrir un tranquilo colapso gravitacional. Se contraen y transforman en «enanas blancas» de igual o menor tamaño que la tierra (aunque conservando virtualmente toda su masa original). Las enanas blancas constan de átomos partidos, pero los electrones libres resisten la compresión a través de su mutua repulsión, así que una enana blanca, abandonada, conservará su estructura invariable por períodos indefinidos.

Las estrellas de más masa que nuestro sol sufren cambios más drásticos. Cuanto más masa tienen, más violentos son los cambios. Más allá de cierta masa, estallan en «supernovas» que son capaces de irradiar por un breve período tanta energía como 100 billones de estrellas corrientes. Parte de la masa de la estrella que ha estallado es proyectada al espacio, y lo que queda puede deshacerse en una «estrella de neutrones». Para formar una estrella de neutrones, la fuerza de su «colapso» debe abrirse paso a través del mar de electrones que la mantendrá en forma de enana blanca. Los electrones se ven obligados a combinarse con núcleos atómicos, produciendo neutrones que, al carecer de carga eléctrica, no se repelen sino que se ven forzados a entrar en contacto.

Los neutrones son tan pequeños, incluso comparados con los átomos, que toda la masa del sol podría meterse dentro de una esfera no mayor de 14 kilómetros de diámetro. Los neutrones en sí resisten la descomposición, así que una estrella de neutrones, abandonada, mantendrá su estructura invariable por períodos indefinidos. Si la estrella tiene mucha masa, el colapso será tan catastrófico que incluso los neutrones no podrán resistir la gran atracción de la gravedad, y el colapso de la estrella sobrepasará el estado de «estrella de neutrones». Más allá de esto no hay nada que impida que la estrella vaya colapsando indefinidamente hasta llegar al volumen cero y densidad infinita, y se forme un «agujero negro».

El tiempo que tarda una estrella en gastar su carburante hasta el punto de colapso varía según la masa de la estrella. Cuanto mayor es la masa, más rápidamente se gasta el combustible. Las mayores estrellas mantendrán su gran volumen sólo durante un millón de años, o incluso menos, antes de deshacerse. Las estrellas del tamaño del sol permanecerán activas quizá por espacio de 10 ó 12 billones de años antes de descomponerse. Las enanas rojas, las de menos masa, pueden brillar hasta 200 billones de años antes de que ocurra lo inevitable.

La mayoría de las estrellas de nuestra galaxia se formaron muy poco después del Big Bang, hace unos 15 billones de años, pero una dispersión de estrellas nuevas (incluyendo entre ellas a nuestro propio sol) se ha ido formando incansablemente desde entonces. Algunas se están formando ahora, y otras continuarán formándose a lo largo de billones de años. No obstante, las nuevas estrellas que se formarán en las nubes de polvo son limitadas en número. Las nubes de polvo de nuestra galaxia forman solamente el 10 por ciento de su masa total, así que el 90 por ciento de todas las estrellas que pueden formarse ya están formadas.

Finalmente, las nuevas estrellas colapsarán también y mientras las supernovas ocasionales se añadirán al polvo interestelar, llegará un momento en que no se formarán nuevas estrellas. Toda la masa de nuestra galaxia se habrá reunido en estrellas que existirán solamente en forma colapsada y en tres diferentes variedades: enanas blancas, estrellas de neutrones y agujeros negros. Además, habrá varios cuerpos planetarios y subplanetarios no luminosos esparcidos aquí y allá.

Los agujeros negros, abandonados, no irradian luz y son tan poco luminosos como los planetas. Las enanas blancas y las estrellas de neutrones tienen superficies tan pequeñas, comparadas con las estrellas ordinarias, que la luz total emitida por ellas es insignificante. Una galaxia compuesta solamente por estrellas colapsadas y cuerpos planetarios sería esencialmente oscura. Después de 100 eones (seis o siete veces la edad actual de la galaxia) habría sólo chispas insignificantes de radiación para aliviar el frío, y la oscuridad lo cubriría todo.

Más aún, los pocos puntos de luz existentes irían disminuyendo poco a poco y desaparecerían. Las enanas blancas se oscurecerán poco a poco y se volverán enanas negras. Las estrellas de neutrones girarán más despacio y emitirán pulsaciones de radiación cada vez más débiles.

Esos cuerpos, sin embargo, no serán abandonados. Juntos formarán aún una galaxia. Los 200 ó 300 billones de estrellas colapsadas seguirán conservando la forma de una galaxia en espiral, y se moverán aún majestuosamente por el centro.

A lo largo de los eones, habrá colisiones. Las estrellas colapsadas colisionarán con partículas de polvo, gravilla, incluso cuerpos planetarios de cierto tamaño. A intervalos largos, las estrellas colapsadas colisionarán incluso entre ellas (liberando gran cantidad de radiación que será mucha en términos humanos pero insignificante en la oscura masa de la galaxia). Generalmente, la tendencia en tales colisiones será, para las de más masa, una ganancia a expensas de las de menos masa.

Una enana blanca que gana masa se volverá finalmente demasiado masiva para seguir siéndolo y alcanzará el punto en que, súbitamente, se volverá estrella de neutrones. Igualmente, una estrella de neutrones llegará al punto en que colapsa y pasa a ser un agujero negro. Los agujeros negros que no pueden ya colapsar, irán aumentando su masa poco a poco.

En un billón de eones ( $10^{18}$  años) puede ocurrir que nuestra galaxia consista casi enteramente en agujeros negros de diversos tamaños... con un acompañamiento de objetos no-agujeros negros, de estrellas de neutrones y polvo, sumando una parte muy pequeña de la masa total.

El agujero negro mayor sería el que originariamente estaba en el centro de la galaxia, donde la concentración de masa ha sido siempre mayor. La verdad es que los astrónomos sospechan que hay ya un masivo agujero negro en el centro de la galaxia,

con una masa de un millón de soles tal vez, y creciendo continuamente.

Los agujeros negros que formarán la galaxia en ese lejano futuro, girarán alrededor del agujero negro central en órbitas de radios y excentricidad variables, y dos de ellos se adelantarán de vez en cuando a distancia relativamente cercana. Estos casi topetazos podrían permitir un traspaso de impulso angular, de modo que un agujero negro ganará energía y saltará lejos del centro galáctico, mientras que el otro perderá energía y caerá más cerca del centro.

Poco a poco, el agujero negro central irá tragándose agujeros negros más pequeños, uno tras otro, y los pequeños perderán la suficiente energía para aproximarse excesivamente al centro.

Luego, después de un trillón de eones ( $10^{27}$  años), la galaxia puede consistir esencialmente en un «agujero negro galáctico» rodeado de una serie de agujeros negros más pequeños situados lo bastante lejos para ser virtualmente independientes de la influencia gravitatoria del centro.

¿Qué tamaño podría tener el agujero negro galáctico? He visto un cálculo aproximado de su masa que sería la de un billón de soles, o un 1 por ciento de la masa total de la galaxia. El 99% restante estaría compuesto (casi enteramente) por pequeños agujeros negros.

Pero no estoy tranquilo respecto a eso. No puedo presentar ninguna prueba, pero mi instinto me dice que el agujero negro galáctico debería tener unos 100 billones de soles en cuanto a masa, o la mitad de la masa de la galaxia, mientras que la otra mitad estaría formada por agujeros negros aislados.

No obstante, nuestra galaxia no existe aisladamente. Forma parte de un cúmulo de unas dos docenas de galaxias llamadas «Grupo Local». La mayoría de los componentes del Grupo Local son considerablemente más pequeñas que nuestra galaxia, excepto una, la galaxia de Andrómeda, que es mayor que la nuestra.

En los  $10^{27}$  años que bastarían para convertir nuestra galaxia en un agujero negro galáctico rodeado de otros más pequeños, las otras galaxias del Grupo Local se irían convirtiendo en lo mismo. Naturalmente, los diversos agujeros negros galácticos variarían en tamaño según la masa original de la galaxia en la que se formaron. El Grupo Local consistiría entonces en unas dos docenas o más de agujeros negros galácticos, con el agujero negro de Andrómeda que sería el mayor, seguido del agujero negro de nuestra Vía Láctea.

Todos esos agujeros negros galácticos girarían alrededor del centro de gravedad del Grupo Local, y varios agujeros negros galácticos sufrirían casi colisiones con un traspaso de ímpetu angular. De nuevo, unos se verían empujados lejos del centro de gravedad y otros se hundirían más cerca de él. En su momento, se formaría un agujero negro supergaláctico que tendría una masa, supongo, igual a 500 billones de soles, una masa igual al doble de la de nuestra propia galaxia, con agujeros negros galácticos más pequeños y agujeros negros supergalácticos girando en enormes órbitas alrededor del agujero negro supergaláctico, o bien alejándose por el espacio, completamente independientes del Grupo Local. Esta debería ser una imagen mejor de la situación después de  $10^{27}$  años que la conseguida anteriormente de nuestra sola galaxia.

El Grupo Local no es tampoco el único existente en el universo. Hay otras agrupaciones, quizá tantas como un billón de ellas, y algunas lo bastante grandes para incluir mil galaxias individuales o más.

Pero el universo se está extendiendo. Es decir, los cúmulos de galaxias están apartándose unos de otros a gran velocidad. Para cuando hayan pasado los  $10^{27}$  años y el universo consista sólo en agujeros negros supergalácticos, estos agujeros negros supergalácticos individuales se irán alejando unos de otros a tales velocidades que no es probable que se entrecrucen significativamente jamás.

Lo importante es que cuanto más pequeños sean los agujeros negros que habrán

escapado de los cúmulos y vaguen por el espacio intergrupos, más improbable es que encuentren grandes agujeros negros en el espacio, cada vez más extensos, por el que se mueven.

Podríamos llegar a la conclusión de que no hay gran cosa que decir del universo una vez rebasada la marca de los  $10^{27}$  años. Consistirá únicamente en agujeros negros supergalácticos en interminable alejamiento unos de otros (suponiendo, como piensan ahora muchos astrónomos, que vivimos en un «universo abierto»; es decir, uno que se extenderá siempre) con una dispersión de agujeros negros más pequeños vagando por el espacio. Y podría parecer que no habrá más cambios significativos que la expansión.

De ser así, probablemente estaríamos equivocados.

La impresión original sobre los agujeros negros fue que eran el final absoluto..., todo dentro..., nada fuera.

No obstante, parece que no es así. El físico inglés Stephen William Hawking (1942- ), aplicando las consideraciones del quantum-mecánico a los agujeros negros, demostró que podían evaporarse. Cada agujero negro tiene el equivalente de una temperatura. Cuanta más pequeña es la masa, más alta es la temperatura, y se evaporarán con mayor rapidez.

Lo cierto es que la velocidad de evaporación es proporcionalmente inversa al cubo de la masa, así que si el agujero negro A tiene una masa diez veces mayor que el agujero negro B, entonces el agujero negro A tardará mil veces más en evaporarse. De nuevo, si un agujero negro se evapora y pierde masa, se evapora más y más de prisa, y cuando es lo bastante pequeño se evapora explosivamente.

La temperatura de los agujeros negros de buen tamaño está dentro de una billonésima parte de un billonésimo grado por encima del cero absoluto, de forma que su evaporación es terriblemente lenta. Incluso después de  $10^{27}$  años habrá tenido lugar una evaporación muy pequeña. En realidad, la evaporación que tiene lugar está dominada por la absorción de masa por parte de los agujeros negros a medida que se mueven por el espacio. No obstante, poco quedará para ser absorbido y la evaporación empezará a dominar poco a poco.

Muy despacio, a lo largo de eones y eones de tiempo, el tamaño de los agujeros negros se encogerá, los más pequeños se encogerán más de prisa. Entonces, uno a uno, en orden inverso de tamaño, se arrugarán y se perderán explosivamente en el olvido. Los agujeros negros realmente grandes necesitarán  $10^{100}$  años, o incluso  $10^{110}$  años para hacerlo.

Al evaporarse, los agujeros negros producen radiación electromagnética (fotones) y neutrinos/antineutrinos por pares. Estos no poseen masa residual sino sólo energía (que naturalmente es una forma de masa finamente extendida).

Incluso si las partículas permanecen en el espacio, no serán necesariamente permanentes.

La masa del universo está casi enteramente formada por protones y neutrones, con una pequeña contribución de electrones. Hasta hace muy poco, a los protones (que suman el 95% de la masa del universo) se les suponía absolutamente estables, siempre y cuando se les dejara libres.

Pero según la teoría actual no es así. Al parecer, los protones pueden deteriorarse espontáneamente muy despacio y convertirse en positrones, fotones y neutrinos. La vida media de un protón es algo así como  $10^{31}$  años, que es un intervalo enorme, pero no lo bastante enorme. Para cuando todos los agujeros negros se hayan evaporado, habrá transcurrido un tiempo mucho más largo que el 90% del de todos los protones existentes en el universo que se hayan descompuesto. Cuando hayan transcurrido  $10^{32}$  años, más del 99% de los protones se habrán agotado y quizá también los agujeros negros habrán desaparecido por la aniquilación de los protones. Los neutrones, que pueden existir de forma estable por asociación con los protones,

son liberados cuando los protones se agotan. En este caso son inestables y, en el espacio de minutos, se descomponen en electrones y protones. Los protones se descomponen a su vez y se vuelven positrones y partículas sin masa.

Las únicas partículas restantes en cantidad serán electrones y positrones, y con el tiempo colisionarán y se aniquilarán unos a otros en medio de una lluvia de fotones. Así pues, cuando hayan transcurrido  $10^{100}$  años, los agujeros negros habrán desaparecido de una forma u otra. El universo será una enorme bola de fotones, neutrinos y antineutrinos, y nada más, extendiéndose hacia fuera indefinidamente. Todo se irá extendiendo en capas más y más finas, de modo que el espacio se volverá cada vez más parecido a un vacío.

Una teoría en curso, la del llamado «universo inflacionario», empieza por un vacío total, que no contiene masa ni radiación. Tal vacío, según la teoría quantum, puede sufrir fluctuaciones fortuitas que produzcan materia y antimateria en proporciones iguales o casi iguales. Generalmente esta materia/antimateria se aniquila casi al instante. No obstante, con tiempo suficiente, puede ocurrir una fluctuación que producirá una enorme cantidad de materia/antimateria, con el desequilibrio suficiente para crear un universo de materia en un mar de radiación. Una expansión superrápida evitará entonces la aniquilación y producirá un universo lo bastante vasto como para acomodar galaxias.

Quizás entonces, cuando hayan transcurrido algo así como  $10^{500}$  años, el universo será muy parecido a un vacío que permitirá la posibilidad de que se repitan las fluctuaciones en gran escala.

Sólo entonces, entre las cenizas apagadas de un viejísimo universo, puede concebirse uno totalmente nuevo, que se extienda, forme galaxias y empiece otra larga aventura. Desde este punto de vista (que debo confesar que he inventado y que no ha sido presentado por ningún famoso astrónomo que yo conozca) el universo en continua expansión no es necesariamente un «único» universo.

Puede ser que fuera de nuestro universo (si pudiéramos salirnos de él y observar) existan los posos de un terriblemente tenue, terriblemente viejo universo, que nos envuelve levemente; y fuera de éste, uno todavía más tenue, y más, muchísimo más viejo, que envuelve a los dos; y más allá de éste... otro y otro, y así, interminablemente.

Pero, ¿y qué si vivimos en un «universo cerrado», uno con densidad de materia suficientemente alta como para proporcionar la atracción gravitacional necesaria que finalizará algún día la expansión, empezará una contracción, un caer conjunto, del universo?

El punto de vista astronómico general es que la densidad de la materia en el universo es sólo aproximadamente una centésima parte de la cantidad mínima precisa para cerrar el universo, pero, ¿y si los astrónomos se equivocan? ¿Y si la densidad total de la materia del universo es en realidad el doble del valor crítico?

En este caso se calcula que el universo irá creciendo hasta que tenga 60 eones de edad (cuatro veces su edad actual), y que llegado a este punto la velocidad de expansión disminuirá hasta detenerse finalmente. En ese momento, el universo habrá alcanzado un diámetro máximo de unos 40 billones de años luz.

Entonces el universo empezará a contraerse lentamente, y después más y más de prisa. Pasados otros 60 eones, se autodesmenuzará para desaparecer finalmente en el vacío en el que se originó.

Después, pasado un intervalo indefinido, se formará otro universo del vacío, se extenderá, se contraerá... una y más veces, interminablemente. O quizá los universos se forman sucesivamente, algunos abiertos, otros cerrados, sin orden, al azar.

No importa cómo lo desmenucemos, pero si miramos a lo lejos, podemos terminar con una visión de universo tras universo, en infinita sucesión a través de la eternidad... hasta donde alcanza el ojo humano.

---