

Annotation

Luego de analizar la vida y la materia inanimada, Asimov se aventura en el estudio de la posibilidad de vida extraterrestre, analiza el futuro de la vida y concluye tratando a la ciencia ficción como un escape a la realidad actual. Un exhaustivo ensayo con la claridad expositiva y la lógica incontrastable de Asimov.

- [¿Hay Alguien Ahi?](#)
 - [ISAAC ASIMOV](#)
 - [INTRODUCCIÓN](#)
 - [Primera parte](#)
 - [2. Yo recuerdo, yo recuerdo](#)
 - [3. La gente hambrienta](#)
 - [4. La sangre lo dirá](#)
 - [5. El tú químico](#)
 - [6. Supervivencia de la molécula más apta](#)
 - [7. Enzimas y metáforas.](#)
 - [8. Un pellizco de vida](#)
 - [9. La construcción de un hombre](#)
 - [Primera parte](#)
 - [11. Una nueva luz](#)
 - [12. Una mina del océano](#)
 - [13. Nuestra atmósfera en formación](#)
 - [14. La atmósfera de la Luna](#)
 - [15. El hombre y el Sol](#)
 - [16. Las insólitas estrellas](#)
 - [17. Medición del espacio](#)
-

¿Hay Alguien Ahi?

ISAAC ASIMOV

PLAZA JANES EDITORES. S.A.

Título original:

IS ANYONE THERE?

Traducción de MIGUEL GIMÉNEZ SALES

Portada de VALLHONESTA

Escaneo de Marroba2002

Corrección de Dom

Primera edición: Enero, 1988

©1956, 1957, 1960, 1961, 1962, 1963, 1964, 1965, 1966, 1967, Isaac Asimov

Traducción: © Miguel Giménez Sales, 1973

De la presente edición: © 1988, PLAZA JANES EDITORES, S. A.

Virgen de Guadalupe, 21-33 Esplugues de Llobregat (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España ISBN: 84-01-45080-2 - Depósito Legal: B. 2.115-1988

Impreso en Litografía Roses, S. A - Cobalto, 7-9 - Barcelona

INTRODUCCIÓN

Es bien sabido que soy un escritor de ciencia-ficción. También se sabe que soy miembro de la Facultad de Medicina de la Universidad de Boston. En consecuencia, es natural que a menudo se me pregunte qué opinan mis colegas del hecho de escribir obras de ciencia-ficción.

Tal vez quien tal pregunte tenga la impresión de que tropiezo con ceños fruncidos y miradas desaprobadoras; que mi camino se halla erizado de espinos sobre los que yo ando descalzo, y que mi carrera profesional se ve obstaculizada y desviada.

Para mí resulta un poco desalentador tener que negar el drama, pero lo cierto es que mi vida profesional no es dura. Algunos colegas míos ignoran que escribo ciencia-ficción, y no creo que les importase el saberlo. Otros están enterados de ello, y lo consideran simplemente como otra idiosincrasia académica. Algunos son apasionados lectores de tales novelas y leen a menudo las mías..., espero que complacidos. Y unos cuantos, por el cielo, también son escritores de ciencia-ficción.

Esto no quiere decir que no hubiese una época en que yo mismo me pregunté si resultarían compatibles una carrera académica y una reputación como autor de ciencia-ficción.

La posibilidad me asaltó con toda su fuerza en junio de 1949, cuando tuvieron lugar dos acontecimientos. Primero, estaba a punto de ingresar en la Facultad. Segundo, acababa de vender mi primer relato de ciencia-ficción a «Doubleday y Compañía», e iba a aparecer como un «libro regular».

Llevaba once años escribiendo narraciones de ciencia-ficción para las publicaciones y revistas del género, pero siempre había pensado que se trataba de un oscuro ejercicio del que se derivaba un secreto entre los exóticos aficionados a esa literatura y yo. Sin embargo, un *libro* era diferente, porque no podía mantenerlo en secreto.

Afortunadamente, no me hallaba inmerso en ningún dilema, ni me veía acosado por ninguna incertidumbre. Desde muy temprana edad supe que me gustaba escribir y también que, si algún día me veía obligado a escoger entre la literatura y otra profesión elegiría la primera. (Conocer por anticipado el curso de acción personal a emprender, procura una gran paz mental, y a esto atribuyo yo estar libre de úlceras a pesar de un estilo de vida compuesto casi exclusivamente de titulares.)

Por tanto, no veía la necesidad de actuar con vacilación. Si alguna vez tenía que enfrentarme con una elección, era ahora. Y así, le pedí una entrevista al decano.

- Señor -le comunicué cortés, pero firmemente-, como ya sabe, soy el nuevo instructor de Bioquímica. Sin embargo, creo justo manifestarle que dentro de unos meses verá la luz mi primera novela de ciencia-ficción en un volumen y la Facultad de Medicina se hallará identificada indirectamente con él.

- ¿Es una buena obra? - me preguntó el decano a su vez.

- En la editorial «Doubleday» así lo creen -respondí cautelosamente.

- Entonces -decidió el decano-, me encantará identificarme con él.

Y así fue. En los años transcurridos desde entonces, nadie de la Facultad se ha opuesto a mis escritos de ciencia-ficción, al menos delante de mí, y, que yo sepa, tampoco a espaldas mías.

En mi cerebro tuvo lugar otra crisis cuando empecé a publicar libros científicos. En 1952, fui coautor de un libro de texto de bioquímica para estudiantes de Medicina, y desde aquella época he publicado muchos libros científicos sobre una amplia variedad de temas.

Al principio, pensé que tal vez resultaría mejor usar un seudónimo.

- Vamos, Asimov -murmuró a mi oído, un editor fantasma-, no podemos arruinar la venta de un libro serio, haciendo que sus probables lectores digan: «Esta obra no puede ser buena, ya que la ha escrito ese autorzuelo de ciencia-ficción.»

Me dispuse a librar batallas homéricas, pues decidí firmar con mi nombre todos mis libros. (En primer lugar, me gusta mi nombre; en segundo, soy una persona centrada en sí misma; en tercero, me siento orgulloso de la ciencia-ficción y de mi lugar en la misma, por lo que no deseo que se la insulte.)

¡Ay! Las batallas homéricas no se libraron jamás. Ningún editor, ni uno solo, se opuso nunca

al halo que la ciencia-ficción ha puesto alrededor de mi cabeza. Incluso observé que, en muchos casos, la minúscula biografía inserta en las solapas de mis libros científicos mencionaban mi cualidad de autor de ciencia-ficción como prueba de que yo era un escritor de calidad.

Lo cual me condujo al bastión final de la posible falta de apreciación de la gente en general. La buena ciencia-ficción, al fin y al cabo, atrae a las minorías, de eso no hay duda. Las válvulas de escape que, necesariamente, debían de atraer a un auditorio más vasto y variado, tenían que descartarse. Esta razonada conclusión quedó destruida con la llegada de la era espacial en 1957. De repente, el público en general y hasta la parte menos culta de ese público, se sintió profundamente interesado por los temas más extraños. Y empezaron a desear leer artículos relativos a los asuntos situados en las fronteras de la Ciencia, y a sentirse cada vez más atraídos por los relatos de ciencia-ficción.

De nuevo encontré que mis antecedentes como autor de ciencia-ficción no obstaculizaban en nada mi carrera; al contrario, la ayudaban. Me pidieron que escribiera diversos artículos que unos años atrás no me habría atrevido a escribir siquiera. Fingiendo indolencia, los escribí y no tardé en descubrir que, a pesar de conservar mi puesto en la Facultad, tenía que abandonar la enseñanza. Y ahora me he convertido en un escritor profesional.

¡Qué distinta es la situación de ahora a la de 1949, por ejemplo! Entonces, yo estaba convencido de trabajar en completa oscuridad, y que si se me formulaba la pregunta *¿Hay alguien ahí?* con respecto a mis lectores, la respuesta procedería de un inmenso vacío:

- Solamente nosotros, los partidarios de la ciencia-ficción, Asimov.

Mas ahora, cuando considero la larga lista de escritos diversos de los que soy responsable (todos basados en mi reputación como escritor de este género literario), sé que la respuesta sería muy diferente y halagüeña para mí.

Y para completar el círculo, de nuevo estoy en «Doubleday», donde se publicó mi primera novela. Estos caballeros están totalmente dispuestos a publicar una colección de mis artículos dispersos en multitud de revistas, revisados y puestos al día. Varios de dichos artículos tratan de temas de ciencia, algunos de cálculos y especulaciones, y otros de ciencia-ficción..., las tres patas de mi trípode.

Primera parte

RELATIVA A LO MÁS O MENOS CONOCIDO

1. LA VIDA

1. La materia sobre la mente

¿Qué es la mente? ¡No importa!

¿Qué es la materia? ¡No importa!^[1] Este antiguo rasgo de ingenio afirma la convicción del hombre a través de las edades, relativa a que la mente humana supera a la materia, y que no se halla limitada por las reglas ordinarias que la rigen groseramente.

La estructura física del organismo vivo se acepta como un conjunto de átomos y moléculas, gobernado por las mismas leyes que gobiernan a las rocas que pisamos y a las estrellas del firmamento. Esto es tan cierto para el Orgullosa Hombre como para el Minúsculo Gusano. Pero... ¿y la mente del hombre? ¿Es posible analizar el genio creador que da lugar a la obra de arte? ¿Es posible pesar, contar y medir las emociones y la imaginación, el amor y el odio, la pasión, el pensamiento y el sentido del bien y del mal?

Siempre ha existido el fuerte impulso de colocar la mente por encima de la materia y de aplicar reglas diferentes y más sutiles a la primera. Por tanto, parece natural que las medicinas de la ciencia médica no actúen con eficacia sobre la mente. Shakespeare ya hizo que Macbeth le preguntara cínicamente a un médico, con respecto a la curación de las pesadillas sufridas por su esposa, Lady Macbeth:

Canst thou not minister to a mind diseased,
Raze out the written troubles of the brain.
Raze out the written troubles of the brain,
Ana with some sweet oblivious antidote
Cleanse the stuffed bosom of that perilous stuff
Which weighs upon the heart?
A lo que el médico responde con humildad:
Therein the patient

Must minister to himself ^[2].

Tres siglos después de Shakespeare, cuando los médicos empezaron a «curar la mente enferma», lo hicieron sin el «suave antídoto, como el olvido», sin ninguna poción, mejunje o artilugio material. Para llegar hasta la mente, las leyes de la materia no eran suficientes; por tanto, la propia mente tenía que ser el instrumento. Los médicos empezaron a conversar con sus pacientes y, más importante aún, a escuchar lo que decían aquellos. En lugar del estetoscopio del médico y el tubo de ensayo del clínico, tuvimos el diván del psiquiatra.

Los científicos clínicos se han visto fuertemente tentados a no explorar más en este asunto y no efectuar ningún otro movimiento en favor de las personas trastornadas mentalmente. Abordar las vastas complejidades de la mente con los fríos instrumentos materiales de la ciencia, requería una buena dosis de heroísmo. Existía la falaz promesa del fracaso inevitable respecto al dragón que despide llamas de la química mental, que tendía a intimidar al presunto san Jorge del microscopio y la regla de cálculo.

Y sin embargo, el cerebro está compuesto de átomos y moléculas..., igual que el resto del cuerpo. Las moléculas de las células corporales, y las del cerebro en particular, son tantas, tan

variadas y versátiles, que se interaccionan y cambian según unas normas asombrosas que todavía no hemos comprendido por completo. Pero el mismo enigma de este complejo químico infunde ciertas esperanzas, puesto que es, concebiblemente, lo bastante complejo como para ser responsable de todas las infinitas sutilezas de lo que llamamos mente.

Esta complejidad se ve ahora atacada por nuevas técnicas que dan por resultado singulares adelantos en la química cerebral y en la psicología. Se emplean ordenadores para analizar los datos de las ondas cerebrales, con una exactitud jamás lograda hasta el presente. La mejor comprensión de los ácidos nucleicos en relación con el mecanismo de la herencia está produciendo sugerencias excitantes respecto a la mecánica de la memoria (lo que estudiaré con más detalle en el capítulo segundo).

Además, se están utilizando nuevas drogas que afectan al trabajo cerebral, a veces de forma drástica, ofreciéndonos diversos atisbos de dicho trabajo. Esta última técnica creada es la más excitante, puesto que entraña, entre otras cosas, el compuesto llamado LSD, que ofrece a la Humanidad una nueva dimensión en el uso de las drogas y las consecuencias de las mismas.

Los nuevos adelantos, sorprendentes respecto a las manifestaciones más sutiles del cerebro (memoria, percepción, razón), no han surgido de la nada. Existe un siglo de adelanto respecto a los aspectos menos complicados de la acción cerebral. Aunque el sistema nervioso es un conjunto intrincadamente entrelazado, en casi todos los planos de su actividad, muestra, en ciertos aspectos, una especie de complejidad gradualmente creciente de las funciones, de abajo arriba. Esto ha ayudado a los científicos a avanzar mediante fases sencillas, hasta haber logrado hoy día tratar de enfrentarse razonablemente con la maquinaria mental que entremezcla todos los planos del sistema nervioso.

Más abajo del cerebro se halla la médula espinal, una casa de tejido nervioso, estrecha, de una longitud de unos 45 centímetros, que desciende por el centro de las vértebras, formando el espinazo. La médula espinal es un centro receptor de muchos de nuestros reflejos más corrientes. El individuo toca algo caliente y esta sensación se difunde por la médula, convirtiéndose en un impulso nervioso exterior que ordena la inmediata retirada de la mano. Ésta se aparta antes de que la mente consciente haya tenido ocasión de decir: «Está caliente.»

(Naturalmente, no es esto todo lo que hace la médula espinal. Ésta se halla unida, mediante distintos nervios, a los diversos centros del cerebro y forma parte de un todo unificado. Sin embargo, esta acción refleja fue la primera en ser comprendida, y yo la simplifico deliberadamente para obtener una visión más clara de la perspectiva histórica.)

En su extremo superior, la médula espinal se ensancha para formar la médula oblonga u oblongada, sobre la cual se asienta el cerebro como un pedazo abultado de una fruta arrugada. La médula oblonga, también llamada «bulbo raquídeo», se cuida de asuntos más complicados que los simples reflejos. Es un centro importante que controla la forma en que nos sostenemos, por ejemplo.

De pie, usamos activamente varios músculos para mantener erguida nuestra espalda y nuestras piernas contra la atracción de la gravedad. Para conseguirlo con eficiencia, ha de existir una interacción constante y delicadamente ajustada. No se le permite a ningún grupo de músculos que nos desequilibre a un lado o a otro sin que otro grupo entre rápidamente en acción para reajustar el equilibrio. Ordinariamente, no nos damos cuenta de esta actividad, pero si llevamos algún tiempo de pie, el cansancio resulta desagradablemente evidente, y si perdemos el conocimiento estando de pie, los músculos se relajan y caemos al suelo al instante.

Si fuese nuestra mente consciente la que estuviese constantemente preocupada por los músculos que nos mantienen de pie, apenas tendríamos tiempo para ocuparnos de otras cosas. Sin embargo, de esto se encarga el bulbo raquídeo, casi sin interferencias de la conciencia. Estamos de pie, y nos equilibramos ajustadamente, por muy distraídos que nos hallemos, por muy meditabundos que estemos, siempre que no durmamos o perdamos el sentido.

Encima del bulbo raquídeo hay dos grandes lóbulos con superficies arrugadas, cada uno dividido casi por la mitad. El mayor es el cerebro (del latín, *cerebrum*), y el menor el cerebelo.

El cerebelo se halla un poco detrás del bulbo raquídeo. Y hace algo más que conservarnos en equilibrio estando inmóviles, ya que conserva nuestro equilibrio cuando nos movemos. Mientras andamos, levantamos una pierna, perdemos temporalmente el equilibrio, y adelantamos la pierna para apoyarla sobre el suelo de una manera calculada para recuperar el equilibrio. Si movemos una mano hacia el bolígrafo, por ejemplo, la mano debe proceder con

lentitud antes de cogerlo, y detenerse al llegar a él.

Tiene que haber un «cálculo». Tenemos que ver (o sentir) el movimiento de una parte de nuestro cuerpo, calcular su distancia desde su objetivo y ajustar su velocidad y dirección constantemente sobre la base de la cambiante situación. El cerebelo se ocupa de esto. Lo hace de manera automática, de modo que si deseamos coger un bolígrafo lo hacemos de una manera perfecta, sin damos cuenta de la dificultad de la tarea. Pero fijaos en alguien que padezca parálisis cerebral y no pueda realizar tales cálculos. Es incapaz de efectuar ni la menor tarea sin continuos desaciertos y fallos.

Junto con esto, las sensaciones externas deben producir cambios químicos en las células cerebrales que, a su vez, dan lugar a impulsos nerviosos que ocasionan específicas respuestas musculares. Claro que aún ignoramos los detalles de dichos cambios químicos.

Al llegar al cerebro, encontramos que está más directamente relacionado con la química. Al fondo del cerebro, por ejemplo, existe una zona llamada hipotálamo, una de cuyas funciones es actuar como un termostato. El calor corporal se produce mediante una vibración constante y suave de los músculos, a un promedio de siete a trece veces por segundo, hecho comprobado en 1962. El hipotálamo «siente» la temperatura de la sangre que pasa por él. Si la misma es demasiado baja, provoca un aumento de calor. Si la temperatura es demasiado elevada, el hipotálamo rebaja el promedio de vibraciones. De esta manera se mantiene de un modo constante el calor corporal, a pesar de los cambios exteriores.

El hipotálamo también detecta la concentración acuosa de la sangre y actúa por medio de una glándula próxima, la pituitaria, para ajustar el trabajo de los riñones; éstos eliminan más agua si la sangre se aclara; menos, si se espesa. El hipotálamo también mide constantemente la concentración de azúcar de la sangre. Cuando la misma es demasiado baja, el hipotálamo actúa para producir sensación de hambre (ver capítulo tercero).

Aquí tenemos unos ejemplos más claros de la labor química. Los pequeños (e inofensivos) cambios químicos de la sangre, producen alteraciones en los mecanismos corporales para impedir otros (y crecientemente perjudiciales) cambios en tal dirección. De esta forma se conserva ajustada y equilibrada la química corporal.

Sin embargo, los detalles han de ser extraordinariamente complicados. Los mecanismos corporales están estrechamente relacionados entre sí, y el hipotálamo ha de producir cambios necesarios en una sola parte de esta supercomplicada red, sin provocar otros cambios innecesarios en otras zonas. Esta dificultad se ve clara con la forma en que casi todas las drogas aplicadas al hombre, a pesar del empleo más cuidadoso, producen siempre, por desgracia, «efectos secundarios». El hipotálamo ha de actuar con una increíble seguridad para evitar tales efectos.

Mas, ¿qué ocurre en las partes superiores del cerebro, las que se hallan ocupadas particularmente con los movimientos y las sensaciones conscientes, con el pensamiento y la razón, la memoria y la imaginación? Si nos vemos asombrados por la química de cosas tales como los reflejos y el equilibrio acuoso, seguramente nos encontraríamos mudos de estupor ante la química de la memoria, pongo por caso.

En realidad, como veremos en el próximo capítulo, no es así. Actualmente, realizamos grandes progresos, al menos en apariencia, sobre la comprensión de la memoria, y en el horizonte se perfilan ya las más excitantes perspectivas.

No es sólo la mente razonablemente sana la que nos ocupa, sino lo que llamamos trastornos mentales que pueden realizar simplemente cambios o desviaciones en la obra química del cerebro. Si las enfermedades mentales no son más que un mal funcionamiento material, mediante el estudio de la química cerebral podemos descubrir las curas que hasta ahora han eludido constantemente los psiquiatras.

Por ejemplo, consideremos la esquizofrenia, la más común y grave de las enfermedades mentales. Este nombre lo inventó en 1911 un psiquiatra suizo. Paul E. Bleuler, derivándolo de la expresión griega que significa «mente dividida», porque se observaba frecuentemente que los individuos que sufrían esta dolencia parecían dominados por una serie de ideas (o «complejos»), con exclusión de las demás, como si la labor armoniosa de la mente se hubiese interrumpido y dividido, controlando una sola parte de dicha mente el resto de la misma. Otro nombre anterior para esta enfermedad fue el de «demencia precoz», término que intentaba diferenciarla de la demencia senil, enfermedad mental que afecta a los ancianos a causa del deterioro cerebral,

debido a la edad. La esquizofrenia suele presentarse a una edad relativamente temprana, por lo general, entre los 18 y los 28 años.

Existen diversas variedades de esquizofrenia, según el complejo predominante. Puede ser «hebefrénica» (mente infantil), en la que el síntoma predominante es la conducta infantil o atontada. Puede ser «catatónica», en que la conducta presenta un tono bajo y el paciente parece retraerse de su participación en el mundo objetivo, enmudeciendo e inmovilizándose. Puede ser también paranoica («locura»), caracterizada por una extrema hostilidad y suspicacia, y con manías de persecución.

Al menos, la mitad de los pacientes recluidos en sanatorios mentales son esquizofrénicos de alguno de estos tipos, calculándose que esta enfermedad afecta globalmente al uno por ciento de la Humanidad. Esto significa que en el mundo hay, como mínimo, unos treinta millones de esquizofrénicos, cifra igual a la población total de una nación como España.

¿Puede tratarse esta variedad tan común de las enfermedades mentales con un «antídoto suave, como el olvido»?

Existen precedentes que infunden ciertas esperanzas. Algunas enfermedades mentales ya son curadas, y la mente se ha mostrado dócil al tratamiento físico..., por lo menos en algunos casos.

Un ejemplo es la pelagra, enfermedad antaño muy corriente en las riberas mediterráneas y en el sur de América. Se caracteriza por las llamadas tres D: diarrea, dermatitis y demencia. En realidad, la pelagra era producida por la falta de una vitamina, la falta de niacina en los alimentos. Una vez administrada la niacina a los pacientes, en dosis suficientes, la enfermedad desapareció. No sólo cesaba la diarrea, sino que la piel enrojecida, rugosa e inflamada, recobraba su aspecto normal, y también concluían los trastornos mentales. La misma técnica que curaba el cuerpo sanaba la mente. En este caso, al menos, la materia dominaba a la mente.

La pelagra es una enfermedad provocada por la falta de suministros del exterior. Pero, ¿y el mal funcionamiento causado por los desajustes en la maquinaria química del cuerpo? Cada reacción química del cuerpo está controlada por unas sustancias muy complejas llamadas enzimas, y cada reacción tiene su enzima particular. ¿Qué ocurre, entonces, si una persona nace sin la habilidad necesaria para fabricar algún enzima especial?

Ésta es la situación en el caso de una enfermedad denominada oligofrenia fenilpirúvica, caracterizada por una grave deficiencia mental. Esta enfermedad, poco común, por fortuna, está presente ya en el nacimiento. Un niño nace sin la facultad de fabricar cierto enzima que provoca la transformación de una sustancia llamada fenilalanina en otra denominada tiroxina. La primera, no pudiendo seguir su curso normal, se cambia en otras sustancias anormales. Y éstas se acumulan e interfieren en la química cerebral.

Por desgracia, en tal caso la situación no es tan fácil de corregir como en el caso de la pelagra. Aunque sea sencillo administrar una vitamina, es todavía casi imposible proporcionar un enzima del que carece el cuerpo. No obstante esto, algunos pacientes han acusado cierta mejora en esta condición mental, manteniéndolos en una dieta baja en fenilalanina.

¿Es posible, pues, que la esquizofrenia sea también el resultado de un fallo químico, bien externo o interno? El doctor A. Hoffer, de la Universidad de Saskatoon, Canadá, lleva muchos años tratando la esquizofrenia mediante la administración de grandes dosis de niacina, con considerable éxito. Aparentemente al menos, algunas formas de esquizofrenia se deben a deficiencias vitamínicas, como una forma de pelagra más grave.

Para tratar la esquizofrenia se necesita más niacina que para la pelagra, y Hoffer aporta para esto una razón. La niacina se convierte dentro del cuerpo en una sustancia más compleja llamada NAD, que es la que realmente actúa. El organismo normal puede fabricar el NAD a partir de la niacina con suma facilidad y rapidez, si ésta está presente en la dieta alimenticia. (Por esto, se cura la pelagra tan pronto como se añaden dosis de niacina a la dieta suficiente en otro sentido.) Pero el esquizofrénico puede padecer un trastorno químico, caracterizado en parte por la incapacidad de formar fácilmente el NAD. Por tanto, hay que suministrar grandes dosis de niacina a fin de que la ineficaz maquinaria química produzca al menos un poco de NAD.

Hoffer informa que en la primera mitad de 1966 ensayó la administración de NAD, con resultados muy esperanzadores. Las dosis más pequeñas produjeron mejorías más rápidas. (Como es costumbre en el caso de tratamientos experimentales en las fronteras de los conocimientos humanos, también hay informes de otros laboratorios donde los resultados fueron

desalentadores.)

El fallo químico en el caso del esquizofrénico (ya sea la incapacidad para producir el NAD a partir de la niacina, o por cualquier otra causa), tiene que ver aparentemente algo con la herencia, y ciertamente, se hereda la tendencia a desarrollar esta enfermedad. Las probabilidades individuales de desarrollar la esquizofrenia, son, como se ha dicho, del uno por ciento. Sin embargo, si una persona tiene un hermano o hermana esquizofrénico, las probabilidades de que ella misma presente esa dolencia son del uno por siete. Si se trata de un mellizo esquizofrénico, las probabilidades son del uno por tres o cuatro.

La gente, con toda seguridad, no suele nacer con síntomas de esquizofrenia; esta dolencia no es innata, como lo es la oligofrenia fenilpirúvica. Podemos decirlo de esta manera: el esquizofrénico no nace con el fallo de una parte de su maquinaria química, sino con una parte frágil, que se deteriora a edad muy temprana de su vida. Y lo que se hereda es esta fragilidad.

¿Pero por qué el NAD (si se trata efectivamente del NAD) conserva al cuerpo humano en estado normal? ¿Qué le ocurre al organismo cuando falta ese mismo NAD?

Se han formulado suposiciones con respecto a una parte del plan químico que empieza con una sustancia denominada adrenalina. En cantidades pequeñísimas, la adrenalina estimula ciertos nervios que controlan los latidos cardíacos, la tensión arterial, la respiración y otras funciones corporales. La glándula adrenal (un pequeño bultito de tejido encima de cada riñón) tiene, entre otras funciones, la secreción de adrenalina al líquido sanguíneo en momentos de tensión, fatiga o molestia. Cuando nos enfadamos o asustamos, al momento se segrega la adrenalina a fin de elevar la tensión sanguínea, nuestro corazón late más de prisa, nuestros pulmones aspiran con más rapidez el aire. Nos hallamos situados en un estado de emergencia que nos capacita para luchar o correr.

Naturalmente, es importante que, una vez concluida la emergencia, el cuerpo retorne a su estado normal. Por esta razón, el cuerpo posee ingenios químicos para la destrucción rápida de la adrenalina. Esta destrucción está supervisada por un enzima llamado aminooxidasa, que se combina con la adrenalina y la mantiene quieta, hablando vulgarmente, en tanto la transforma en sustancia inofensiva.

Mas ¿y si dicha enzima se halla ocupado en otro sentido? Ordinariamente, las enzimas son muy específicas, y solamente se ocupan de ciertas moléculas que poseen una forma particular, sin trabajar con otras. Ésta es la forma de trabajo de las enzimas llamadas de «llave y cerradura» (ver Capítulo 7). Una llave especial abre una cerradura particular y sólo ésta.

Sin embargo, la especificación de las enzimas no es perfecta. Una enzima puede combinarse con una molécula que *casí* tenga la forma de la debida. Entonces, la molécula equivocada compite con la buena para unirse con la enzima, y si ésta está ocupada con la primera no puede trabajar con aquélla, de forma que su acción se ve inhibida. A este fenómeno se le llama «inhibición competitiva», y puede ser grave.

Cuando la enzima se une a la molécula debida, efectúa una tarea en la misma, y la abandona; pero cuando se une con una molécula equivocada puede quedar más o menos permanentemente unido a ella, como una llave errónea queda encajada en una cerradura, y hay que romperla.

Cuando tal ocurre, incluso una diminuta cantidad de molécula equivocada puede provocar un trastorno químico continuo, que perjudique al organismo, llegando en ocasiones a provocar la muerte. Generalmente, así es como actúan los venenos.

Tal vez, pues, algunan enzima, aminooxidasa o de otra clase, se halle sujeta a la inhibición competitiva por algo que se forma en ausencia del NAD, y no en su presencia.

La posibilidad de que esta inhibición competitiva se halle presente en este proceso queda subrayada dramáticamente por el caso de un cacto, natural de América del Sudoeste, que contiene el compuesto denominado mescalina. La molécula de mescalina posee cierta semejanza general con la adrenalina, lo bastante semejante en realidad para permitir que la mescalina se interfiera en el amino-oxidasa. Esta clase de interferencia, incluso con un simple enzima, puede ejercer un efecto muy amplio sobre la función cerebral. Las funciones químicas del cerebro pueden compararse con un vasto encaje tridimensional, intrincadamente interconectado. Un tirón dado en una parte mueve todas las demás, hasta cierto punto. En consecuencia, cuando las partes del cacto que contienen la mescalina se mastican, el enzima que destruye la adrenalina se ocupa con aquélla, y la adrenalina se acumula, produciendo toda

clase de efectos raros. Una persona experimenta entonces percepciones sensoriales sin existencia objetiva. Ordinariamente, los objetos cambian de forma, color o valor. En resumen, la mescalina produce alucinaciones, por lo que es un «alucinógeno».

Además, las reacciones del masticador de mescalina son inapropiadas al universo real. Dependen de sus distorsionadas percepciones sensoriales, y a veces, ni siquiera se hermanan con éstas. Su comportamiento es peculiar e imprevisible. Los indios del Sudoeste, que experimentan todo esto cuando mastican dicho cacto, supusieron que ello les abría la puerta del mundo situado fuera del de los sentidos ordinarios. Por tanto, emplearon la mescalina en los ritos religiosos.

La conducta inducida por la mescalina se asemeja a la de los esquizofrénicos, y es natural llegar a pensar si es posible que se forme dentro del organismo un producto químico que cause efectos similares a los de la mescalina.

Tal vez ese producto químico se forme con más facilidad cuando existe deficiencia de NAD, de modo que las personas que nacen con una tendencia a desarrollar ineficiencias en las reacciones que fabrican el NAD se hallen sujetas al efecto de dichos productos químicos.

Es posible alterar fácilmente la adrenalina en el tubo de ensayo, formando un compuesto ligeramente cambiado llamado adrenocromo. Éste, inyectado en el fluido sanguíneo, produce ataques temporales de conducta similar a la esquizofrénica. En realidad, el adrenocromo no se forma en el organismo normal, aunque sí podría formarse tal vez en el esquizofrénico.

Resulta de interés, por tanto, estudiar y analizar con detalle estas partes del organismo esquizofrénico que pueden obtenerse fácilmente y analizarse, como por ejemplo, la sangre o la orina. Cualquier sustancia que se halle en todos, o casi todos los esquizofrénicos, y no se encuentre en todos, o casi todos los seres normales, resulta instantáneamente sospechosa.

Una forma de analizar los fluidos corporales es usar una técnica llamada del «papel cromatográfico». Se extienden diferentes clases de moléculas de los fluidos orgánicos, haciéndoles ocupar puntos separados, sobre fragmentos de papel poroso. Estos lugares pueden hacerse visibles dejando que las moléculas que los ocupan sufran una reacción química que produce un material colorante.

En 1962, Arnold J. Friedhoff, de la Universidad de Nueva York, descubrió que con un cierto curso de tratamiento podía obtenerse un punto rosado de la orina de quince de cada diecinueve esquizofrénicos, y ni uno de cada catorce normales.

Desde entonces, se han realizado análisis similares en mayores cantidades de personas. En una serie de experimentos, llevados a cabo por C. A. Clarke, de la Universidad de Liverpool, no se encontró ni un solo punto rosado en doscientas sesenta y cinco personas sanas, ni en ciento veintiséis enfermas de otras dolencias distintas a la esquizofrenia. Sin embargo, se hallaron puntos rosados en cuarenta y seis de ochenta y cuatro esquizofrénicos. La mayoría de estos que no presentaron el punto rosado pertenecían a la variedad paranoica. Entre los no paranoicos, había el punto rosado en cuatro de cada cinco.

¿Qué era el punto rosado? Resultó ser un producto químico llamado dimetiloxifeniletilamina (DMPE), y su estructura se halla situada entre la adrenalina y la mescalina.

Dicho de otro modo, ciertos esquizofrénicos (bien por carencia de NAD o por otras causas), *forman sus propios alucinógenos*, y se hallan, en realidad, bajo una embriaguez permanente de mescalina.

Esto no es más que un mero principio en el ataque fisicoquímico de la esquizofrenia, pero es un principio esperanzador. El punto rosado (y los demás productos químicos que puedan formarse) ayudarán a los médicos a descubrir las causas de la esquizofrenia mucho antes que de otras formas, en un momento en que la terapia sea más fácil. Estudiando los procesos químicos que dan lugar a la presencia del punto rosado, puede detectarse la sección anormal del mecanismo químico del ser esquizofrénico, otorgándosele entonces el tratamiento adecuado.

Pero la adrenalina no es el único producto químico que se halla íntimamente relacionado con las funciones cerebrales. También existe una sustancia denominada serotonina.

La importancia de la serotonina se puso de manifiesto en relación con la dietilamida del ácido lisérgico, hoy día conocida mundialmente como LSD. El LSD posee una estructura más complicada que la serotonina, pero los químicos pueden hallar fácilmente una «cadena» de serotonina en la molécula de LSD. No es sorprendente, por tanto, que el LSD pueda competir con la serotonina por un enzima particular, como el DMPE compite con la adrenalina, y con

idénticos resultados. En otras palabras, la ingestión de LSD puede provocar la acumulación de serotonina en el cerebro, con la aparición de síntomas esquizofrénicos.

Esto se descubrió por casualidad en 1943, cuando el químico Albert Hoffman trabajaba con LSD, con propósitos puramente químicos. Sin querer, se llevó a los labios algunos cristales de LSD incrustados en las yemas de sus dedos, y cayó en un estado de postración, semejante al ensueño, que le impidió seguir trabajando. Regresó a su casa, experimentando una especie de fantasía alucinatoria. Supuso que era debida al LSD y al día siguiente (con notable valor) tomó una cienmilésima de onza de dicho producto, arriesgándose sólo con lo que creía era una dosis pequeñísima. En realidad, era muy grande, ya que con una décima parte habría tenido suficiente. Volvió a sufrir las fantasías y alucinaciones del día anterior..., y ya lo demás es historia.

Hoffman volvió a sentirse completamente normal al cabo de veinticuatro horas, sin sufrir perjuicio alguno, ni causárselo a los demás estando bajo la influencia del LSD.

Por desgracia, no es ésta la regla general. Cada ser humano posee una maquinaria química propia, de modo que los efectos inducidos por el LSD varían de un individuo a otro. Uno experimentará un caso débil de fantasía, y otro uno grave; algunos se recuperarán rápidamente, y otros con mucha más lentitud.

La maquinaria química es, en algunos individuos, más frágil en puntos claves que en otros, en el sentido de que pueden ser más propensos a romper dichos puntos. Si el punto en cuestión es de los que producen la esquizofrenia al romperse, no es aconsejable tomar LSD.

Ordinariamente, el punto frágil del esquema químico puede resistir toda una existencia de tensiones ordinarias, de forma que un ser humano puede ser propenso a la esquizofrenia sin llegar a desarrollarla jamás. Sin embargo, bajo el poderoso influjo del LSD, el punto cede, y lo que para algunos sería sólo un experimento temporal y desusado, para otros se convierte en un cambio permanente y grave.

Como nadie sabe cuál es la firmeza de los puntos cruciales del esquema químico personal, el uso del LSD sin el mayor cuidado profesional es una especie de ruleta rusa mental. Es una invitación a la locura temporal para todo el mundo... y a la locura permanente para algunos.

El LSD es un instrumento importante para la investigación de las enfermedades mentales. Estudiando las causas de dichas dolencias hallaremos la curación adecuada.

Esto lo vemos en el ejemplo de los investigadores médicos que, hace un siglo, estudiaban las más peligrosas bacterias con el fin de hallar una cura para las enfermedades infecciosas. Es de suponer, y desear, que en esta mitad del siglo XX, las enfermedades mentales sean, en este sentido, lo mismo que las infecciones lo fueron en la segunda mitad del XIX.

Pero existe una importante diferencia. Los estudiantes universitarios de finales del siglo pasado no pensaron jamás que fuese una diversión excitante inyectarse los bacilos del cólera.

2. Yo recuerdo, yo recuerdo

Es corriente asociar la buena memoria con una gran inteligencia. Los programas de acertijos, muy populares hace algunos años, se consideraban ampliamente como el resultado de un genio, cuando en realidad se apoyaban en trucos de memoria que a veces (no siempre, claro) se hallaban totalmente en desavenencia con los criterios actuales de una mentalidad poderosa.

Un ejemplo que salió a la luz a este respecto fue el caso de los mellizos que saltaron a la actualidad periodística por su habilidad de dar el día de la semana para cualquier fecha que se les nombrara, aunque perteneciese a miles de años del pasado: y hacerlo rápida y correctamente.

Se ignora cómo lo lograban. ¿Habían logrado aprenderse de memoria el calendario? ¿O un resumen del mismo, por semanas? ¿Conocían el día de la semana mediante fechas clave y lo calculaban rápidamente gracias a éstas? Bien, es imposible afirmarlo. Ni siquiera pueden explicarlo los propios mellizos. Ya que son mentalmente retrasados.

Más aún, esta habilidad no era compartida con ninguna otra clase de cálculo. Incluso las sumas y las sustracciones más sencillas se hallaban fuera de su alcance.

Tales prodigios han sido bastante corrientes a lo largo de la Historia. Un inglés del siglo XVIII, Jedediah Buxton, multiplicaba las cantidades $23.145.789 \times 5.642.732 \times 54.965$, mentalmente, con suma rapidez, y daba el total adecuado, y sin embargo tenía una mentalidad embotada y jamás pasó de ser un triste obrero toda su vida. Zerah Coiburn, nacido en Vermont en 1804, podía dar el resultado de 8^{16} (o sea la multiplicación de 8 dieciséis veces por sí mismo) en unos segundos, y extraía la raíz cúbica de 268.336.125 casi al instante. Sin embargo, no fue una persona notablemente inteligente.

Existen diversos casos similares. ¿Cómo actúan? Probablemente, se trata de una casi indeleble memoria para los números. Los cálculos que llevan a cabo en su cerebro puede efectuarlos cualquier persona normal sobre el papel, mediante los cálculos parciales y otros intermedios.

El prodigio calculador escribe tales resultados parciales en su cerebro y los suma interiormente. Hay casos de personas prodigio que pueden hallar la mitad de la clave de un problema, ocuparse de otras cosas, y tras un largo período de tiempo, volver al problema abandonado, recordar lo descubierto y solucionarlo totalmente sin vacilación. Si hacen esto, ello se debe a una práctica constante e intensa de una mente dedicada sólo a la misma.

No es necesario poseer una inteligencia más o menos normal para ser un calculador prodigioso. Grandes matemáticos como André M. Ampère, John Wallis, Leonhard Euler y, el mayor de todos, Carl Friedrich Gauss, poseían una memoria prodigiosa. Sin embargo, la misma, si bien les ayudaba en su labor como matemáticos, no era la causa de su genio.

Dejando aparte los casos de personas prodigio, supernormales o subnormales de inteligencia, hallamos que, en general, la memoria y la inteligencia se armonizan siempre. Cuanto más inteligente sea una persona, mayor será su memoria. La extensión del vocabulario que se comprende y emplea es, por ejemplo, un buen indicio de la eficacia de la memoria personal y la extensión de la inteligencia en el mismo individuo.

Entonces, si se nos preguntara por qué una persona posee más memoria que otra, sólo podríamos responder que ello se debe a la misma causa que hace que un ser humano sea más inteligente que otro.

Las teorías sobre la memoria, antiguas o modernas, parecen apoyarse en una de estas dos posibilidades: memoria por asociación de ideas, o memoria por imágenes.

Casi todo el mundo acepta estas dos teorías como auténticas. Nos atamos un hilo al dedo para recordar que hemos de comprar pan, y cada vez que vemos el hilo, exclamamos:

- ¡Oh, sí, tengo que comprar pan!

Al cabo de unas cuantas veces, este asunto queda firmemente grabado en nuestro cerebro. La asociación de ideas se ha convertido en una imagen.

El psicólogo ruso Iván P. Pávlov consiguió establecer los «reflejos condicionados» de los animales mediante asociaciones continuas. En algunos experimentos llevados a cabo a principios de este siglo, hacía sonar un timbre, luego le mostraba comida a un perro y éste

respondía con la insalivación. Eventualmente, tras varias repeticiones, el perro asociaba el timbre con la comida de forma tan intensa que insalivaba sólo con oír el timbre sin ver la comida. El mecanismo de insalivación del animal «recordaba» ya que el timbre significaba comida.

Esto condujo a una escuela de psicología que, en su forma más extrema, afirmaba que todas las enseñanzas y todas las respuestas eran el resultado de los reflejos condicionados. Era como si uno recordase un poema de memoria, por asociar cada frase con la anterior; o porque cada frase estimulase la siguiente como una respuesta condicionada.

Sin embargo, no hay duda de que la memoria no es meramente una secuencia de causa y respuesta, de una cosa que recuerde otra que, a su vez, recuerda otra y así sucesivamente. Es posible recordar en imágenes.

Si se me permite ponerme como ejemplo (yo conozco muy bien mi propia memoria), yo poseo una memoria indiferente para los números. No puedo multiplicar de memoria dos números de tres dígitos sin un gran esfuerzo.

Sin embargo, poseo un mapa muy claro de los Estados Unidos grabado en mi mente y puedo mirarlo y copiar los nombres de todos sus Estados con la misma rapidez con que escribo. (De joven, solía ganar apuestas escribiendo los nombres de todos los Estados en menos de cinco minutos.)

La memoria también se cuenta por variaciones de duración. Hay memorias de corto plazo y otras de largo plazo. Si uno busca un número telefónico, no es difícil recordarlo hasta que se ha marcado; después suele olvidarse automáticamente. Sin embargo, un número telefónico usado frecuentemente entra ya en la categoría de la memoria a largo plazo. Y es posible recordarlo incluso al cabo de varios meses.

Es fácil suponer que una memoria comienza con un plazo corto y se convierte en otra de plazo largo con el uso. Para comprender esto, consideremos la estructura del sistema nervioso.

El sistema nervioso está compuesto de numerosas células microscópicas llamadas neuronas. Éstas son de forma irregular, con unas proyecciones muy finas que surgen en diversas direcciones. Estas proyecciones se denominan dendritas, término griego que significa árbol, porque en realidad se asemejan a las ramas de un árbol. Cada neurona posee una prolongación particularmente larga llamada axón. Las dendritas de una neurona pueden aproximarse mucho al axón de otra, pero sin tocarse jamás. Y la diminuta brecha existente es una sinapsis.

Una neurona, al ser estimulada, es capaz de transmitir una ligera corriente eléctrica a lo largo de su superficie, que descienda por sus proyecciones. Ordinariamente, la corriente se detiene en una sinapsis, pero bajo ciertas condiciones, el ambiente químico de la misma cambia de tal forma que permite que la corriente salte la brecha y pase a través de otra célula. Saltando de una sinapsis a otra, una corriente eléctrica puede seguir un sendero específico desde un punto a otro del sistema nervioso.

Supongamos, pues, que con cada sensación que se recibe, un grupo particular de sinapsis queda afectado de forma que deje pasar con más facilidad la corriente nerviosa. Este grupo de sinapsis está tan bien escogido que la corriente fluye de una célula a otra, y a otra, hasta regresar a la célula de origen, formando un circuito cerrado.

Naturalmente, este ciclo persiste durante un período de tiempo, como los corredores de carreras en tomo a la pista. La sensación original y un ciclo de corriente particular pueden considerarse asociados. En tanto el organismo puede experimentar un ciclo de corriente particular y seleccionarlo de entre otros (aunque se ignora cómo tiene lugar esta selección), puede recordar la sensación que originó ese ciclo de corriente especial.

Con el tiempo, no obstante, se desvanece el efecto en las sinapsis, el ciclo de corriente desaparece, y la memoria se esfuma. Se trata de una memoria a corto plazo.

Pero cada vez que se experimenta el ciclo de la corriente y regresa la memoria, es posible que se intensifique el cambio en las sinapsis, de modo que la corriente sea más potente. Eventualmente, puede cambiar hasta la estructura física de las células, y pueden formarse más dendritas entre las células que componen el ciclo, facilitando el paso de la corriente. Casualmente, la corriente puede quedar tan firmemente establecida que continúe indefinidamente sin reactivación adicional. La memoria se ha convertido en una de largo plazo.

Naturalmente, cuanto más tiempo ha tenido existencia un ciclo de corriente, más firmemente puede asentarse, siendo para muchos de nosotros, por lo tanto, considerablemente más fácil recordar cosas aprendidas en la juventud, que las cosas del año anterior.

Tal vez en casos excepcionales, los cerebros se hallen contruidos de modo que algunos tipos de memoria a largo plazo, como los relativos a los números, se formen con una especial facilidad, dando lugar a prodigios mentales, aunque el cerebro no se halle contruido asimismo para ser especialmente inteligente. Tal vez algunos tipos de ciclo de corriente se formen a través del uso, con más facilidad y se establezcan antes que otros, de modo que tengamos una persona que recuerde los nombres pero no los rostros, o bien el profesor distraído que posee una memoria excelente para todo lo relacionado con su ocupación, pero encuentra difícil incluso acordarse de la dirección donde vive.

Pero, ¿existe suficiente espacio en el cerebro para todos los distintos ciclos de corriente? Se calcula que el cerebro, durante una existencia entera, absorbe hasta mil billones (1.000.000.000.000.000) de fragmentos separados de información.

En el cerebro hay aproximadamente diez mil millones (10.000.000.000) de células grises o neuronas, y unas nueve veces más de células auxiliares o gliacitos. (Algunos sugieren que los gliacitos, o células auxiliares, se ocupan de la memoria a corto plazo, mientras que las neuronas mayores están relacionadas con la de largo plazo.) Si cada ciclo de corriente ocupa sólo a dos células, hay espacio para más de un trillón de ciclos..., espacio para diez millones de veces como memorias podrían acumularse en toda la vida. Naturalmente, existen grandes cantidades de células que no están contiguas, pero por otra parte, los ciclos de corriente pueden ocupar a más de dos células, incluso a varias docenas si es necesario. En este último caso, hay espacio suficiente para todos los ciclos de corriente necesarios.

Es posible que el cerebro no sólo posea amplio espacio para todos los ciclos necesarios, sino para establecer cada ciclo con muchas copias, puesto que es posible efectuar operaciones quirúrgicas en el cerebro sin perjudicar gravemente a la memoria. Si se eliminan algunas copias de ciclos individuales, hablando vulgarmente, mediante la cirugía, en otras partes del cerebro permanecen otras copias intactas.

Por tanto, es posible asegurar algo tan obvio como que la memoria a corto plazo puede transformarse en otra de plazo largo. A veces, cuando se estimulan eléctricamente ciertas partes del cerebro (por razones legítimas durante las intervenciones quirúrgicas), el resultado es un flujo de recuerdos. Este flujo se llena con detalles de tal verosimilitud que el paciente revive virtualmente una parte de su vida pasada, aun cuando continúa plenamente consciente del presente. Wilder G. Penfield, de la Universidad McGill, podía de esta forma lograr que un paciente, a voluntad, oyese fragmentos musicales evocando escenas de su niñez.

Esta clase de descubrimientos le tientan al científico a suponer que el cerebro contiene una impresión perfecta e indeleble de todas las sensaciones que recibe. Todas las memorias son de largo plazo, pero se ven obstruidas a menos que se evite con la continuada repetición. (En cuyo caso, los prodigios poseerían un mecanismo de obstrucción imperfecto.)

Para Sigmund Freud y sus seguidores, esta obstrucción de la memoria no es automática ni mecánica, sino que entraña un proceso activo, aunque sea inconsciente. Los recuerdos individuales se olvidan por algún motivo; por ser tristes, penosos, embarazosos, humillantes, porque atraen el castigo, porque no encajan con un plan de vida elegido. Se trata del proceso de «represión».

Esta represión no es perfecta, y algunos analistas sugieren que la neurosis es el resultado de la imperfección en el acto de olvidar. Lo que la mente querría olvidar se recuerda inconvenientemente, y ha de ser enmascarado, a menudo de forma irracional (como en la neurosis). La cura de la neurosis depende, según Freud, en sacar a luz la memoria a través de la libre asociación, del análisis de los sueños, o mediante otras técnicas. Una vez se pone al descubierto la memoria, puede ser tratada racional y no neuróticamente.

No todos los psiquiatras, no obstante, pertenecen a la escuela freudiana, y es posible argüir que el olvido no es siempre una represión penosa. Si el cerebro es un instrumento perfecto de la memoria, para la supervivencia es necesario un olvido selectivo. Si un individuo recordase todos los números de teléfono vistos u oídos, qué difícil resultaría acertar con el que desea, entre los otros más triviales que ya nunca se necesitan.

En efecto, ¿cuál es el mecanismo del recuerdo? Muchos recuerdos permanecen, aun después del olvido selectivo. ¿Cómo elige el individuo en su mente un recuerdo entre todos los demás similares?

Volviendo a personalizar, poseo una memoria bastante buena en relación con los nombres y

las fechas históricas. Si me preguntan cuándo falleció la reina Isabel II contestaré que en 1603 sin pausa perceptible, y diré que en 336 antes de Cristo, si la pregunta es la fecha en que fue asesinado Filipo de Macedonia. Ignoro cómo recuerdo estas fechas. Las cito sin esfuerzo visible, y no conozco ningún sistema especial en mi cerebro.

La dificultad de determinar en qué lugar del cerebro se concentran los ciclos de corriente de la memoria, de intentar seguirlos una vez localizados y, además, descubrir los que acaso existan, son problemas de primera magnitud. ¿Es posible, entonces, pasar el ataque a otra zona, de la fisiología y las células a la química y las moléculas? En 1874, el biólogo inglés T. H. Huxley sugirió que existía una molécula clave por separado, en el cerebro, por cada recuerdo en particular. El paso de las células, que al menos pueden ser visibles, a moléculas, invisibles, no es, en realidad, una dificultad insuperable. Se parece al cuento del médico que le recetó al paciente de un resfriado que se duchase con agua fría y se sentase en una corriente de aire.

- ¡Pero, doctor -exclamó el enfermo-, esto hará que mi constipado se convierta en una pulmonía!

- Exactamente -asintió el médico-, y nosotros sí podemos curar las pulmonías.

Por el año 1950, los bioquímicos se mostraron altamente confiados en que cierto compuesto muy intrincado llamado ácido ribonucleico (abreviado usualmente como ARN) se hallaba mezclado en la fabricación de las proteínas. Esto casaba muy bien con anteriores descubrimientos, según los cuales el ARN estaba presente, en alta concentración, en las células que fabricaban cantidades inusitadas de proteínas. Entre las mismas, se hallaban células que crecían y se multiplicaban, y otras que producían grandes cantidades de secreciones ricas en proteínas.

Sin embargo, y de forma extraña, la célula más rica en ARN era la cerebral, y las células cerebrales jamás crecen, se multiplican ni producen secreciones. ¿Por qué, entonces, todas tenían ARN?

Un neurólogo sueco, Holger Hyden, atacó este problema en la Universidad de Gothemburgo. Desarrolló técnicas que podían separar las células cerebrales y analizar su contenido de ARN. Experimentó con ratas colocadas en condiciones en las que se veían obligadas a aprender nuevas habilidades, por ejemplo, haciendo equilibrios largo tiempo sobre un alambre. En 1959, descubrió que las células cerebrales de las ratas se veían obligadas a aumentar su contenido de ARN hasta un 12 por ciento más que el de las ratas existentes en condiciones normales.

Esto implicaba que el ARN se halla relacionado con el aprendizaje, y por tanto, con la memoria (sin la cual, es imposible aprender). Pero, ¿es esto concebible? Concediendo que una serie de cien mil millones de células pudiesen incluir ciclos de corriente en cantidad suficiente para retener los recuerdos de toda una vida, ¿cómo sería posible apretujarlos dentro de la estructura de una sola molécula?

La molécula de ARN se compone de una larga cadena de cuatro unidades estrechamente relacionadas, aunque sensiblemente diferentes. Cada punto de esta cadena puede ser una de las cuatro unidades A, B, C o D. Dos unidades contiguas pueden ser cualquiera de las 4 x 4, o dieciséis, combinaciones diferentes de dos unidades: AA, AB, AC, AD, BA, BB, BC, BD, CA, CB, CC, CD, DA, DB, DC o DD. Estas unidades contiguas pueden ser cualquiera de las 4 x 4 x 4, o sesenta y cuatro combinaciones diferentes, y así sucesivamente.

El posible número de combinaciones se eleva a una cantidad enorme. Una molécula de ARN compuesta solamente de veinticinco unidades puede poseer cualquiera de mil millones de combinaciones diferentes, si cada unidad molecular puede ser cualquiera de las cuatro clases diferentes. Eso significa que si cada sensación diferente experimentada por un ser humano en el transcurso de su existencia fuese «archivada» en su cerebro como una combinación de unidades ARN diferente, bastaría para tal tarea una molécula de veinticinco unidades.

Pero las moléculas de ARN contienen muchos centenares de unidades y no sólo veinticinco. Por tanto, no hay duda de que la molécula de ARN representa un sistema de archivo completamente capaz de manejar cualquier cantidad de enseñanza y de recuerdos que pueda contener el ser humano... y aún un billón de veces más.

Supongamos que dibujamos una especie de «memoria ARN». Todas las células pueden fabricar rápida y fácilmente moléculas de ARN, pero las células ordinarias sólo pueden prepararlas en una variedad limitada, a fin de realizar ciertas tareas también limitadas. ¿Y si las

células cerebrales pueden prepararlas en series ilimitadas de combinaciones? Cada sensación diferente podría provocar la producción de una molécula de ARN ligeramente diferente. Y el uso de tal molécula en el futuro podría hacer regresar la sensación asociada como un recuerdo.

Hyden descubrió que el ARN, en sus ratas estimuladas para el aprendizaje, cambiaba de naturaleza lo mismo que aumentaba su producción. Cambiaban los promedios de las cuatro unidades diferentes, aunque las ratas, al formar nuevas combinaciones, utilizaban las diferentes unidades en proporciones distintas de las requeridas ordinariamente.

¿Cómo responde una célula cerebral a una sensación formando una molécula de ARN? ¿Forma cualquier combinación al azar y dicha combinación es «asignada» al recuerdo de la sensación particular que provocó su formación? Si tal fuera el caso, ¿no podría formarse una molécula de ARN ya formada en otra ocasión, confundiendo de este modo los recuerdos? La respuesta a esta última pregunta es: probablemente, no. El número de combinaciones posibles es tan enorme que las probabilidades de un duplicado por casualidad son virtualmente nulas.

No obstante, también cabe la posibilidad de que sea fija la combinación ARN para una sensación particular; que dicha sensación particular dé lugar a la misma molécula ARN en cada ser humano, en cada ser vivo.

La posible elección entre estas alternativas surgió de la labor de James V. McConnell, en la Universidad de Michigan. Experimentó con gusanos planos (planarias), de unos cuatro centímetros de longitud. Los expuso a un rayo de luz y después a un shock eléctrico. De este modo quedaron condicionados, aprendiendo que después del rayo de luz venía el shock eléctrico, y presumiblemente formaron nuevas moléculas ARN para ocuparse de este nuevo aprendizaje, de este nuevo recuerdo.

Esas planarias fueron seleccionadas y dadas como alimento a otras sin entrenar, que después quedaron expuestas al mismo proceso. En 1961 McConnell informó que las planarias no entrenadas que comían secciones de las entrenadas aprendían a reaccionar más de prisa por efecto de la luz que las ordinarias. Se habían incorporado las nuevas moléculas ARN de su alimento y «habían comido memoria».

Esto significa que una molécula ARN particular se halla unida a una sensación particular. Las combinaciones moleculares no se eligen al azar, puesto que la molécula ARN formada por la planaria 1 en respuesta a ciertas sensaciones, «tenía sentido» para la planaria 2.

Alian L. Jacobson, que colaboró con McConnell, continuó dichos experimentos en la Universidad de Chicago. Si una planaria se come a otra, es difícil decir qué molécula de la comida se utiliza. ¿Por qué, entonces, no extraer ARN de planarias condicionadas e inyectarlo sólo a las no condicionadas? Esto también daría el mismo resultado. Se inyectó el condicionamiento junto con el ARN naturalmente.

¿Por qué limitarse a las planarias? (Algunos investigadores afirmaron que la respuesta de una planaria era tan difícil de observar que nadie podía asegurar cuáles estaban condicionadas, o si lo estaban en absoluto.) Jacobson condicionó ratas y conejillos de indias, que respondían al sonido de un chasquido o al rayo de luz, acudiendo al comedero. Una vez condicionados eran matados y se inyectaba el ARN del cerebro a otros animales no condicionados. Los animales que recibían tales inyecciones resultaban más fáciles de adiestrar, ya que poseían una parte del necesario ARN que precisaban formar. De modo interesante, la inyección servía asimismo de una especie a otra, de manera que una rata se beneficiaba si se le inyectaba ARN de un conejillo de indias.

Cuando se publicaron los resultados de la labor de McConnell con las planarias, se produjeron algunas bromas y chistes (y ojalá fuesen sólo bromas) respecto a que si un estudiante se comía a un profesor ingería también todos sus conocimientos.

También existen otras alternativas. Tal vez serviría de ayuda cualquier suplemento de ARN... como material crudo adicional. Se ha afirmado que una inyección de ese ARN no condicionado ha producido mejorías en la frontera de la habilidad de aprender.

Bien, ¿por qué no alentar al organismo a formar mayores cantidades de ARN por sí mismo? Cierta droga llamada *Cylert* (su nombre químico es pemolina de magnesio) aumenta la producción de ARN del 35 al 40 por ciento. Si se emplea con ratas, mejora notablemente su condicionamiento.

Se han efectuado, con gran cautela, esta clase de experimentos en seres humanos, específicamente en pacientes que padecían senilidad prematura. El doctor Ewen Cameron, del

Centro Médico de Albany, informó que al menos 17 de cada 24 pacientes presentaban señales de mejoría.

Existe, pese a todo, una declaración publicada el 5 de agosto de 1966, en un ejemplar de *Ciencia*, a cargo de un grupo de científicos de ocho laboratorios diferentes que aniquila la euforia de estos resultados positivos. Todos sus intentos de transmitir el condicionamiento junto con el ARN de unas ratas adiestradas a otras sin entrenamiento fracasaron absolutamente.

Sin embargo, esto no debe desesperar ni desesperanzar o confundir a los que aguardan o ansían adelantos sorprendentes. Los científicos se encuentran a medio camino en este aspecto de la investigación, aspecto tremendamente sutil y difícil. Generalmente, diferentes laboratorios llevan a cabo experimentos complicados con variaciones que parecen carentes de importancia, si bien podrían resultar vitales cuando se conozcan todos los factores. La medicación de la habilidad de aprender es, además, un proceso especialmente engañoso, pues lo que un investigador cree enseñanza, a otro no se lo parece.

Ciencia lo expresó de esta forma: «El fracaso en reproducir los resultados no es, al fin y al cabo, extraordinario en las prístinas fases de una investigación cuando todavía no se han especificado todas las variables relevantes.»

Los resultados negativos no indican necesariamente que el ARN no se halle relacionado con el mecanismo de la memoria, o que la misma no pueda ser transmitida. Indica, eso sí, que la técnica de tal transmisión aún no ha sido perfeccionada, lo que, en esta fase tan temprana del juego, no es sorprendente.

No es posible considerar en sí mismas a las moléculas de ARN. Proceden de algún sitio. Se sabe, por ejemplo, que las moléculas específicas de ARN se forman como copias de otras similares, pero más complicadas, llamadas ADN, en el núcleo celular. Se ignora si se forman combinaciones de ARN recientes dentro de la célula, y muchos científicos dudan que las sensaciones recibidas puedan formar moléculas ARN directamente.

Las moléculas ADN constituyen los genes, o unidades de la herencia, y éstas se transmiten de padres a hijos mediante un mecanismo muy complicado aunque efectivo.

Cada célula contiene una larga cadena de moléculas ADN, y cada parte de tales moléculas puede producir una copia ARN de una estructura determinada. Tal vez algunas moléculas ADN sirvan de modelo desde el principio, y a través de ellas, las células pueden formar los tipos ARN que necesitan para el funcionamiento ordinario de su maquinaria química.

Otras partes de las moléculas ADN quizá se hallan bloqueadas desde el principio. Entonces, una sensación dada podría servir para desobstaculizar una sección especial de las moléculas ADN, formándose una molécula ARN semejante a la sección no bloqueada.

Esto significaría que todo ser humano lleva consigo un gran depósito de posibles memorias, un «banco de recuerdos», en la molécula ADN con que ha nacido, un depósito suficiente para cuidarse de todas las contingencias razonables. La naturaleza de este «banco de recuerdos» sería semejante entre individuos de una especie o de varias especies estrechamente vinculadas entre sí. Esto haría comprensible por qué una molécula ARN que produce un recuerdo particular en un individuo, provoca otro recuerdo similar en otro, y por qué las enseñanzas aprendidas pueden transmitirse.

Si el ARN no es el principio, tampoco es el final. La principal función de las moléculas ARN, por lo que sabemos, es llevar información a las moléculas de proteínas. Cada molécula diferente de ARN está implicada en la formación de una molécula diferente de proteína. ¿Sería posible que fuese la molécula proteica y no la ARN la que verdaderamente se hallase relacionada con la función de la memoria?

Una forma de comprobarlo es utilizando una droga llamada puromicina. Esta interfiere con la maquinaria química, por medio de la cual la célula produce proteína mediante el ARN, pero no afecta a la formación de éste.

Louis B. Flexner y su esposa Josepha, llevaron a cabo experimentos con puromicina en la Universidad de Pennsylvania. Primero, condicionaron ratones de un grupo simple enseñándoles a seguir el Camino A para evitar un shock. A los ratones así condicionados se les inyectó puromicina y pronto olvidaron lo que habían aprendido. La molécula ARN seguía presente, pero no podía ya formarse la molécula clave de proteína. (Una vez desvanecidos los efectos de la puromicina, los ratones pudieron volver a ser adiestrados.

La pérdida de la memoria dependía del momento en que se había inyectado la droga. Si los

Flexner esperaban más de cinco días, la puromicina no inducía al olvido. Era como si se hubiese formado algo permanente; como si la memoria a corto plazo se hubiera trocado en otra a largo plazo, y sólo la primera pudiera verse afectada por la puromicina.

Otro ejemplo se refería al aprendizaje invertido. Después de haber aprendido el ratón a seguir el Camino A para evitar el shock, lo recibía de repente cada vez que se internaba en dicho Camino A. Una vez el ratón había aprendido esta función inversa, se le inyectaba puromicina. La memoria del Camino B, aún de corto plazo, quedaba borrada, y no quedaba afectada la memoria de largo plazo del Camino A. El ratón volvía a seguir este último Camino.

Todo esto puede estar relacionado con los ciclos de corriente mencionados al principio de este capítulo. Supongamos que el ARN forma proteínas, éstas contribuyen a la formación de nuevas dendritas o, tal vez, a la activación de las antiguas. Si éste es un efecto gradualmente fortalecedor, durante los primeros días los nuevos ciclos son débiles y pueden cortarse con facilidad si queda interferido el flujo de una proteína específica con, por ejemplo, inyecciones de puromicina. Eventualmente, las dendritas se alargan hacia el punto donde el ciclo de corriente es firme e intenso, y no requiere más proteínas. Después de esto, la puromicina no ejerce ningún efecto.

Pero esto implica que la memoria a corto plazo se convierte en otra de largo plazo. ¿Y cuando es a la inversa?

Jacobson (que transmite ARN de un ser vivo a otro) condicionó unas planarias y después invirtió este condicionamiento. Transmitió el nuevo ARN a otras planarias y descubrió que había transmitido la tendencia al condicionamiento, pero no al condicionamiento invertido.

Es posible, por tanto, que cuando se obliga a una planaria a olvidar lo que ha aprendido, las moléculas ARN formadas en el proceso no se eliminan, sino que únicamente quedan bloqueadas de alguna manera. Si sólo se transmite el ARN y no el agente obstructor (sea cual sea), sólo se transmite la memoria y no el olvido. Lo cual nos devuelve a la hipótesis de que toda la memoria es de largo plazo y que las células nerviosas pasan el tiempo disponiendo un mecanismo de olvido y no de recuerdo... *a la Freud*.

Toda esta labor sobre la memoria resulta muy excitante y alienta toda clase de esperanzas (y temores) para el porvenir. ¿Podemos mejorar nuestra memoria tomando pildoras? ¿Podemos aprender más de prisa y educarnos mejor mediante el estímulo químico? ¿Podemos llegar a ser más inteligentes? ¿Podemos ajustar las mentes, por medio de manipulaciones externas, a nuestras necesidades? ¿Podemos, por medio de nuestro esfuerzo, cambiar al Hombre en un Hombre Mejor? ¿O algunos decidirán que lo necesario es cambiar al Hombre en un Hombre Más Dócil?

Las consecuencias, en bien o en mal, no son inminentes. A pesar de todo el entusiasmo y la excitación de los últimos años, sólo nos hallamos en el primer tramo de un camino rocoso que se desvanece en el horizonte visible.

3. La gente hambrienta

Es tremendamente fácil sermonear a los que pesan demasiado. Se les puede asustar con la posibilidad de una muerte temprana, y ordenarles bruscamente que coman menos. Se les puede insinuar amablemente que realicen ejercicios especiales, como apartar la silla de la mesa a media comida o girar la cabeza vigorosamente a derecha e izquierda, cuando se les ofrece un segundo plato.

No hay nada tan sencillo, al parecer, como seguir tales consejos. Entonces, ¿por qué tanta gente aumenta de peso, aunque la gordura se considere incómoda, poco atractiva y peligrosa para la salud? ¿Qué le obliga a la persona gruesa a seguir comiendo? Existe la popular explicación de que la gordura es esencialmente un asunto de psicología. La gordura es de «origen psicogénico».

Si esto es verdad, las personas moderadamente gruesas que no padecen ningún grave trastorno hormonal, son víctimas de problemas de personalidad que les obliga a comer con exceso, en contra del consejo de los amigos y los médicos, y contra su propio sentido común y, a menudo, en contra de sus deseos conscientes.

Tal vez se vieron excesivamente protegidos y sobrealimentados de niños hasta que se estableció en ellos el hábito de comer, de manera irrevocable. Tal vez, por otra parte, se vieron rechazados y se aficionaron a la comida como compensación. Quizás el trauma del destete los indujo a buscar solaz en la comida. O quizá se vieron atrapados en un período de erotismo oral, del que ya jamás se liberaron. O, aún más complicado, quizá comían impulsivamente para ocultarse a sí mismos un deseo todavía más profundamente escondido de *rechazar* la comida y a la madre.

Ciertamente, a los psiquiatras no les faltan explicaciones y psicoanálisis que parecen ofrecer la posibilidad de una curación. Sin embargo, el creciente número de psiquiatras de las dos últimas generaciones no ha logrado derrotar con eficacia a la gordura. Al contrario, hay ahora más personas gruesas que antaño. A juzgar por los resultados, parece como si el abordarlo psicológicamente fuese un fracaso completo.

Hace unos años, dos investigadores de la Facultad de Iowa informaron sobre el intento de comprobar la teoría del origen psicogénico de la gordura. Estudiaron a más de un centenar de muchachas que asistían a escuelas rurales, dividiéndolas en las que eran gordas desde hacía al menos tres años, y las demás de peso normal.

Para demostrar que la teoría psicogénica era correcta, las chicas gordas hubieran tenido que presentar más señales de trastorno emocional que las de peso normal; sus calificaciones escolares habrían estado por debajo del promedio general, y hubiesen tenido que obtener muy malas notas en los análisis destinados a medir su estabilidad mental, sus actitudes sexuales, y demás.

Pero al realizar las comparaciones, las muchachas gordas no presentaron ninguna diferencia como grupo. Su escolaridad, su estabilidad, sus actitudes sexuales no se distinguían de las jóvenes más delgadas. En realidad, sólo hallaron una definida diferencia entre los dos grupos. Los padres de las gruesas eran, por término medio, bastante más robustos que los de las muchachas de peso normal.

Esto último no es sorprendente. Los primeros estudios de muchos casos han demostrado que sólo el 10 por 100 de niños de padres de peso normal engordan. Cuando uno de los padres es grueso, el 50 por 100 de los niños tiende a ser grueso. Si ambos padres lo son, el 80 por 100 de sus hijos comparte la misma tendencia.

Esto parece indicar que comer demasiado puede ser el resultado del ejemplo paternal. Y sin embargo, mellizos idénticos tienden a pesar lo mismo, aunque hayan sido criados por separado y se les hayan inculcado otros hábitos alimentarios.

Por tanto, existen buenas razones para mirar suspicazmente a los motivos hereditarios. Puede existir un impulso heredado en el conjunto físico del organismo que conduce a comer con exceso, y la causa predominante de la gordura puede ser fisiológica.

Algunos dietetistas lo reconocen y se quejan de que las causas fisiológicas se entorpezcan por la actitud popular hacia la gordura. Los que no son gruesos (y esto incluye a varios médicos y

dietetistas) suponen a menudo que el hábito de comer demasiado puede superarse mediante el simple uso de la voluntad.

El fracaso en ejercer la voluntad a este respecto es la «gula». Al fin y al cabo, descubrir una causa física conducente a la voracidad exonera al glotón..., lo cual le parece casi inmoral a mucha gente.

Sin embargo, es imposible prescindir de la fisiología.

Se ha reconocido y estudiado entre los animales la tendencia a la gordura, y es muy difícil que en los animales existan complicadas motivaciones psicológicas. Hay razas de ratas de laboratorio que, si se les permite comer libremente, lo hacen hasta alcanzar dos veces el tamaño de una rata normal (que come menos incluso cuando no se le coarta la comida). Esta tendencia a «engordar» se hereda y puede seguirse de generación en generación.

Nuestros animales domésticos están, en muchos casos, alimentados de tal forma que desarrollan, en algunas razas, la tendencia a engordar. El cerdo casero apenas es otra cosa que una máquina de engorde, sin parecerse casi en absoluto al jabalí, mucho más delgado, del que desciende. ¿Por qué no considerar asimismo los factores heredados que se relacionan con los seres humanos? ¿Por qué no indagar si entrañan algún funcionamiento defectuoso de la maquinaria orgánica? Todos sabemos que la ingestión de alimentos viene regulada por el apetito. Se come cuando se tiene hambre y se deja de comer cuando se tiene el estómago lleno. En la mayoría de individuos, estos reajustes automáticos funcionan lo suficientemente bien para mantener constantemente su peso (dentro de un 2 ó 3 por 100), de manera indefinida. Estas personas felices no necesitan preocuparse conscientemente de qué o cuánto comen. Su peso sabe cuidarse por sí solo.

Pero esto no le ocurre a todo el mundo. Hay otras personas que ganan peso constantemente si no prestan atención a su dieta. Para no aumentar de grasas han de realizar un esfuerzo consciente para restringir los alimentos, comiendo menos cada vez, llevando a veces una existencia desdichada por esta causa.

La persona cuyo apetito excede a las necesidades de su organismo puede encontrar un plano de gordura del que ya no varía mucho. Si gana peso, tiene que levantar, extender y mover esos kilos de más a cada paso que da y a cada movimiento que ejecuta. Eso significa el desgaste de más energía, pudiendo bastar para equilibrar su moderada gula. En otros casos, no obstante, una persona gruesa come más para compensar esta pérdida de energía, de forma que va ganando peso insensiblemente, hasta el momento en que decide hacer algo al respecto.

Esto tampoco es absoluto con respecto a la ingestión de alimentos. Una encuesta reciente realizada entre estudiantes demostró que la mayoría de los gordos comían mucho menos que los de peso normal. Pero se sentían más inclinados a estar horas y horas sentados ante el televisor, en tanto que los últimos dedicaban su tiempo libre a actividades más vigorosas.

La pérdida o ganancia de peso viene determinada por el equilibrio entre la ingestión de alimentos y el desgaste de energías. Entre las personas gruesas existe la tendencia a comer sólo un poco más de lo necesario para reponer la energía gastada, sea ésta poca o mucha. Y ese «poco más» forma la grasa.

Entonces, ¿no hay ningún fallo en el control del apetito de esas personas? Comparemos el control del apetito con el termostato de un calentador (en realidad, al control del apetito algunos dietetistas lo llaman «apestato»). Lo mismo que un termostato puede estar graduado para diferentes temperaturas (pudiendo, por tanto, quedar graduado para mantener una habitación demasiado caldeada para la buena comodidad), también es posible graduar un «apestato» a diferentes niveles. La persona cuyo «apestato» está graduado demasiado alto pertenece al grupo de los Hambrientos. Pronto tiene hambre y le dura mucho más, no tardando en engordar.

Eso es triste, ya que en algunos países consideran la gordura como signo de fealdad, y sabemos que es un peligro para la salud. Es cuatro veces más probable que la gente gorda contraiga la diabetes que la gente de peso normal, y casi dos veces que desarrollen dolencias cardíacas y circulatorias. En bien de la salud y la apariencia estética, tales personas han de intentar rebajar de peso usualmente mediante una dieta adecuada. Pero para la persona gruesa cuyo «apestato» está graduado muy alto, esto se convierte en una tortura. Para empeorar el asunto, su organismo compensa automáticamente la restricción de alimentos con la restricción de actividades, de modo que a pesar de la agonía que sufre pierde menos peso que una persona ordinaria con la misma cantidad de comida.

Una persona gruesa con una dieta rebaja manualmente el apestado. Tiene que mantener un dedo sobre el control constantemente, porque tan pronto como relaja la vigilancia el apestado vuelve a su posición anterior y el individuo sigue ganando peso. El mundo está lleno de personas gordas que habían adelgazado y han acabado por engordar nuevamente.

Es posible controlar el apestado mediante otros medios, aparte de la fuerza de voluntad. El individuo puede tomar píldoras que rebajan el apetito. También puede engañar al control comiendo muy lentamente, o varias veces, en pequeñas cantidades, durante el día. Hay trucos dietéticos como los que entrañan los alimentos con alto contenido en grasas y bajo contenido en hidratos de carbono, puesto que la grasa, al parecer, rebaja el apetito más de prisa y por períodos más prolongados que los hidratos de carbono. Pero haga lo que haga el individuo, una vez conseguido el peso requerido, si se prescinde del truco empleado para ello, la persona vuelve a recuperar su peso anterior.

Mas, ¿dónde se encuentra el apestado y cómo funciona? Parece hallarse localizado en la parte del cerebro llamada hipotálamo (ver Capítulo 1). Si el hipotálamo de un animal de laboratorio queda dañado química o quirúrgicamente, el apestado sube drásticamente. El animal empieza a comer vorazmente y engorda.

Respecto a cómo funciona el apestado, existe una gran controversia. Si sus cambios se hallan controlados, no por los trastornos personales, sino por influencias físicas y materiales, ¿qué tenemos? Una teoría desarrollada por Jean Mayer, fisiólogo de la Facultad de Medicina de Harvard, da lugar a una posibilidad muy interesante. Dicha teoría se refiere a la cantidad de glucosa en la sangre. La glucosa es un tipo de azúcar siempre presente en la sangre en pequeñas cantidades, y almacenada en el hígado como una sustancia semejante al almidón, denominada glicógeno. Las células orgánicas absorben la glucosa del fluido sanguíneo y la emplean para producir energía. A medida que se emplea la glucosa, en el hígado se produce más, procedente del glicógeno, y se vierte en la sangre sólo en la medida justa para compensar la que van absorbiendo las células. Cuando el ser humano realiza alguna actividad, las células absorben mayor cantidad de glucosa y, para compensar esto, el glicógeno del hígado se convierte de nuevo en glucosa, naturalmente, a más velocidad. Cuando el individuo está en reposo, las células usan menos glucosa, por lo que la conversión del glicógeno también se reduce. El resultado de estas operaciones es un equilibrio perfectamente controlado. Pero el equilibrio no siempre es perfecto. La glucosa de la sangre decrece lentamente durante el ayuno y aumenta cuando se ingieren alimentos. Mayer sugirió que esta variación afecta al apestado del hipotálamo. Las células del apestado se hallan constantemente comprobando el nivel de glucosa en la sangre. Cuando dicho nivel baja, el hombre siente apetito; cuando sube, desaparece la sensación de hambre.

Si se acepta la teoría de Mayer como una hipótesis plausible, hay que formular la siguiente pregunta: ¿Qué regula la cantidad de glucosa en la sangre y qué conserva tan perfectamente el equilibrio entre las tendencias opuestas de la formación y la absorción de la glucosa? Por lo que sabemos, este equilibrio está principalmente controlado por la actividad de dos hormonas producidas por unas células del páncreas. Una de éstas es una hormona muy conocida: la insulina. Ésta tiende a mantener bajo el nivel de glucosa, haciendo, por lo visto, que las células la absorban con más facilidad. Si por cualquier motivo, el nivel de glucosa amenaza con aumentar excesivamente, se produce más insulina, que es vertida al fluido sanguíneo. Como consecuencia de esta presencia de más insulina, las células absorben la glucosa con más rapidez y baja su nivel en la sangre.

La segunda hormona es el glucagón, que actúa de manera contraria. Tiende a conservar alto el nivel de glucosa, aparentemente alentando la conversión del glicógeno almacenado en el hígado en glucosa. Si el nivel de ésta es demasiado bajo, el páncreas entra en acción, produce glucagón, que convierte el glicógeno en glucosa, y ésta entra en el flujo sanguíneo, con lo que el nivel de aquélla vuelve a aumentar. Gracias a la actuación bien conjugada de ambas hormonas, el nivel de glucosa siempre es fijo, excepto por las fluctuaciones de orden menor empleadas por el hipotálamo para controlar el apetito.

Pero, ¿y si las hormonas salen fuera de control? A menudo, por desgracia demasiado a menudo, el organismo pierde su capacidad de formar insulina en la cantidad requerida. La tendencia a sufrir esta pérdida es una característica hereditaria, y la condición resultante se llama «diabetes mellitus».

Si se forma insulina en cantidad inferior a la normal, las células orgánicas no pueden absorber fácilmente la glucosa, y el nivel de ésta sube en la sangre, condición sumamente peligrosa para la salud. A pesar de esta elevación de nivel en la sangre, señala Mayer, las células del apestado sólo pueden absorber una pequeña cantidad de glucosa, puesto que hay poco suministro de insulina. Por tanto, se comportan como si la sangre presentara un nivel muy bajo de glucosa, y el apetito aumenta. Por este motivo, un diabético siempre tiene hambre y, si se le permite, come vorazmente. (Como utiliza la glucosa derivada de una alimentación ineficaz, pierde peso.) ¿Y el glucagón, la otra hormona que sirve para mantener fijo el nivel de glucosa en la sangre? Las inyecciones de glucagón provocan la elevación del nivel de glucosa en la sangre, con la consiguiente pérdida rápida de apetito.

Lo cual concuerda con la teoría de Mayer.

En este punto resulta tentador efectuar una especulación. Una disminución en la capacidad del organismo para formar glucagón, ¿podría mantener el nivel sanguíneo de glucosa demasiado bajo y, por tanto, conservar el apestado demasiado alto? ¿Acaso las personas que padecen de gordura son también las que presentan tendencia a tener un nivel bajo de glucagón? ¿Se trata de una tendencia hereditaria? En tal caso, ¿pierde el control con más facilidad la insulina cuando se descontrola también la producción de glucagón? ¿Es éste el motivo de que la gente gruesa sea más propensa a la diabetes que la de peso normal? ¿Es posible que la gordura pueda algún día controlarse mediante una terapia de hormonas, como se hace ya con la diabetes? A todas estas preguntas sólo podemos, por el momento, contestar con la ignorancia.

Pero sea cual fuere la respuesta, es inútil considerar a una persona gruesa como débil mental, retardada o simplemente glotona. Las recriminaciones, las amenazas, los sustos psicológicos, el análisis de los sueños, casi nunca ayudan, salvo temporalmente. Aunque la teoría de Mayer esté equivocada en algunos detalles, es casi seguro que en la gordura se halla mezclado algún mecanismo fisiológico que, es de desear, llegará a descubrirse y a comprenderse. En cuyo momento, podrá desarrollarse una terapia hormonal con que tratar la gordura, puesto que en realidad es solamente una enfermedad. Pero, ¿y mientras tanto? Existe un medio. La gente que desea perder peso lo conseguirá si comprende que, por encima de todo, necesita mucha paciencia. No deben jamás relajarse por completo y, para mantener el apestado bajo un control manual por tiempo indefinido es preferible que ejerzan sobre el mismo una presión sutil, no pesada.

Cierto, la persona gruesa puede emprender el espectacular procedimiento de una dieta estricta o un tratamiento gimnástico, sorprender con ello a sus amigos y entusiasmarse también ella con los resultados a corto plazo.

Mas, ¿con qué fin, si la fuerte presión sobre el control manual del apestado no ha de tardar en relajarse (usualmente muy pronto), y el organismo retomaré a su hábito de comer con exceso? Es mejor comer *un poco menos* a cada comida de lo que sugiera el impulso personal, y hacerlo constantemente. Añadir a esto un poco más de ejercicio o de actividad de lo que sugiera asimismo el impulso, y continuar haciéndolo de modo constante. Unas cuantas calorías menos a diario, y unas cuantas más consumidas, ayudarán a rebajar de peso, lenta, pero seguramente, y sin excesivo pesar.

Y con mejores resultados a largo plazo, puesto que con el tiempo una presión sutil sobre el apestado es fácil de mantenerla indefinidamente.

Al menos, una investigación extensiva demostró que si una persona gruesa puede mantener un peso normal durante seis meses al año, es probable que siga manteniéndolo por siempre. Una presión sutil sobre el apestado se convierte en una costumbre fácil de seguir.

Es la célebre frase, tan de moda: *lento pero seguro*.

Nota especial: Cuando redacté el capítulo anterior, hace ya algún tiempo, yo pesaba unos veinte kilos de más. Gozaba de perfecta salud, sin ningún síntoma de diabetes o trastornos circulatorios. Además, mi energía era normal, usualmente me hallaba de buen humor y no veía, por tanto, la menor razón para limitar mi placer digestivo.

Tras haber escrito este capítulo empecé a reflexionar.

Animado por quienes me aprecian, practiqué lo que había predicado. Eventualmente, perdí quince kilos. Actualmente, llevo ya dos años con este nuevo peso sin ningún esfuerzo. Naturalmente, estoy a dieta perpetua en el sentido de que como menos que en otros tiempos, y espero poder seguir haciéndolo, puesto que no es difícil.

Claro está, todavía me quedan cinco kilos de exceso.

Bien, después de releer este capítulo quizás haga otra prueba para intentar rebajar dicho exceso.

4. La sangre lo dirá

Llevamos en nuestras venas una enciclopedia personal que los médicos y los bioquímicos empiezan a saber leer. Todavía forcejean con los pasajes oscuros, pero todo lo que ya han descifrado ha servido para prolongar la existencia humana.

La sangre lo dirá, dice el antiguo proverbio, con una significación errónea. Puesto que lo que la sangre dice, de acuerdo con el significado de los tiempos pretéritos, se refiere a los modales y la crianza, el valor y la honradez... o al revés; en resumen: todo aquello determinado por la enseñanza y el ambiente, y no por la herencia.

Fue al alborear el siglo xx cuando el verdadero código de la sangre empezó a ser desvelado por la investigación. La sangre lo dirá, siempre, según se ha averiguado, si se le hacen las preguntas adecuadas.

En 1901 se descubrió que existen cuatro tipos principales de sangre. Estos tipos no presentan señales externas. Nadie puede decir, sólo mirando a otra persona, o estudiando alguna parte de su cuerpo, aparte de la sangre, a qué tipo pertenece.

La diferencia que nos muestra la sangre es ésta: cuando se mezclan diferentes tipos de sangre, las células de una de las muestras se agrupan en una masa pegajosa.

Esto no ocurre nunca si se mezclan dos muestras sanguíneas del mismo tipo.

Es interesante observar este agrupamiento en el tubo de ensayo. Sin embargo, en las venas de un ser humano este agrupamiento puede ser fatal, porque los coágulos de células rojas obstruyen los capilares vitales de los riñones, el corazón o el cerebro.

Al menos, ésta fue la respuesta a los versátiles resultados que acompañaron todos los intentos de transfusión sanguínea antes del siglo xx. De vez en cuando, a lo largo de toda la historia de la Medicina, algún médico ha intentado remplazar una pérdida de sangre con la introducción de la sangre de un donante en las venas del enfermo. En algunas ocasiones, esto ha ayudado al paciente; pero con más frecuencia lo ha matado.

En el siglo xx, la transfusión se ha convertido ya en una rutina segura. Sólo es necesario utilizar la sangre de un donante del mismo tipo sanguíneo que el del enfermo o, a lo sumo, de otro tipo de sangre compatible con el primero.

Los tipos sanguíneos se heredan de acuerdo con una norma fija, de modo que la sangre no sólo dice las posibilidades de una transfusión, sino también sobre el parentesco.

Así, un hombre y una mujer, ambos del tipo A, no pueden tener un hijo del tipo B. Si dicho hijo muestra sangre del tipo B, sólo caben dos posibilidades: o que el niño haya sido cambiado inadvertidamente en la clínica maternal, o que el marido no sea el padre verdadero. No importa que los diversos parientes afirmen que el niño tiene la barbilla y la nariz del padre. Esto es posible, pero por pura coincidencia. La sangre dice la verdad, y jamás miente. (Aunque sea posible, y lo admito, que los técnicos se equivoquen al analizar un tipo de sangre.) También se esconden en la sangre las relaciones de carácter más amplio. Por ejemplo, un tipo de sangre llamado *Rh negativo* se presenta en un número muy apreciable de europeos y entre sus descendientes de otros continentes. En cambio, apenas aparece entre los nativos de Asia, África, Australia y ambas Américas.

En Europa, la incidencia de este tipo sanguíneo es alta entre los vascos de los Pirineos españoles, donde un tercio de la población es *Rh negativo*. Por tanto, es posible que los vascos representen a un estrato muy antiguo de la población europea, sumergida por una oleada posterior de inmigrantes de Asia o Norte de África, que desde hace miles de años son «los europeos modernos».

Que los vascos son el último vestigio de los «antiguos europeos» viene indicado por el carácter de su lenguaje, que no está relacionado con ningún otro de la Tierra, y por su sangre.

En realidad, el promedio de cambios de los diferentes grupos de sangre se ha empleado para seguir las emigraciones del pasado. Una marea de tipo B retrocede lentamente a medida que se viaja hacia el Oeste a través de Europa, desde los Urales hacia el Atlántico, lo cual señala el paso de los invasores asiáticos, como los hunos y los mongoles, puesto que el porcentaje de tipo B es mayor en Asia Central. También pueden seguirse en la sangre de su población las invasiones de Australia desde el Norte, y de Japón desde el Oeste.

No obstante, si únicamente utilizamos los principales tipos sanguíneos, los que tienen importancia en la transfusión, para tales propósitos, los limitamos a una técnica muy pobre. Dichos tipos se extienden demasiado ampliamente y los promedios de uno a otro difieren por un margen muy estrecho. Por fortuna, en esta última mitad del siglo se han descubierto muchos tipos de sangre adicionales. Ninguno de éstos tiene importancia en las transfusiones, pero todos son claramente definidos y se heredan de acuerdo con una norma fija.

Hasta hoy día se han identificado más de sesenta tipos sanguíneos. El número de combinaciones posibles entre los mismos que pueden existir en un ser humano (incluso concediendo que algunos de tales tipos no son muy corrientes), se calcula en 1.152.900.000.000.000.000.

Esta cantidad es cuatrocientos millones de veces mayor que la población total de la Tierra. Es, por tanto, muy probable que un laboratorio equipado para analizar todos los posibles tipos sanguíneos (y por desgracia, no existe ninguno aún en estas condiciones), pudiera diferenciar la sangre de cualquier ser humano de la de otro..., salvo en el caso de mellizos idénticos.

Potencialmente, pues, cada individuo lleva consigo de manera constante su tarjeta de identidad. Una vez analizado completamente el grupo sanguíneo, todo ser humano queda debidamente «fichado» y controlado.

Como resultado de un análisis completo, las relaciones, en el estricto sentido de la paternidad, o en el más amplio de las emigraciones tribales, podrían ser precisadas detalladamente. Esos problemas relativos a las emigraciones de los polinesios o a la ruta seguida por los indios para penetrar en América, quedarían solucionados al punto.

(Los antropólogos interesados en tales emigraciones, no obstante, deben apresurarse a realizar tales deducciones. El automóvil apresuró la mezcla de las personas dentro de las naciones, y actualmente el avión a propulsión introduce una mayor facilidad de movimientos y desarraigados a escala intercontinental. Si este progreso continúa, la historia de las emigraciones tal vez dentro de unas generaciones será algo que sólo pertenecerá al pasado.) En esencia, todo esto significa que, al menos potencialmente, la sangre puede decirnos exactamente quiénes somos.

Sería interesante que, además, pudiese decirnos *qué* somos. Supongamos, por ejemplo, que pudiera decirnos si estamos sanos o enfermos, y en este último caso, hasta qué punto y de qué modo. Aún sería más fascinante que pudiese predecir el futuro y decir si somos propensos a enfermar y, en tal caso, de qué forma.

Repito que, al menos en potencia, la sangre puede decir todo esto. A las debidas preguntas puede dar las más acertadas respuestas.

Naturalmente, no se trata de un asunto de mera curiosidad, como si fuéramos un pueblo primitivo deseoso de consultar una bola de cristal. Todos somos propensos a las enfermedades, y cuanto más sepamos a este respecto, más fácil nos resultará impedir su progreso o incluso cambiarlo. Mejor aún, podríamos prevenir las enfermedades, en primer lugar.

Es regla de carácter general que cuanto antes se detecta una enfermedad, más fácil es de curar. Toda enfermedad, si progresa bastante, produce síntomas visibles, de lo contrario no se reconoce como tal enfermedad. Pero el organismo lucha ferozmente para conservar su equilibrio contra el comienzo de una enfermedad, y cuando los síntomas son visibles, el organismo ha perdido ya la batalla, al menos por el momento. Por tanto, para su mejor tratamiento, habría que descubrir una enfermedad antes de la aparición a simple vista de los síntomas.

Bien, cada fase de las actividades orgánicas, tanto en salud como en enfermedad, se refleja en la compleja química de la sangre. Por tanto, volvamos a ella. Y tomemos como ejemplo la diabetes.

El diabético avanzado pierde peso a pesar de comer vorazmente (ver Capítulo 3); y ha de beber y orinar copiosamente. Está torturado por granos y sarpullidos, y una cantidad de trastornos más graves aunque menos observables. Cuando ocurre tal cosa, el diabético está ya muy mal y fuera de toda ayuda.

La diabetes es una enfermedad provocada por la falta de la hormona insulina. Ésta controla el nivel de concentración de la glucosa, que es una forma del azúcar, en la sangre. Cuando decrece la producción de insulina, la concentración de glucosa se eleva hasta que una parte de la misma se vierte en la orina. Detectar los primeros signos de glucosa en la orina sirve para probar la existencia de la diabetes antes de que el paciente llegue a los últimos extremos.

Pero entonces ya es demasiado tarde, en el curso de la dolencia, para conseguir un cierto bienestar. Es posible analizar directamente la sangre y ver si la concentración de glucosa, aunque todavía no lo bastante elevada para verterse en la orina, se halla por encima de lo normal.

Mejor aún, es posible poner bajo tensión los aparatos químicos del cuerpo que se ocupan de la glucosa. Entonces podemos observar si el organismo, aunque todavía capaz de controlar el nivel de glucosa en condiciones ordinarias, mostraría signos de fallo en una emergencia. Si el organismo presenta tales signos, habremos descubierto la diabetes en sus comienzos.

Esto se logra mediante un «ensayo de tolerancia de la glucosa». Al paciente se le administra como bebida una gran dosis de solución de glucosa, y se analiza antes y después su sangre varias veces.

La glucosa es absorbida rápidamente por el intestino, y llega a la sangre. Como resultado, la concentración de glucosa aumenta al momento. En respuesta a tal elevación, no obstante, se produce insulina en cantidad mayor de lo normal y la concentración de glucosa desciende a su justo nivel en poco tiempo. En los individuos normales, la concentración de glucosa es de unos 100 miligramos por 100 mililitros de sangre. Unos cuarenta y cinco minutos después de tomar una comida con glucosa, esta cifra se eleva el doble, si bien al cabo de una hora ya ha descendido al nivel normal.

Si la cifra aumenta marcadamente por encima del doble después de comer y tarda varias horas en volver al estado normal, ello significa que el organismo tiene dificultades en producir insulina en cantidades de emergencia y que, por tanto, existen algunas probabilidades de que se presente la diabetes. Cuando se detecta la enfermedad en esta fase, una dieta razonable y un régimen de ejercicios adecuado pueden mantener la normalidad por tiempo indefinido. Entonces, puede evitarse el uso de las inyecciones de insulina.

Un segundo ejemplo podría referirse a la glándula tiroides, que controla el promedio a que se «desgasta» la maquinaria química del organismo. A esto se le llama «promedio metabólico basal», o BMR. Hasta hace unos años, la forma de medir el BMR consistía en hacer que el paciente respirase por un cilindro de oxígeno, y el promedio a que se consumía dicho oxígeno era la medida aproximada del BMR. Pero la glándula tiroides produce ciertas hormonas que controlan el BMR. Éstas contienen átomos de yodo que son transportados al resto del cuerpo.

Tan pronto como se inventó el método para determinar el «yodo unido a las proteínas» (PBI) de la sangre, la prueba, mucho más lenta, del cilindro de oxígeno quedó descartada. Una pequeña punción, y la sangre habla.

Las enfermedades del riñón, como la diabetes, son fáciles de detectar cuando se hallan muy avanzadas. Al comienzo, es preciso algo que ayude a detectarlas. Bien, la función primordial de los riñones es filtrar los residuos de la sangre, el más importante de los cuales es la urea.

No es difícil medir la concentración de urea en la sangre, y cuando la misma supera el nivel normal, el riñón puede empezar a fallar..., tal vez a tiempo todavía de poder curarse.

El hígado es la fábrica química más atareada del organismo y su buen funcionamiento es crucial para la existencia. Pero todas las sustancias sumamente necesarias que fabrica han de ser distribuidas por la sangre, y según el aumento o disminución de concentración de aquéllas, es posible averiguar la historia exacta de los fallos hepáticos. La ictericia es una condición, por ejemplo, en que un pigmento amarillo llamado bilirrubina se concentra anormalmente en la sangre. Ello puede deberse a un trastorno de las células rojas de la sangre que, al descomponerse con excesiva rapidez, forman cantidades anormales de bilirrubina. O puede deberse a un trastorno hepático, al estar el hígado bloqueado y no poder verter la bilirrubina al intestino, como es normal, debiendo en cambio verterla a la sangre. Comprobando la cantidad de bilirrubina mediante dos métodos químicos distintos, el bioquímico puede al momento saber si el trastorno se debe a la sangre o al hígado.

Si bien la sangre es un libro abierto, es, no obstante, un libro complicado. Los bioquímicos pueden detectar cualquiera de las diversas docenas de sustancias de la sangre, y una variación en la concentración de cualquiera de ellas puede ser sintomática de cierto número de enfermedades. Una elevación del nivel de una de las proteínas amilasas puede pregonar una pancreatitis; el aumento de otra denominada fosfatasa básica puede indicar un cáncer óseo; la elevación del nivel de la fosfatasa ácida puede ser sintomática del cáncer de la próstata. Cierta proteína transaminasa puede, con una concentración excesiva, indicar una dolencia cardíaca. La

elevación del nivel de cierto tipo de sustancias grasas convierte en posibilidad la arterioesclerosis. Y hay docenas de estos ejemplos.

Ningún análisis es la indicación clara de una enfermedad, pero cada uno estrecha el campo de las posibilidades, y una combinación de análisis puede considerarse como seguro. Gracias a ellos, el médico sabe en qué dirección mirar, cuando el paciente todavía no presenta síntomas visibles de una enfermedad dada y cuando el tratamiento puede ofrecer aún grandes esperanzas de curación o, al menos, la detención del progreso de la dolencia.

¿Qué nos reserva el futuro? Existen muchas razones para pensar que el valor de la sangre como instrumento diagnosticador seguirá en aumento. Desde la Segunda Guerra Mundial, se han inventado constantemente nuevas técnicas para analizar mezclas cada vez más complejas con mayor precisión. Ahora es posible ya separar los componentes de la sangre con mayor certidumbre.

Pero no todas las variaciones de la composición de la sangre son de orden patológico. Los grupos sanguíneos son un buen ejemplo de esto. Por lo que sabemos, una persona del grupo A es tan normal como otra del grupo B, siendo probable que viva una existencia tan larga y sana como la segunda. Pero los dos individuos son igualmente diferentes, y cuando se trata de una transfusión hay que tener en cuenta dicha diferencia.

Puede haber otras diferencias dentro de los límites de la normalidad, que requieren ligeras gradaciones de tratamiento. Por ejemplo, una de las funciones primordiales de la sangre es la de suministrar a las células las sustancias necesarias para fabricar los tejidos. Las principales necesidades son veinte compuestos estrechamente relacionados entre sí llamados *aminoácidos*. Éstos pueden darse por separado o estar combinados en unas moléculas gigantes, que son las proteínas. La composición de los aminoácidos de la sangre de un individuo puede tener suma importancia en su tratamiento clínico (ver Capítulo 5).

Tal vez el siglo venidero nos mostrará la bioquímica humana, como un asunto verdaderamente individual. La sangre de una persona no será ya solamente su tarjeta de visita, sino que constituirá una ficha de su historia pasada, presente y futura.

El Sherlock Holmes del porvenir será el técnico sanguíneo. Es posible incluso imaginar una época en que el análisis sanguíneo será perfeccionado mediante el empleo de microanálisis, tal vez con ordenadores, en que una sola gota de sangre bastará para retratar al individuo, como la cartulina de la balanza automática. Dicha tarjeta no dirá si el individuo en cuestión conocerá a una rubia despampanante o si ha de realizar un crucero en un próximo futuro. En cambio, aconsejará la dieta a emplear, prevendrá respecto a los peligros que amenacen la salud del analizado, y de los pequeños desajustes de la máquina orgánica que, al ser ignorados, pueden convertirse en graves.

Para nuestros nietos, la información conseguida por medio de una gota de sangre podrá ser la clave de una existencia sana y prolongada.

5. El tú químico

Damos por descontado que no existen dos personas exactamente iguales. Un niño no tiene dificultad en reconocer a su madre, y un adolescente asegura que ninguna otra mujer se parece a su amada. Incluso los mellizos idénticos presentan ciertas diferencias. Y lo que es aparente a nuestro sentido de la vista lo es al olfato del perro. Pero el aspecto sólo se halla a flor de piel, dijo el poeta. Y también el olor, según los anuncios de la televisión. ¿No podemos profundizar un poco más? ¿No hay diferencias en las funciones internas del organismo que resulten aparentes en el mundo fríamente imparcial del tubo de ensayo del químico? En realidad, todos nosotros utilizamos la hemoglobina para absorber el oxígeno, y ciertas para producir energía. Todos poseemos pulmones, corazón y riñones. Podemos alimentarnos con la misma comida, sufrir las mismas enfermedades, y todos terminamos en la muerte. Pero hay algo más.

En el capítulo anterior ya examinamos el papel de la sangre en la individualidad química del ser humano... Bien, pasemos más adelante.

En las dos primeras décadas de este siglo, un médico inglés llamado Archibald E. Garrod, estudió la pauta del metabolismo de los seres humanos. Estudió la secuencia de las reacciones químicas por las que el organismo descompone los alimentos para obtener energías y fabricar los tejidos. Y halló casos de personas que carecían de la capacidad de ejecutar una u otra reacción, a veces con resultados catastróficos (ver un ejemplo en el Capítulo 9).

Esos errores químicos acompañan al individuo desde el nacimiento. El equipo, o la falta del mismo, con que el individuo debe conducir su química interna es suyo desde el principio (al menos, en potencia, ya que en algunos casos la deficiencia sólo se observa más adelante). Garrod se refirió a las desviaciones de lo que parecía un metabolismo normal, como «errores innatos del metabolismo».

Naturalmente, los más fáciles de ver son los que producen enfermedades graves como la diabetes (ver Capítulo 4); o los síntomas espectaculares, como los de la relativamente inofensiva alcaptonuria, en que la orina, en ciertas condiciones, se torna negra.

Comprendiendo que los mecanismos químicos dentro de las células son altamente complejos, Garrod presintió que podía existir cualquier número de desviaciones que no producían síntomas espectaculares ni peligrosos. Dicho de otro modo: cada individuo podía seguir una senda química distinta de los demás, sin perjudicarse. Desde este punto de vista, todos somos individuales no sólo en el aspecto, sino en la parte química.

Fijémonos en ello. El organismo fabrica unas proteínas defensivas especiales (los anticuerpos) que reaccionan ante las moléculas extrañas, neutralizándolas. Ésta es una de nuestras mejores defensas contra las bacterias y los virus invasores. Una vez el individuo ha fabricado un anticuerpo contra los virus del sarampión, está ya inmunizado contra nuevos ataques de esta enfermedad. La vacuna Sabin anima al organismo a fabricar anticuerpos contra el virus de la polio, ofreciéndole los virus necesarios en una forma que no producen la enfermedad. De este modo, el organismo queda inmunizado sin sufrir el riesgo de contraer la polio.

Un ejemplo negativo del mismo uso de las proteínas es el hecho de que el cuerpo puede casualmente tomarse sensible a ciertas sustancias extrañas, inofensivas en sí mismas; por ejemplo, a las proteínas de ciertas clases de polen, o a ciertos tipos de alimentos. En tal caso, la persona padece una fiebre del heno o una alergia.

Un anticuerpo dado puede hacer distinciones entre una sustancia extraña y otra (por ejemplo, entre la proteína del pollo y la del pato), aunque tal diferencia no sea aparente para el químico. Siempre puede distinguir entre una sustancia extraña y las moléculas presentes en el organismo a que pertenece.

Si un anticuerpo puede distinguir entre dos proteínas, éstas han de ser diferentes en cierto modo. Siendo así, no puede haber dos seres humanos, aparte de los mellizos idénticos, cuyas proteínas sean exactamente iguales. La prueba de esto es que un injerto dérmico fracasará a menos que se haga con piel de otra parte del mismo cuerpo o, a lo sumo, del cuerpo del mellizo idéntico, si existe.

El organismo del paciente reconoce y forma anticuerpos contra las proteínas de la epidermis

de cualquier otro ser humano. Estos anticuerpos impiden que el injerto «arraigue», y demuestran, con grave inconveniente o peligro para él, que el paciente es un individualista en el aspecto químico.

Gran parte de nuestra magia clínica está limitada a métodos que sorprenden al común denominador de toda la Humanidad. La aspirina alivia el dolor en casi todos los seres humanos, y la penicilina impide el crecimiento y la multiplicación de los gérmenes patógenos en casi todos también. Naturalmente, el médico debe tener cuidado con la pequeña minoría sensible a estas panaceas universales, pero en general puede prescribirlas libremente.

A medida que aumentan los conocimientos, es posible añadir un control más sutil, cuidadosamente dirigido a las necesidades de cada individuo, a la terapia de conjunto. El médico ha de saber, y de hecho sabe ya, que aparte de la individualidad psicológica y biológica, existe una individualidad química en cada uno de nosotros.

El primer paso en la dirección de un control más sutil se refiere indudablemente a las proteínas. Al fin y al cabo, la mayoría de las sustancias que inducen una reacción de anticuerpos son proteínas, siéndolo asimismo los anticuerpos. Está claro, pues, que las proteínas presentes en el cuerpo difieren entre sí de modo sutil, y que el organismo puede fabricar otras para aprovecharse de tales diferencias.

¿Cuáles son estas sutiles diferencias? En primer lugar, las proteínas están formadas de moléculas grandes. Incluso una molécula proteica de un tamaño normal está formada por la aglomeración de unos cuatrocientos mil átomos. En comparación, una molécula de agua está formada por sólo tres átomos, y la de azúcar por cuarenta y cinco átomos.

Los átomos dentro de la molécula de proteína se hallan dispuestos en combinaciones llamadas aminoácidos, cada uno de los cuales se compone de diez a treinta átomos. Los aminoácidos se unen, como las cuentas de un collar, formando una molécula de proteína.

Aunque la estructura general de los aminoácidos sea semejante, hay diferencias de detalle. Una proteína individual está formada por una cantidad que oscila entre quince y veintidós aminoácidos, colocados en un cierto orden como una cadena.

Naturalmente, si dos proteínas están formadas por diferente número de aminoácidos, son diferentes, y esta diferencia la notan los anticuerpos. También son diferentes si están formadas por el mismo número de aminoácidos, pero con distintas proporciones de los diversos tipos.

Lo más interesante, no obstante, es que si dos moléculas de proteína están formadas por el mismo número de los mismos tipos de aminoácidos, también son diferentes, si es distinto el orden en que los aminoácidos se suceden en las respectivas cadenas. Es lo mismo que si tomásemos un collar de cuentas: cinco rojas, cinco azules, cinco amarillas y cinco verdes. Según el orden en que éstas se colocasen, podríamos formar doce mil millones de combinaciones diferentes.

Pero el caso de las proteínas no es tan sencillo. Una proteína normal contiene quinientos aminoácidos, no veinte; y los aminoácidos pertenecen a veinte tipos distintos, no a cuatro. El número, por tanto, de formas posibles en que aquéllos pueden disponerse en una gran molécula de proteína daría por resultado una cantidad de seiscientos ceros.

Siendo así, es obvio que una persona posee sus propias proteínas, muy distintas del resto de la Humanidad. En realidad, cualquier ser vivo puede tener unas proteínas completamente diferentes de las de los demás existentes o que hayan existido desde el alborear de los tiempos..., y, por lo tanto, también una química especial.

Pero si cada ser vivo tiene proteínas diferentes y el organismo es sensible a las proteínas extrañas, ¿cómo podemos comer? Por fortuna, la comida no penetra en el organismo en su forma original, sino que permanece en el tubo digestivo hasta haber sufrido diversos cambios. Sólo entonces cruza las paredes intestinales y penetra en el organismo.

Las proteínas, al ser digeridas, se descomponen en aminoácidos individuales, siendo absorbidos sólo éstos. Solamente con que el organismo absorbiese un diminuto fragmento de proteína intacta, el cuerpo se sensibilizaría al mismo tiempo y daría muestras de una poderosa reacción alérgica a tal proteína. Los aminoácidos, sin embargo, son inofensivos.

Aparte de los aminoácidos absorbidos, el organismo fabrica las proteínas individuales de sus propios tejidos, utilizando el exceso de aminoácidos para producir energía. Naturalmente, utiliza los aminoácidos en ciertas proporciones para fabricar las proteínas orgánicas, y dichas proporciones es posible que no sean aquellas en que los aminoácidos se presentan en las

proteínas alimenticias ingeridas. Por suerte, el cuerpo humano puede combatir esta discrepancia cambiando la estructura molecular de algunos aminoácidos hacia la de otros. Un aminoácido de excesiva estructura molecular puede convertirse en otro deficiente, preferible para una combinación más eficiente.

Sin embargo, hay límites a esto. Hace casi cien años se descubrió que las ratas morirían si su única fuente de proteínas fuese el maíz, pero que vivirían solamente con añadir una partícula de proteína láctea a su alimentación. La explicación a esta aparente anomalía consiste en que la proteína del maíz carece de un aminoácido llamado triptofano, que las proteínas de la leche poseen en gran cantidad. Aparentemente, la rata no puede extraer el triptofano de los otros aminoácidos y, al no ser capaz de mantener sin aquél el nivel de proteínas de sus tejidos de forma normal, se muere.

En el año 1930, el bioquímico norteamericano William C. Rose, mediante experimentos dietéticos en estudiantes universitarios, halló que el organismo humano no puede fabricar ocho aminoácidos. A los mismos se les denomina «aminoácidos esenciales», debido a que su presencia en la dieta es muy importante para la salud.

En una dieta razonablemente variada, por encima del nivel de la extenuación por hambre, es improbable que el ser humano padezca gravemente por la deficiencia de alguno de los aminoácidos más esenciales. Pero sí puede sufrir trastornos debido a que nuestra dieta nos suministra una pauta equivocada de estos aminoácidos.

Los dietistas pueden analizar fácilmente los aumentos en busca de su contenido de aminoácidos, y también conocen las necesidades cotidianas. Así, es posible saber qué aminoácidos faltan en una dieta y cómo suplir esta falta con alimentos o pastillas. Esto constituye una terapia de conjunto. Aunque hoy en día sea ya posible un tratamiento más individualizado.

Existe un método muy simple para calcular la individualidad química de un paciente. El organismo proporciona las proteínas para sus propias células, que circulan en la corriente sanguínea y presumiblemente tienen la pauta particular de aminoácidos requerida por el individuo. Pueden analizarse las proteínas de algunas gotas de sangre, y ser tomada la fórmula de los aminoácidos, lo que constituye una especie de huella dactilar. Cuando esto se compara con la fórmula de los aminoácidos de la dieta del paciente, pueden efectuarse las sugerencias específicas para los alimentos suplementarios.

Cualquier persona puede ser tratada individualmente a este respecto, y no necesita ser una víctima como miembro de un mítico grupo normal. Esto puede aplicarse a gran escala a todas las áreas donde un nivel de vida bajo requiere un suplemento eficaz en la dieta.

A medida que aumenten los conocimientos clínicos y químicos, llegará el día en que será posible analizar metabólicamente a cada individuo en la infancia y periódicamente más adelante; y llegará el día en que los archivos de cada centro médico contendrán las fichas de las fórmulas químicas de todos sus pacientes. Tal vez entonces, ningún médico tratará a su paciente, salvo en casos de emergencia, sin un estudio preliminar de tales fórmulas.

Al fin y al cabo, el médico no se enfrenta con la Humanidad en abstracto cuando se acude a él, sino con el individuo, con el químico que todos llevamos dentro.

6. Supervivencia de la molécula más apta

Como expliqué en el capítulo anterior, las proteínas son una de las claves principales de la individualidad química, gracias a las complicaciones de su estructura molecular. Y entre las proteínas más significativas se hallan las enzimas, que ya se mencionaron en el Capítulo 3.

Por tanto, no es raro que los bioquímicos se hayan dedicado al estudio de la estructura de las enzimas, también con buenos resultados.

Las enzimas, como todas las proteínas, están constituidas por unidades relativamente simples: aminoácidos. Los veinte tipos diferentes de aminoácidos que existen aproximadamente se presentan en las moléculas más pequeñas de enzimas en la cantidad de dos a seis en cada una; en las mayores llegan a varias docenas.

Los bioquímicos conocen la estructura detallada de cada aminoácido. También conocen la forma exacta en que un aminoácido se halla relacionado con otro para formar una «cadena peptídica». Para extraer la fórmula exacta de una proteína tenemos que determinar antes qué aminoácidos, y cuántos de cada uno, se encuentran en una «cadena peptídica».

Dicha cadena puede ser hidrolizada calentándola con una solución ácida. Este proceso sirve para descomponer la cadena en aminoácidos individuales. Entonces, es posible analizar la mezcla y el número de cada variedad de aminoácidos presentes en la cadena determinada.

Sin embargo, esto no es suficiente. ¿En qué orden se hallan los aminoácidos presentes en la cadena peptídica? El número de ordenaciones posibles es enorme incluso en la proteína más pequeña. Por ejemplo, existe una hormona llamada oxitocina que es una de las más pequeñas de las proteínas corrientes. Su molécula consta de una cadena peptídica que contiene cada una solamente ocho clases diferentes de aminoácidos. Sin embargo, los mismos pueden disponerse de 80.220 formas distintas.

La situación resulta excesivamente complicada para las moléculas mayores de proteínas..., aunque no sea una situación desesperada tampoco. Cortando la cadena peptídica en pequeños fragmentos, cada uno conteniendo dos o tres aminoácidos, y verificando el orden de un solo fragmento a la vez, puede deducirse el orden de toda la cadena. En 1953, se logró establecer por completo el orden de los cincuenta aminoácidos que componen las moléculas de la hormona insulina (ver Capítulo 4).

La insulina fue la primera molécula de proteína conquistada de esta forma, conquista que costó ocho años. Sin embargo, conociendo ya la técnica detallada, se pudo dominar a las moléculas mayores en mucho menos tiempo. Así, no se tardó en descubrir todo lo referente a la molécula de la proteína ribonucleasa (una enzima que comporta la descomposición del ácido ribonucleico, el famoso ARN del que se habló en el Capítulo 2), formada por una cadena peptídica de ciento veinticuatro aminoácidos.

La forma en que la ribonucleasa (o cualquier enzima) da lugar a una reacción química es muy sutil e interesante, y de ello hablaré en el capítulo siguiente. Como es natural, una vez los químicos conocieron la composición de aminoácidos de una molécula de enzima, se sintieron interesados por saber a qué se debía la asombrosa facilidad de dichas moléculas para provocar tales reacciones químicas como, en el caso presente, la descomposición de la molécula de ARN.

Los químicos empezaron, cuidadosamente, a alterar los diversos aminoácidos de la ribonucleasa a fin de encontrar los «puntos activos», las partes que estaban directamente relacionadas con la acción de la enzima. Resultó que algunos aminoácidos especiales, al ser alterados incluso ligeramente, quedaban asociados con una pérdida de la actividad de la enzima, en tanto que otros podían continuar laborando sin efecto alguno. Los puntos clave resultaron ser el aminoácido 12 (de la variedad denominada «histidina»), el aminoácido 14 («lisina»), y el 119 (también «histidina»).

Es probable que, a pesar de la amplia separación de esos aminoácidos en la cadena, representen un solo lugar activo. La cadena peptídica no es, en realidad, una varilla larga y recta, sino más parecida a una cuerda flexible que puede doblarse de forma que la molécula de ribonucleasa adopte conjuntamente las posiciones 14, 21 y 19. De este modo, se forma una fórmula específica de tres aminoácidos.

La molécula de enzima se conserva en su forma doblada mediante enlaces particulares

entre agrupaciones atómicas. Uno de los más importantes se relaciona con el aminoácido «cistina». La cistina es una especie de molécula doble. Cada mitad es un aminoácido completo en sí, y ambas mitades se hallan conectadas por una cadena que incluye dos átomos de azufre (un «puente S-S»). Una mitad de la cistina puede formar parte de una cadena peptídica, y la otra mitad de otra cadena. De esta forma, dos cadenas separadas (o dos sectores de una misma cadena) se hallan firmemente sujetas por un puente S-S.

La molécula de ribonucleasa posee cuatro puentes que enlazan diferentes partes de la cadena. Existen tipos más débiles de enlace, claro está, y todos contribuyen a doblar apropiadamente la cadena peptídica, a fin de crear un lugar activo.

Pero si un grupo pequeño de aminoácidos forma el lugar activo, ¿a qué se debe la necesidad de que existan más de cien aminoácidos más? En parte, se han analizado ya algunas razones de esta aparente anomalía.

Si la ribonucleasa se separa en dos partes en la posición del aminoácido 20, cada parte queda inactiva. Si se mezclan las soluciones de las dos partes, se restaura casi toda su actividad. Es como si ambas partes pudiesen alinearse debidamente, a pesar de que existen trillones de maneras posibles de alinearse *indebidamente*. Aparentemente, la disposición del aminoácido en la enzima es tal que los pliegues naturales aparecen en la cadena, pliegues que juntan a los debidos aminoácidos, formando un lugar activo apropiado. Por tanto, parece como si la larga cadena fuese necesaria a fin de componer un proceso natural de pliegues que conduzca a la formación automática del lugar activo.

Mas, ¿por qué edificar una cadena larga sólo para formar un lugar activo? ¿Por qué no juntar a los aminoácidos de dicho lugar activo y descartar el resto de la molécula? En primer lugar, porque no es deseable mantener constantemente activa a la enzima.

Consideremos las enzimas corrientes llamadas tripsina y quimotripsina. Son enzimas digestivas que actúan sobre el alimento de los intestinos, descomponiendo las moléculas de proteínas de la comida y convirtiéndolas en diminutos fragmentos, que a su vez se descomponen en aminoácidos para ser absorbidos.

Tales enzimas forman parte de un equipo complicado y han de realizar su tarea en un momento apropiado. Por tanto, son segregadas en formas inactivas llamadas tripsinógeno y quimotripsinógeno. Las cadenas peptídicas de estas formas inactivas no pueden doblarse con facilidad a fin de obtener un lugar activo. Sin embargo, si se rompe la cadena en un punto dado, el resto se dobla adecuadamente y torna a ser una enzima activa; el quimotripsinógeno se convierte en quimotripsina, y el tripsinógeno en tripsina.

De modo semejante, la ribonucleasa, que debe doblarse para formar un lugar activo, sólo lo hace de manera adecuada cuando se cumplen ciertas condiciones. Entonces, puede estar activa o inactiva según las circunstancias.

Un lugar activo, formado con suma facilidad, lo sería *siempre*, y esto no encaja en las necesidades del tejido vivo, que requiere una flexibilidad enormemente sutil en la conducta de sus componentes.

Volvamos a las enzimas digestivas mencionadas. La molécula de tripsina contiene 233 aminoácidos divididos en tres cadenas peptídicas unidas por puentes de cistina. La de quimotripsina es un poco mayor. Sin embargo, se ha averiguado ya el orden de los aminoácidos en ambas enzimas.

La tripsina y la quimotripsina resultaron poseer lugares activos idénticos, y la mitad aproximadamente de los aminoácidos de la tripsina se hallan en el mismo orden que en la quimotripsina. En vista de esta semejanza, no es sorprendente que las dos enzimas tengan una función similar; que ambas descompongan las moléculas de proteína como parte del proceso digestivo.

Pero también existen algunas diferencias. Y esas diferencias en el orden de los aminoácidos hacen posible que la tripsina se dedique a las moléculas de proteína de una forma, y la quimotripsina de otra. De esta manera, las proteínas están orientadas de forma diferente con respecto al lugar activo, por lo que ambas enzimas no son precisamente *duplicados* exactos.

Debido a esta diferencia de orientación, la tripsina sólo divide a ciertos tipos de enlaces aminoácidos, incluyendo a los de la lisina, ya mencionada, u otro aminoácido semejante, la arginina, muy parecido a la lisina en ciertos aspectos. La quimotripsina divide los enlaces relacionados con aminoácidos tales como la fenilalanina, la tirosina y el tritofán (los cuales

poseen en común la presencia de un anillo de seis átomos de carbono en la molécula).

Como la tripsina y la quimotripsina tienen lugares activos de estructura idéntica, el propósito del resto de la molécula se muestra bajo otra luz. Dominando la forma en que la enzima se combina con las moléculas sobre las que influye, se posibilita una flexibilidad de conducta adicional, que no existiría si el lugar activo estuviese aislado en presencia.

La semejanza de la tripsina y la quimotripsina sugiere que ambas proceden de una misma molécula ancestral. Las diferencias entre ambas proceden de que aunque haya sido heredada la capacidad de formar cadenas peptídicas específicas, esta capacidad se vio ocasionalmente distorsionada en el tránsito («mutación»).

El proceso de la evolución por selección natural se aplica a las cadenas peptídicas, presumiblemente, lo mismo que al conjunto de un organismo. Si se forma una cadena peptídica con un método ineficaz de funcionamiento, o ninguno en absoluto, los organismos que la poseen muestran tendencia a extinguirse. Una nueva cadena con una función ligeramente alterada, o una completamente nueva, sobrevivirá, y el organismo que la posea quedará ligeramente modificado, a fin de subvenir a la nueva función. Esta es la supervivencia de las moléculas entre las más aptas, lo mismo que entre los organismos más adecuados.

La evolución entre las moléculas puede arrojar cierta luz, por tanto, entre la evolución de los organismos. La estructura de las moléculas de la enzima citocromo C (referente a la oxigenación de los tejidos), se ha estudiado recientemente en trece especies diferentes, desde el hombre a la levadura. Casi la mitad de los ciento cuatro o ciento ocho aminoácidos de esta enzima están presentes en un orden idéntico en todas las especies. Lo cual es una prueba en favor de la creencia de que toda la vida procede de un factor ancestral común.

Las diferencias existentes son más notables a medida que se distancian las especies. La cadena peptídica de la molécula de citocromo C del hombre difiere en sólo un aminoácido de la de un mono Rhesus. Sin embargo, existen veintiuna diferencias entre la del hombre y el atún; y 48 entre la célula del hombre y la de la levadura, con respecto a dicha molécula (aunque en todas las especies su función sea la misma).

Indudablemente, si los químicos pudieran simplificar sus técnicas hasta el punto de poder estudiar numerosas enzimas de muchas especies, las enormes diferencias serían lo bastante complejas para revelar la fórmula evolutiva con todo detalle.

7. Enzimas y metáforas.

Un experimento clásico que a menudo sirve para iniciar un curso general de química en el Instituto es aquel en que se prepara oxígeno por descomposición de clorato potásico (que contiene átomos de aquel elemento en su molécula). Las orientaciones para llevar a cabo el experimento son muy explícitas. El estudiante no calienta simplemente el clorato potásico. Primero tiene que añadir bióxido de manganeso (que también contiene átomos de oxígeno en su molécula). Sin esto, el clorato potásico ha de calentarse enormemente y la liberación de oxígeno es muy lenta. Con el bióxido de manganeso, la mezcla puede calentarse moderadamente y el oxígeno se desprende con rapidez.

Es necesario explicarle al estudiante que el bióxido de manganeso no interviene en la reacción, para impedir que piense que el oxígeno procede de aquél, quedando sólo el manganeso en su forma metálica. La función del bióxido de manganeso es simplemente la de acelerar la descomposición del clorato potásico, pero de forma que no consuma el bióxido de manganeso. Basta con la sola presencia de éste. Se trata de un catalizador, y al proceso de influir por su sola presencia se denomina catálisis.

Esto puede inducir a un principiante a una asociación prolongada e innecesaria de la catálisis con el misterio. La noción de influir por la sola presencia y no por participación es muy incómoda, como una especie de fuerza *psi* molecular, una percepción extrasensorial y no por parte del clorato potásico, estando presente el aura influyente del bióxido de manganeso, o tal vez una telequinesis, una acción supernatural a distancia por parte de la molécula de bióxido de manganeso.

En la ciencia resulta muy poco deseable cualquier aura de misterio, puesto que la ciencia está dedicada a tomar el Universo menos misterioso. El hecho de que cualquier estudiante de química se halle constantemente frente a una catálisis y que todo aquel que se dedica a la bioquímica se halle delante de esas proteínas catalizadoras sumamente útiles, las enzimas, hace que este misterio resulte particularmente muy poco deseable.

Naturalmente, es imposible suspender un curso introductorio el tiempo preciso para sondear en la superficie química con el detalle necesario para eliminar el misterio. Por una parte, los estudiantes carecen de suficientes antecedentes para ello, y por otra, no se requiere nada de esto. Lo que hay que hacer al principio es ahuyentar el misterio; ya habrá tiempo más adelante para racionalizarlo.

Para alejar el misterio sólo es necesario ofrecerle al estudiante ejemplos corrientes de cómo puede acelerarse una reacción mediante la simple presencia de una sustancia externa; ejemplos que no entrañan brujería alguna. En resumen: un estudiante tal vez no siempre esté dispuesto a estudiar química, pero sí metáforas.

Dada ya la metáfora, el estudiante la recordará indefinidamente, si es lo suficiente espectacular. Y aunque no continúe con los estudios de química, evitará a este respecto el azote del misticismo, contribuyendo de este modo a una perspectiva razonada del Universo, que es uno de los objetivos de la ciencia. Si el estudiante sigue otros cursos de química en los que vuelva a presentarse el fenómeno de la catálisis, y es colocado sobre una base teórica más firme, tendrá al menos un comienzo adecuado y podrá abordar el tema con mayor confianza.

Por ejemplo, ¿cómo puede influir un catalizador en una reacción, por su sola presencia? ¿Qué existe en la vida ordinaria que pueda ofrecer una analogía a un fenómeno tan esotérico? Supongamos que hacemos uso de la metáfora de «el ladrillo y el plano inclinado».

En vez de descomponer el clorato potásico para liberar el oxígeno, imaginemos un ladrillo deslizándose por un plano inclinado, liberando energía. Ambos son procesos espontáneos, que sólo necesitan el empuje inicial. El clorato potásico necesita el estímulo del calor; el ladrillo requiere el impulso inicial de la mano.

Supongamos que el plano inclinado donde descansa el ladrillo es áspero, de modo que se produce una mayor fricción entre su superficie y el ladrillo. A pesar de la atracción de la gravedad y de la mano, el ladrillo se detiene tan pronto como aquélla deja de empujarle.

Bien, supongamos ahora que recubrimos la superficie del plano inclinado y la del ladrillo con hielo. El ladrillo, de pronto, se deslizará con mucha más facilidad. Un empujoncito al

empezar..., o tal vez sin empujón, y el ladrillo se deslizará.

Pero el hielo no impulsa al ladrillo; no aumenta la atracción de la gravedad; no proporciona energía en ninguna forma; no juega el menor papel activo. Basta con su presencia. No necesita siquiera estar presente, sino sólo recubrir la superficie del ladrillo y la pendiente, en donde entran ambas en contacto. Idealmente, tampoco se desgasta el hielo en este proceso. Al apartar el ladrillo, el hielo continúa allí; de este modo, es posible empujar otro ladrillo recubierto de hielo, y otro y otro...

Un catalizador se define como una sustancia capaz de acelerar una reacción química por su sola presencia en pequeñas cantidades, sin sufrir ningún cambio por su parte en el proceso. Eliminemos el término «química», y el hielo que envuelve la pendiente es un catalizador perfecto.

Existe otra metáfora similar, conocida como la «mesa de escribir». Imaginemos a un hombre con papel y lápiz, y nada más, de pie en medio de un desierto, sólo con arena suave bajo sus pies. Este hombre desea escribir una nota en el papel.

Sabe cómo hacerlo y posee los elementos necesarios para la escritura. Sin embargo, sólo consigue garabatear unos trazos ilegibles, y ciertamente se le romperá el papel en el proceso.

Imaginémosle de pronto provisto de una tabla de madera pulimentada. ¡Cuán distinta es ahora su situación! Dicho hombre no ha aumentado sus conocimientos de escritura. La nota a escribir es la misma que antes, el papel y el lápiz. Sin embargo, ahora puede redactar el mensaje cómodamente, con toda claridad, sin esfuerzo..., sólo gracias a una mesa de escribir, a un pupitre, que acelera el proceso con su sola presencia, y no se modifica durante el mismo. Tanto el papel como el lápiz se desgastan, y hasta el mismo escritor pierde unas calorías, pero la tabla no ha sufrido ninguna pérdida significativa, y puede utilizarse un sinnúmero de veces de la misma forma. En resumen, es un catalizador.

Además, ambas metáforas sirven para introducir la noción de que la catálisis es un fenómeno esencialmente superficial; que acelera una reacción (ya sea un ladrillo deslizante, la redacción de una nota o, por extensión, la descomposición del clorato potásico), mediante la presencia de una superficie que es específicamente apta para las actividades que entraña tal reacción.

En el curso de química, ya más adelante, se le dirá al estudiante que la catálisis acelera una reacción sin cambiar la posición del punto de equilibrio. Supongamos, por ejemplo, que se empieza con dos sustancias, A y B, que reaccionan y forman C y D. Dejemos que la reacción llegue hasta el instante en que se produzca un punto de equilibrio en el que A, B, C y D estén presentes en unas proporciones fijas. La presencia de un catalizador acelera la velocidad con que se alcanza el punto de equilibrio, pero no altera su posición.

Además, si se empieza con C y D, reaccionarán parcialmente, llegando al punto de equilibrio -el mismo punto de equilibrio-, estando A, B, C y D presentes en proporciones fijas. Y el mismo catalizador acelerará la reacción inversa.

Al estudiante que se enfrenta por primera vez con este fenómeno, tal vez le parezca diabólico que una sustancia inanimada pueda actuar en ambas direcciones, como si supiera por anticipado dónde se halla el punto de equilibrio.

Es sencillo, no obstante, demostrar que el catalizador no actúa en dos direcciones sino en una sola, si volvemos a la metáfora del ladrillo y el plano inclinado. Imaginemos una doble pendiente en forma de V, formada por una sustancia áspera, de alta fricción. La capa de hielo también servirá de catalizador, permitiendo el deslizamiento del ladrillo. Observemos, entonces, que éste se deslizará por las dos laderas de la V, deteniéndose en ambos casos en el mismo punto: el fondo.

Si denominamos a la cúspide de un brazo de la V como A y B, y a la del otro brazo como C y D, y contemplamos el conjunto desde arriba, nos parecerá que el catalizador actúa de derecha a izquierda, o al revés y en cada caso parecerá detenerse en un punto medio misterioso que no semeja diferenciarse de los demás.

Visto desde un lado este proceso, no obstante, se percibe al instante que la reacción se produce sólo en una dirección: hacia abajo, hacia el centro de gravedad. El hielo catalizador acelera dicho movimiento descendente. El punto final (o de equilibrio) es el más inferior de la V, el punto de menor potencial gravitatorio, y por tanto único. Incluso el estudiante menos listo comprenderá que el hielo actúa sin ningún conocimiento previo de la posición de equilibrio.

Simplemente, el ladrillo se desliza hasta el fondo.

Asimismo, el estudiante comprenderá por qué el catalizador de una reacción reversible no cambia el punto de equilibrio y por qué acelerar una reacción en una dirección dada no le obliga a moverse en dicha dirección. Naturalmente, el ladrillo envuelto en hielo y el plano inclinado igual, permiten que el primero se deslice más rápidamente sin alterar la posición del fondo de la V, ni permitir que el ladrillo pase de largo y suba por el otro lado.

En cursos más avanzados, el estudiante aprenderá que existe algo denominado «potencial químico» que puede compararse, en cierto modo, con el potencial gravitatorio, y la imagen que capte al principio le servirá de mucho más adelante.

Como es natural, la utilidad de una metáfora no necesita quedar restringida a las nociones más elementales. Eventualmente, el estudiante aprenderá que un catalizador consigue los resultados rebajando la energía de activación.

Dicho de otro modo: la sustancia sobre la que actúa la enzima forma primero un compuesto intermedio, inestable, que se descompone para formar el producto final. Dicho compuesto intermedio e inestable necesita el impulso de una cantidad de energía relativamente grande, mas hasta que se ha formado no se producen productos finales, aunque éstos no ostenten una energía particularmente elevada. Toda la reacción procederá con la misma rapidez con que se forme el producto intermedio.

El catalizador, estabilizando más el producto intermedio, permite su formación con un impulso menor de energía. Esto acelera la velocidad de formación del producto intermedio y, en consecuencia, apresura la reacción en conjunto.

A menudo, la energía de activación (la energía requerida para formar el producto intermedio) se representa como una «giba» de energía entre los productos y los reactivos. La enzima rebaja dicha «giba», aumentando el tráfico por encima de la misma. Supongamos una carretera con automóviles pasando en ambas direcciones, y la metáfora resultará interesante. Sin embargo, no demuestra de qué modo un catalizador puede rebajar una «giba».

Esto sí se logra claramente por medio de la metáfora del «cordón de zapato», Imaginemos a un hombre que está de pie en un campo fangoso de una extensión indefinida y que tiene que atarse el cordón del zapato. Mientras se halle de pie, con el cordón suelto, no hay peligro de que se hunda en el barro o se ensucie. Una vez atado el cordón, tampoco corre tales peligros. Las dos son posiciones estables.

Sin embargo, durante el proceso de anudarse el cordón del zapato, tiene que agacharse, inclinarse o levantar el pie, permaneciendo en un equilibrio muy precario. En una de esas alternativas, se aumenta el riesgo de ensuciarse o de perder el equilibrio. Por tanto, ha de actuar lentamente y con sumo cuidado durante toda la posición intermedia e inestable.

Si imaginamos una serie de hombres, todos los cuales han de atarse el cordón de un zapato en condiciones semejantes, uno tras otro, y sin que ninguno empiece hasta que haya terminado el anterior, todo el proceso tardará bastante tiempo en quedar terminado, debido únicamente a la lentitud del estado intermedio.

Bien, ahora tomemos una silla y permitamos que un hombre se siente en ella. Una vez sentado, puede levantar el pie sin perder su estabilidad. Podrá atar el cordón del zapato sin peligro alguno y volver a levantarse. La silla no es sólo un catalizador (puesto que sirve a su propósito ofreciendo una superficie conveniente), sino que sirve específicamente para estabilizar la posición intermedia.

Rebaja la «giba» de energía de forma clara.

De esta forma, una serie de individuos pueden atarse el cordón del zapato, uno tras otro, de manera mucho más rápida usando la silla en el proceso. Estabilizando la posición intermedia, el catalizador-silla apresura la reacción de atarse el zapato.

Cuando un estudiante aprende por primera vez algo relacionado con las enzimas, se enfrenta con los catalizadores que, de repente, están más íntimamente relacionados con la vida y los «mayores misterios». Pues, aunque son proteínas por su naturaleza, las enzimas comparten todas las propiedades fundamentales de los catalizadores en general. Las metáforas del ladrillo y el plano inclinado, de la tabla de escribir y del cordón de zapato, se aplican a todas las enzimas tan directamente como al bióxido de manganeso.

Pero las enzimas introducen otros refinamientos. Una forma en que las proteínas catalizadoras (enzimas) difieren de los catalizadores minerales es que las primeras son mucho

más específicas. Es corriente hallar una enzima que sólo catalice una reacción de entre otras muchas posibles. Aunque no debe aceptarse esto como un ejemplo del dulce misterio de la vida. Incluso un conocimiento muy superficial de la estructura de las proteínas demostrará que es posible edificar superficies muy complejas de moléculas proteicas variando la naturaleza y disposición de los componentes aminoácidos. El valor de una superficie altamente especializada puede demostrarse mediante una extensión de la metáfora del cordón de zapato.

Una silla es una silla, pero hay sillas y sillas. Una silla de cocina ordinaria es adecuada como catalizador para acelerar la reacción de anudarse los zapatos. Pero imaginemos ahora una silla especialmente diseñada con respaldo, brazos y apoyo para los pies, motorizada y capaz de un movimiento automático. Al sentarse, el peso del individuo sobre el asiento establece un contacto que levanta el apoyo para un pie, el cual queda así situado a la altura debida. Simultáneamente, el respaldo avanza, inclinando al individuo convenientemente, mientras los brazos de la silla se mueven hacia dentro, doblando los brazos del hombre por el codo y juntando gentilmente sus manos. En una fracción de segundo, y sin el menor esfuerzo corporal, el individuo ha asumido la postura más apropiada para anudarse el zapato. Una vez hecho lo cual, la silla vuelve a su posición normal y una palanca expulsa suavemente al individuo fuera del asiento. La silla queda lista para recibir a otro individuo.

Obviamente, una silla semejante apresuraría la reacción de atarse el zapato mucho más que la generalizada silla de cocina. Además, estabilizaría más aún la posición intermedia. Y por su propia especialización sería, en cambio, menos útil para otros propósitos. Tal vez un joven intentaría utilizarla para mantener sobre sus rodillas a su amada. Pero el movimiento de sus distintas partes le sorprendería y aunque lograra soportarlo bajo circunstancias placenteras, con toda seguridad se vería asombrado ante la expulsión final, lo mismo que la dama en cuestión.

Si sólo se intentase utilizar dicha silla para leer un periódico, se la abandonaría con disgusto antes incluso de verse arrojado de ella. En cualquier caso, el individuo buscaría una silla más adecuada en la próxima ocasión, una silla especialmente destinada a sostener una chica sobre las rodillas o a leer el diario.

O sea que la silla especialmente diseñada (la enzima) es un catalizador más eficaz y específico que la diseñada ordinariamente (un mineral cualquiera); las características de cada cual implican casi necesariamente las demás.

No necesitamos imaginar sillas de varias clases para dilucidar este punto. Con un poco de fantasía, el lector puede referirse a distintas sillas, como la del barbero, del dentista, o la silla eléctrica, y compararlas con la silla de cocina para comprender hasta qué punto aquéllas aumentan su eficacia y su rapidez en una reacción especial.

La noción de especificación se interfiere con la idea de inhibición competitiva (ver Capítulo 2). Una enzima puede catalizar específicamente la descomposición de una sustancia A, por ejemplo. Y no catalizará la descomposición de una sustancia diferente, B, ni de otra sustancia similar A' (pero no idéntica), en tanto que la presencia de A' interferirá en el funcionamiento normal de la enzima respecto de A, y en cambio, no ocurrirá lo mismo en presencia de B.

Aquí podemos emplear la más familiar de todas las metáforas referentes a las enzimas: la metáfora de «la cerradura y la llave». Una enzima que actúe sobre una sustancia A específica puede compararse con una cerradura que A sea la llave. La sustancia B, distinta a A, es una llave con cabeza diferente a la de A. Por esto, ni siquiera puede insertarse en la cerradura. Con respecto a ésta, la presencia de B carece de significado.

Bien, tomemos ahora una sustancia A' semejante a A. Representa, en este caso, una llave con una cabeza similar a la de A. Por tanto, A' puede insertarse en la cerradura. Pero, el dentado no es semejante al de A. Por tanto A' no girará en la cerradura. Mas sí rellena su agujero. Está allí dentro, sin girar ni permitir que se inserte la llave A. La cerradura está inutilizada temporalmente o, si lo preferimos, la enzima está inhibida.

El estudiante no sólo estudiará las enzimas, sino grupos de ellas. Y llegará el día en que aprenderá que los compuestos internos del organismo ceden energía transportando dos átomos de hidrógeno a la vez, de compuesto a compuesto, hasta que al fin se agregan al oxígeno para formar agua. La mayor parte de esta energía desprendida en este proceso queda almacenada en forma de unos compuestos llamados «ésteres de fosfato de alta energía», formándose unos tres de ellos por cada par de átomos de hidrógeno transportado.

El hidrógeno se transporta de una posición a otra lo mismo que un cubo en una fila,

catalizando cada traslado con una enzima distinta.

¿Por qué esta serie de pasos y de enzimas? ¿No sería mejor y más sencillo combinar directamente los átomos de hidrógeno con el oxígeno molecular en un solo paso y usar una sola enzima para catalizar la reacción? Como de costumbre, también para esto existe una metáfora: la de la «escalera».

Supongamos que un hombre tuviese necesidad de bajar desde el quinto piso de una casa a la planta baja y almacenase el potencial gravitatorio así desprendido, usando la energía de su movimiento descendente dando cuerda a tres relojes. Podría hacerlo tirando de la cadena de cada reloj de pared al pasar, levantando sus pesas con el tirón de su propio peso al moverse hacia abajo.

Si baja desde el quinto piso a la planta baja por medio de cinco tramos de peldaños (un sistema de multienzimas), puede, en este proceso, más lentamente, asir las cadenas de los relojes con toda seguridad y tirar de ellas suavemente sin modificar su paso.

También podría bajar desde el quinto piso hasta la acera saltando por el pasamanos y el hueco de la escalera (método de una sola enzima). Llegaría a la acera más simple y rápidamente y perdería un potencial gravitatorio con la misma seguridad que bajando por la escalera como es debido. Sin embargo, le resultaría difícil asir las cadenas de los relojes al pasar. Desprendería energía, pero no la almacenaría.

Asimismo, el método de descender desde el quinto piso a la planta es reversible. Es posible subir desde abajo hasta el quinto piso sin gastar excesiva energía. Sin embargo, a pesar de haber bajado de un solo salto no podría de modo alguno (suponiendo que estuviera en situación de intentarlo) regresar al quinto piso de un solo salto.

De modo semejante, la reacción multienzima, en cada paso componente entraña un cambio relativamente pequeño de energía, permite un almacenaje más eficaz de aquella y es, al mismo tiempo, más fácilmente reversible y, por ende, más simplemente controlable por el organismo. El mayor cambio de energía en el método de un solo paso (aunque aparentemente sea ésta la alternativa más sencilla) dificulta el almacenamiento eficaz de energía, y aún más invertir el proceso según las necesidades.

Estas metáforas no pretenden ser exhaustivas, ni muestras excelentes o perfectas; sólo sirven para atraer nuestra imaginación. No valoro cada metáfora por sí misma, sino el principio contenido en cada una. La metáfora en sí es un catalizador. Con su sola presencia y sin aumentar el contenido científico de su curso, acelera el proceso de la enseñanza, sin desgastarse ni descomponerse.

8. Un pellizco de vida

Según hemos visto en los primeros capítulos de este libro, resulta justificado decidir que la vida es un fenómeno sumamente complicado y sutil, cuya comprensión lleva al límite el ingenio humano..., y aún más allá. Pero ¿de qué están compuestos los organismos vivos que posibilitan este maravilloso fenómeno? Si el cuerpo humano, por ejemplo, se descompusiera en átomos separados y estas diferentes clases de átomos fuesen cuidadosamente segregadas, dos cosas resultarían obvias:

todos o casi todos los átomos pertenecerían a media docena de variedades;
y las variedades serían muy corrientes.

En primer lugar, el cuerpo está compuesto casi exclusivamente de agua, y cada molécula de agua se compone de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Estos átomos se hallan asimismo en casi todas las demás moléculas del cuerpo. Aparte del agua, el cuerpo humano está formado principalmente de compuestos orgánicos, o sea, que contienen carbono. Los compuestos orgánicos más importantes son las proteínas, que contienen átomos de nitrógeno, junto con hidrógeno, oxígeno y carbono.

Los principales componentes del cuerpo de carácter inorgánico, o sea minerales, son los huesos. Sus átomos más comunes, aparte de los ya mencionados, son los de calcio y fósforo.

Si tuviésemos que contar el número de átomos del cuerpo humano veríamos que en cada diez mil hay:

6.300 átomos de hidrógeno
2.550 “ “ oxígeno
940 “ “ carbono
140 “ “ nitrógeno
30 “ “ calcio
21 “ “ fósforo
19 “ “ otros cuerpos

Esta lista no está llena de maravillas. El oxígeno es el tipo de átomo más corriente en la Tierra. El carbono, el calcio y el fósforo se cuentan entre los doce elementos más comunes en la corteza terrestre. Casi todos los átomos que forman los océanos son de hidrógeno, y la mayoría de los que componen la atmósfera son de nitrógeno.

Bien, pongamos ahora en primer lugar esa media docena de variedades de átomos que son, en realidad, los verdaderos elementos de la vida. ¿Y los otros diecinueve que pertenecen a otras variedades? ¿Por qué los necesitamos? Si estamos formados, en las 9.981/10.000 del cuerpo, con seis elementos, ¿no podríamos prescindir de las 19/10.000 restantes? Aparentemente no. La Naturaleza es como un buen cocinero que sabe que, aunque un pastel se componga de harina, leche y huevos, necesita al menos unos pellizcos de otras sustancias.

Veamos, pues, cuáles son esos diecinueve átomos de otras variedades. En lugar de contar los átomos de cada diez mil, contémoslos de cada millón. En este caso, hallamos que de cada millón de átomos del organismo hay: 998.100 átomos de los tipos antes mencionados

570» potasio
490» azufre
410» sodio
260» cloro
130» magnesio
38» hierro
2» otras variedades.

De esta forma, tenemos otra media docena de elementos presentes, podríamos decir, a modo de pellizcos. Cada uno es un elemento común del que tampoco podemos prescindir.

Los átomos de azufre son parte esencial de casi todas las proteínas del organismo, por lo

que no podríamos vivir sin ellos.

El sodio, el cloro y el potasio están presentes como átomos cargados eléctricamente («iones»), disueltos en el fluido orgánico. Los iones de sodio y potasio llevan una carga eléctrica positiva. El ion de sodio se halla principalmente en el fluido que rodea a las células y el ion de potasio en el fluido interno de aquéllas. Los átomos de cloro llevan carga eléctrica negativa y son llamados «iones de cloro». Éstos están dentro y fuera de las células, equilibrando la carga positiva de los iones de sodio y de potasio.

Estos iones positivos son los responsables, entre otras cosas, de los fenómenos eléctricos del organismo. Los cambios de distribución de los iones de sodio y de potasio dentro y fuera de las células nerviosas son los responsables de las diminutas corrientes eléctricas que acompañan a los impulsos nerviosos. Sin ellos, no existirían tales impulsos, y la vida resultaría imposible.

La mitad del magnesio orgánico se halla en los huesos. El resto se presenta como iones cargados positivamente en los fluidos orgánicos. El magnesio está relacionado con las reacciones de energía del cuerpo. Las diminutas cargas de energía química pasan de un compuesto a otro, usualmente por medio de la acción de una sustancia conocida como adenosín trifosfato (ATP). Toda reacción que esté relacionada con el ATP requiere la presencia de un ion de magnesio, necesario para el manejo de la energía y, por tanto, de la vida.

Las moléculas de hemoglobina de la sangre contienen cuatro átomos de hierro cada una. La hemoglobina se apodera de las moléculas de oxígeno en los pulmones y las conduce a todas las células del organismo. Esos átomos de hierro de la molécula son los que se encargan del transporte, de modo que tampoco podríamos subsistir sin el hierro.

Si consideramos la hemoglobina y el ATP, vemos por qué el cuerpo sólo necesita unos cuantos átomos de ciertos elementos. Cada molécula de hemoglobina lleva cuatro moléculas de oxígeno de los pulmones a las células, y regresa en busca de un nuevo suministro. De igual forma, cada molécula de ATP lleva una carga de energía, siendo reformada a fin de que pueda ir en busca de otra.

Imaginemos unos albañiles construyendo un edificio. No es necesario un albañil para cada ladrillo. Trabajando bastante, un solo hombre puede colocar un millón de ladrillos. De este modo, aunque se necesiten muchos ladrillos, la casa se construye con unos cuantos albañiles.

De igual forma, nosotros necesitamos mucho oxígeno, pero sólo una pequeña cantidad de hierro; o mucha energía, y solamente una mínima cantidad de magnesio..., sólo para ayudar respectivamente a la hemoglobina y al ATP.

Naturalmente, no siempre sabemos por qué necesitamos un elemento dado. Por ejemplo, ¿por qué necesitamos los iones de magnesio? ¿Por qué no podrían los iones de calcio ayudar al ATP, si químicamente son semejantes a los de magnesio? Una buena pregunta, que aún no tiene respuesta.

El razonamiento de los albañiles también se aplica a otros elementos esenciales que sólo se necesitan en cantidades mínimas, aún menores que la de hierro. Se trata de los «elementos rastro».

Si contamos los átomos, no por diez mil o un millón, sino por cada mil millones, hallamos que en cada mil millones de átomos del organismo hay:

999.998.000 átomos de los tipos ya mencionados

1.500» cinc

170» manganeso

170» cobre

125» flúor

20» yodo

10» molibdeno

5» cobalto.

De éstos, el flúor se halla casi enteramente en los dientes, y no es realmente necesario para la vida, sino para poseer una buena dentadura. Los demás elementos rastro sí son esenciales para la existencia.

Los átomos de yodo forman parte de las moléculas hormonales fabricadas por la glándula tiroidea. Las hormonas de esta glándula controlan la velocidad que el organismo produce y usa

la energía. Para esta labor se precisa únicamente una pequeña parte de hormona, lo mismo que un termostato diminuto puede controlar un gran calentador. La hormona no podría efectuar su tarea sin la presencia del yodo, por lo que este elemento es esencial para nuestro organismo.

De todos los elementos esenciales, el yodo es el más raro de la Naturaleza. A pesar de la escasa cantidad que necesitamos, a veces se halla presente en el suelo de algunas regiones en cantidades insuficientes y, por tanto, en los alimentos vegetales de dichas comarcas y en los animales que de los mismos se nutren. Entonces, es necesario añadir unos pellizcos de yodo al depósito de agua de una ciudad, o utilizar una sal yodada (sal de mesa a la que se han añadido rastros de sustancias que contienen yodo).

El manganeso, el cobre, el cinc, el molibdeno y el cobalto están asociados cada uno con algunas de las enzimas que el organismo necesita para catalizar ciertas reacciones esenciales (ver el capítulo anterior). Por esto, sin tales elementos, las enzimas no podrían actuar.

Tal vez el lector se pregunte de qué puede servirle el cobalto al cuerpo humano, cuando de cada mil millones de átomos, el organismo sólo posee cinco átomos de tal metal.

Pero, ¿son tan pocos esos cinco átomos por cada mil millones? Se calcula que el cuerpo humano contiene unos cincuenta trillones de células, y un átomo es tantas veces más pequeño que una célula, que en cada una, a pesar de ser microscópica, alberga al menos a cien trillones de átomos.

Si cinco de cada mil millones de tales átomos son de cobalto, veremos que cada célula alberga un promedio de quinientos mil átomos de tal metal. Lo que demuestra que ni siquiera el más pequeño de los pellizcos de átomos es tan pequeño.

Y ahora que ya poseemos la receta de los tejidos humanos, que sabemos cuáles son las probabilidades de absorber diversas cantidades de los átomos necesarios para la vida, juntémoslos en la debida proporción y...

Bien, esto formará el tema del capítulo siguiente.

9. La construcción de un hombre

En setiembre de 1965, los químicos de la Ciento Cincuenta Asamblea Nacional de la Sociedad de Química Americana fueron exhortados por su presidente, el doctor Charles C. Price, como sigue:

- Me gustaría sugerir una cuestión de gran importancia pública, a la que la comunidad científica y el Gobierno prestan hoy día una gran consideración: el logro de la síntesis de la vida como objetivo racional...

»Yo creo que hemos progresado en el camino de, al menos, las síntesis parciales de los sistemas vivos como se ha progresado desde los años veinte en la liberación de la energía nuclear..., o desde los años cuarenta en el lanzamiento de un hombre al espacio.

¡Qué atrocidad! ¡La síntesis de la vida! Es tema tan viejo como la civilización.

En los tiempos antiguos existieron las jóvenes de Oro que (según Homero) ayudaron a Hefestos, el dios griego de la fragua, a formar la armadura de Aquiles. En los tiempos medievales, se originó el cuento del *golem*, un ser semejante a un autómatas, hecho de arcilla, al que le infundió vida el rabino Löw, de Praga, mediante el sistema de emplear el nombre inefable de Dios. Y en los tiempos modernos, tenemos el bien conocido cuento de Pinocho, el títere de madera que consigue vivir como un ser humano.

¿Se convertirá en realidad este sueño dorado, o continuará eternamente siendo tan sólo un tema de ciencia-ficción? Esta misma pregunta fue formulada a una asamblea de científicos interesados en el problema. Los científicos son de por sí individuos cautos y por eso algunos situaron la síntesis de la vida en un futuro de miles de años; otros, más atrevidos, dieron un plazo de cientos de años; y otros, mucho más optimistas, sólo de decenios.

Pero cuando le formularon la misma pregunta a Hermán J. Muller, el ginecólogo ganador del Premio Nobel, contestó con firmeza:

- ¡Se logró en 1955!

Seguramente, parece ridículo afirmar que la vida se sintetizó ya en 1955. ¿A qué se refirió Muller?

Bien, si la contestación de Muller suena como una paradoja, ésta se apoya en la definición de la vida, y en la simplicidad del sistema vital.

El individuo no científico, cuando piensa en la «vida», tiende a pensar en sistemas muy complicados. Así, piensa en él como hombre. Si medita en la fabricación de la vida sintética, conjura recuerdos de Frankenstein. Puede imaginarse el cuerpo de un hombre artificial, yacente sobre una mesa de operaciones, mientras que el científico le «insufla» la vida por medio de una radiación exótica o un producto químico.

Y sin embargo, con toda seguridad, no es así como será creada jamás la vida.

¿Por qué moldear a un ser humano, ya completo, de carne y huesos, músculos y cerebro, glándulas y venas? La Naturaleza no lo hace así..., en absoluto. Nadie inicia su existencia como ser adulto. Todos los organismos vivos de cualquier complejidad que sean, incluyendo los seres humanos, son máquinas de construcción propia, que empiezan con suma sencillez (al menos, en comparación con el producto final).

Los organismos vivos se componen de células, de diminutas (usualmente microscópicas) cargas de vida. El cuerpo humano se compone de unos cincuenta trillones de células, pero las formas de vida más sencillas, como la ameba, se componen de una sola célula: son cuerpos unicelulares.

Incluso los organismos multicelulares, que llegan a albergar trillones de células, empiezan con una sola célula: el óvulo fertilizado. Un hombre o una mujer, en realidad, se forma de una burbuja de gelatina viva, una burbuja que apenas puede verse a simple vista bajo una luz muy potente. Desde este óvulo fertilizado, debidamente alimentado en el útero femenino por la placenta materna, en un período de nueve meses se forma un niño que contiene trillones de células.

Para crear a un hombre, pues, sería suficiente crear un óvulo fertilizado. Sintetizar el óvulo es difícil, mas no tanto como sintetizar un ser adulto, un hombre ya completamente formado. Una vez formado el óvulo, puede continuar su expansión. Claro que ha de ser alimentado

constantemente, pero en la actualidad conocemos casi la capacidad de hacerlo.

Los biólogos pueden ya mantener los órganos aislados, y hasta fragmentos de tejido vivo, durante un tiempo considerable. Antes de la Segunda Guerra Mundial, el famoso cirujano Alexis Carrel consiguió mantener el corazón de un embrión de pollo vivo y en crecimiento (tenía que reducirlo periódicamente) durante más de treinta y dos años. Fue una proeza, puesto que tenía que adoptar precauciones especiales para impedir que los tejidos se infectasen bacteriológicamente. Hoy día, con el descubrimiento de los antibióticos, esto ya no sería problema y los tejidos podrían vivir con más facilidad.

En cuanto al óvulo fertilizado, también en esto se han realizado grandes progresos. Con la tecnología actual es posible transferir un óvulo fertilizado de un cuerpo a otro, y desarrollarlo en éste. Hace setenta años ya se hizo esto con unos conejos. Y se ha realizado en casi todos los laboratorios del mundo, con animales de granja; y, dentro de la misma especie, un útero extraño produce a menudo una cría normal. Una oveja maravillosa dio a luz a once corderos en una sola temporada, cuando lo normal son uno o dos.

Lo que impide hacer lo mismo con los seres humanos es más el respeto que la falta de medios o conocimientos. En 1961, el doctor Danielle Petrucci, de Bolonia, Italia, extrajo un óvulo femenino sin fertilizar de un ovario de mujer, lo fertilizó dentro de un útero artificial de cristal, y allí vivió y creció por algún tiempo el embrión.

Se ha sugerido en varias ocasiones que las células espermáticas de un hombre podrían congelarse y mantenerse vivas a fin de que sus genes pudiesen transmitirse a muchos más retoños de los que podría producir en una existencia ordinaria.

Hasta ahora, los óvulos fertilizados sólo se han desarrollado fuera del claustro materno en las primeras fases. El proceso es detenido antes de que se formen los órganos. Si pudiese obtenerse el equivalente de una placenta, no habría la menor dificultad en formar un ser vivo completo desarrollado artificialmente de la unión de una célula óvulo y otra espermática. A este proceso se le denomina ya «ectogénesis».

La ectogénesis sería, plenamente desarrollada, de un gran valor científico para aprender cómo evoluciona la vida, a través de una observación continua.

Naturalmente, aquí nos enfrentamos con los aspectos antiutópicos de este posible suceso futuro. ¿Quién podría decidir cuáles serían los mejores padres potenciales? ¿Qué utilizaríamos como base para tal calificación? En la actualidad, nuestros conocimientos todavía son muy escasos para poder implantar una sociedad ectogénica.

Claro que una sociedad ectogénica no realiza el sueño de la vida creada por el hombre. No es suficiente tomar una vida que ya existe..., en forma de un óvulo fertilizado, y hacerla progresar. En tal caso, sólo efectuamos dentro del cristal lo que el cuerpo humano hace con carne.

¿Cómo podríamos fabricar una célula partiendo de materiales no vivos? De esta manera conseguiríamos formar un espécimen vivo totalmente nuevo, que no le debiera nada a una vida anterior.

Lo cual es muy fácil de decir..., pero muy difícil de hacer. Una simple célula es un sistema muy complejo, mucho más, a pesar de su tamaño microscópico, que los transatlánticos y los rascacielos más gigantescos que el hombre pueda construir.

Sí, cierto, podríamos investigar en la Naturaleza y tratar de averiguar cómo se forma una célula en ella. La respuesta, por lo demás, es sencilla. Todas las células existentes en la actualidad se han formado de otras células. Todas las células de un cuerpo humano se han formado del original óvulo fertilizado que fue el comienzo de dicho cuerpo. Cuyo óvulo también se formó de un gameto masculino y otro femenino, los que a su vez procedían de otras células..., y así sucesivamente durante millones de años.

Para volver al verdadero principio, las células deberían formarse de ninguna célula... ¿Y cómo sería esto posible? No lo sabemos. En este aspecto, sólo podemos formular suposiciones razonables.

Sería preciso poseer una mente muy osada para que un científico empezara a sospechar que el paso de la no célula a la célula, de la no vida a la vida, pudo tener lugar como un proceso químico, casual, ciego. Nuestra cultura occidental se halla demasiado imbuida por la sacramentalidad y la exclusividad de la vida humana para creer que se trata de un producto casual.

Un bioquímico de la Unión Soviética, país oficialmente ateo en su filosofía de la vida, A. I. Oparin, empezó a escribir sobre este tema en 1924, afirmando que las células se iniciaron a través de unos fenómenos simples e inevitables, a la par que naturales.

Consideró, por ejemplo, la formación natural de las gotitas de un líquido en suspensión dentro de otro, en las condiciones que prevalecen en el océano primitivo.

Avanzando en esta dirección, casi una generación más tarde, Sidney W. Fox, del Instituto de la Evolución Molecular de la Universidad de Miami, preconizó aún más esta teoría.

El profesor Fox empieza con un sistema químico destinado a representar las condiciones que los químicos suponen que se hallaban en la Tierra primitiva hace varios miles de millones ^[3] de años, y sujeta todo el sistema al calor..., calor que en la Tierra era formidable gracias al Sol.

Empezando con compuestos sencillos del tipo que podían existir hace millones de años, halla que el calor solo basta para formar aminoácidos, y luego les fuerza a unirse en largas cadenas para producir unos compuestos semejantes a las proteínas, a los que denomina «proteínoides».

Éstos actuaban mucho mejor a temperaturas por encima del punto de ebullición del agua, y algunos biólogos dudaron de que tal proceso pudiese tener lugar en la Tierra primitiva, sin que los proteínoides se descompusieran ya al formarse. Fox, no obstante, traza una imagen de proteínoides formándose sobre las cenizas calientes de un volcán, siendo disueltos y alejados por una lluvia cálida mucho antes de que tengan ocasión de descomponerse.

Fox halló que cuando sus proteínoides se disolvían en agua caliente, y dejaba luego enfriar la solución, las mayores moléculas semejantes a proteínas tendían a aglomerarse en forma de pequeños globos a los que llamó «microsféricas».

Dichas microsféricas semejan, en ciertos aspectos, células muy simples. En tamaño y forma son como diminutas bacterias. Se hallan rodeadas de una especie de membrana igual que las células. Pueden aumentar y disminuir mediante cambios apropiados del fluido ambiente, lo mismo que hacen las células. Pueden producir vástagos, que a veces crecen y se desgajan. Pueden dividirse en dos, o unirse en cadenas. El material que se halla dentro de estas microsféricas presenta ciertas reminiscencias con las enzimas del tejido vivo.

Sin embargo, bajo ningún concepto pueden considerarse vivas a las microsféricas, pero ¿es posible hablar de vida o no vida, como si ambos extremos estuvieran separados por una inmensa frontera? Muchos biólogos no lo creen así. La vida y la no vida se hallan separadas por una amplia zona dentro de la cual hay objetos que pueden considerarse como progresivamente más vivos y menos no vivos. En cuyo caso, las microsféricas, aunque muy lejos de residir en el lado completamente vivo de la zona límite, se hallan al menos muy lejos de la parte no viva.

Tal vez Fox y otros científicos logren perfeccionar más las microsféricas, consiguiendo trasponer las fronteras de la vida indudable. Y tal vez no. Es muy difícil predecirlo.

Tal vez sea un error tratar de saltar de la nada a la célula. Quizás una célula no sea el objeto más idóneo como meta inmediata de los sintetizadores de la vida. Es probable que la célula no fuese el primer producto de la evolución natural de la vida. La célula, tal como la conocemos en la actualidad, tal vez no sea un ejemplo de la vida primitiva, ni mucho menos, y sí el producto final de un largo período evolutivo. Durante muchos millones de años, antes de que surgiese la primera célula, pudo haber en existencia otras estructuras más simples. Una vez formadas las células, no obstante, su superior eficiencia hizo desaparecer a las demás estructuras «precelulares», dejándonos hoy en un mundo de vida en que la célula nos parece el principio más simple sólo porque ha borrado a todos sus competidores.

Pero las estructuras precelulares no desaparecieron sin dejar rastro.

Dentro de cada célula hay cuerpos más pequeños. Por ejemplo, el núcleo de una célula contiene los cromosomas que controlan todo lo relativo a la herencia. Fuera del núcleo se encuentran las mitocondrias, que contienen la maquinaria relacionada con la producción de energía. En las células vegetales se hallan los cloroplastos, que son versiones vivientes de la batería solar, destinadas a convertir la energía del Sol en la energía química del alimento almacenado.

Todos estos «organitos» (por diminutivo de «órganos»), podrían representar los restos de las primitivas estructuras precelulares; las cuales habrían concluido por existir en una cooperativa, formando estructuras mucho más complejas y eficaces que aisladamente. Estas

cooperativas precelulares (que hoy llamamos células) acabaron por dominar al mundo.

De esos «organitos», los más fundamentales son los cromosomas. Cada especie contiene un número característico de ellos en todas las células. Cada célula humana posee cuarenta y seis cromosomas, como fideos romos, espesos y entremezclados, en ciertas fases del crecimiento de la célula.

Cada vez que una célula se divide en dos, cada cromosoma sufre unos cambios que producen dos cromosomas, réplicas perfectas del original. A este proceso se le llama «duplicación». Si seguimos el rastro de los cuarenta y seis cromosomas de cada una de los cincuenta trillones de células del cuerpo humano adulto, hallamos que se originaron de los cuarenta y seis cromosomas del óvulo fertilizado original. Éstos se obtuvieron de dos progenitores, la mitad de la célula espermática del padre o gameto masculino, y la otra mitad de la célula del óvulo materno, o gameto femenino. Dichos cromosomas derivaron de los gametos paternos..., y así sucesivamente.

Los cromosomas son los que vigilan la formación de enzimas dentro de una célula. En cada generación, los cromosomas de dos progenitores forman una nueva combinación; además, siempre se producen cambios de orden menor de los cromosomas cuando uno pasa de los padres a los hijos. Como resultado de esto, jamás puede haber dos individuos (aparte de los mellizos idénticos procedentes del mismo óvulo) que tengan precisamente los mismos cromosomas, ni dos individuos con las mismas enzimas.

Éstas supervisan la función química de cada célula, dándole a cada ser vivo su vida y su individualidad. Por tanto, podemos considerar a los cromosomas como el verdadero principio de la célula, lo mismo que ésta (en forma de óvulo fertilizado) en el verdadero principio del adulto global.

Tal vez sea éste el componente que todavía falta en las microsferas de Fox. Si pudiéramos sintetizar los cromosomas e introducirlos en las microsferas, habríamos creado indudablemente vida. O tal vez, si formásemos cromosomas podríamos impulsarlos a formar sus propias células.

Esto sería posible, puesto que existen pruebas (aparte de la simple lógica) de que los cromosomas son más fundamentales que las células. Éstas no existirían sin los cromosomas, y en cambio, éstos existen sin células.

Estos corpúsculos, que semejan cromosomas, son los que llamamos «virus». Son mucho más delgados que una célula y de estructura mucho más simple. Tienen el tamaño de un cromosoma y se parecen a éste en su estructura química y su función.

Los corpúsculos estilo virus existían hace ya miles de millones de años, antes de la evolución de las células, siendo capaces de reproducirse independientemente. Pudieron llevar en sí mismos toda la capacidad de crecimiento y multiplicación y pudieron, por tanto, haber sido más complejos que los modernos virus.

Puesto que los existentes hoy día han sido malogrados por la disponibilidad de las células. El virus moderno es un parásito completo que ha abandonado el material necesario para vivir con independencia, limitándose a mantenerse fuera de la célula. Una vez logra penetrar en una célula apropiada, emplea la maquinaria química para sus propósitos; se multiplica a expensas de las necesidades de la célula y a veces mata a su anfitriona en este proceso.

Al principio hubo dudas en si considerar como entes vivos a los virus, pero la mayoría de biólogos se han decidido en favor de su vitalidad. En parte, esto es lo que da pie al desacuerdo existente entre los científicos respecto a cuándo puede la vida ser sintetizada. Si por vida entendemos células complejas, la vida sintética puede aún hallarse muy lejos; si, por el contrario, consideramos como ser vivo a un virus, el objetivo está mucho más próximo.

Ordinariamente, por ejemplo, un virus se reproduce a sí mismo dentro de la célula, utilizando las enzimas necesarias, las materias primas, y las fuentes de energía presentes allí en abundancia. Pero supongamos que tomamos una pequeña cantidad de virus y le suministramos los materiales necesarios para que actúe *fuera* de la célula.

En octubre de 1965, el profesor Sol Spiegelman, de la Universidad de Illinois, informó respecto a su labor en esta orientación. Consiguió producir virus en un tubo de ensayo. En cierto sentido, esto significa una síntesis de la forma más simple de vida, aunque en el verdadero sentido no sea una síntesis completa. Tuvo que emplear un fragmento de virus como iniciador, de modo que el proceso se asemejó al de un pollito (o un ser humano) creciendo a partir del huevo. Lo que deseáramos realizar es una vida sintética *perfecta*: vida formada de un sistema

que no contuviese vida en absoluto.

Para estudiar mejor estas posibilidades, examinemos más de cerca la estructura química del cromosoma o del virus.

El interior de un cromosoma o de un virus, está compuesto por una larga cadena enrollada de átomos formando una molécula de ácido nucleico. La variedad de este ácido en los cromosomas y los virus más complejos es el «ácido desoxirribonucleico», abreviado usualmente como ADN. A su alrededor, como protección, hay una capa de proteínas.

Las moléculas de ADN y de proteínas son muy complejas y en su interior poseen una gran capacidad para la variación (ver Capítulo 2). Los bioquímicos conocen desde hace más de un siglo la versatilidad de las proteínas, en tanto que los ácidos nucleicos son unos recién llegados en la conciencia biológica. Además, las proteínas están compuestas de veinte tipos de unidades diferentes, en tanto que los ácidos nucleicos sólo de cuatro. Por tanto, a mediados de la década de los 40, se dio por descontado que eran las proteínas, y no el ADN, la clave química del cromosoma o el virus. Pero a comienzos de 1944, todas las pruebas se inclinaron asombrosamente en favor del ADN.

Como ejemplo de un experimento de esta clase, podemos citar el llevado a cabo en 1955 por Heinz Fraenkel-Conrat, investigador bioquímico del ácido nucleico de un virus. De modo algo complejo, consiguió separar el núcleo de los virus de su envoltura. Separados de esta forma, ni la capa sola ni el núcleo solo podían infectar a las células. El virus parecía muerto. Después, mezcló de nuevo las envolturas y los núcleos, y algunos virus volvieron a poder infectar a las células.

Durante un tiempo, fue como si hubiesen matado a un organismo vivo, para resucitarlo después. Aunque los organismos objeto de tal experimento perteneciesen a las formas más simples de vida, la hazaña mereció ser destacada en los periódicos.

Sin embargo, resultó que ni se había matado la vida ni había sido resucitada. El núcleo del ácido nucleico poseía una vida propia. De vez en cuando, conseguía alguno penetrar dentro de una célula, infectándola eficazmente, sin la presencia de la proteína envolvente. La proteína ayuda al ácido nucleico a penetrar en las células (como un coche ayuda a un hombre a trasladarse de Nueva York a Chicago), pero, con ciertas dificultades, el ácido nucleico también puede hacerlo solo, lo mismo que un hombre podría recorrer a pie el trayecto Nueva York-Chicago, en caso de absoluta necesidad, o por capricho.

También se demostró que cuando un virus intacto invade una célula, sólo lo hace el ácido nucleico sin la proteína. Ésta, tras haber facilitado la entrada del núcleo, permanece fuera de la célula, aunque supervisa la formación de una envoltura de proteína (distinta a las proteínas que formaría la célula atacada por sí sola).

Los científicos empezaron a centrar su atención, por consiguiente, en el ácido nucleico, a partir de 1944, particularmente en el ADN, su variedad más importante. Un médico neozelandés, Maurice H. F. Wilkins, que fue uno de los científicos que trabajaron en la bomba atómica durante la Segunda Guerra Mundial, estudió el ADN bombardeando sus moléculas con rayos X. Las fotografías obtenidas fueron estudiadas por un colega inglés, el bioquímico Francis H. C. Crick, y su colaborador norteamericano, doctor James D. Watson (que en su juventud fue uno de los Chicos Quiz de la radio). En 1953, descubrieron la estructura del ADN, demostrando que se trataba de una cadena doble de cuatro unidades diferentes, pero estrechamente vinculadas entre sí, llamadas «nucleótidos».

La molécula ADN presenta innumerables fórmulas posibles, según el orden en que se hallen distribuidas las diferentes unidades. Watson y Crick demostraron cómo una molécula podía formar nuevas moléculas de la misma y exacta fórmula.

Otros bioquímicos, trabajando arduamente, descubrieron la manera en que la fórmula del ADN era trasladada a la fórmula análoga de una proteína, de forma que las porciones específicas de la molécula ADN produjese enzimas específicas, controlando de este modo la química celular. El traslado de «instrucciones» de la fórmula del ácido nucleico a la fórmula enzimática se denomina «código genético».

Aparentemente, pues, la reacción química fundamental de la vida es la capacidad de la molécula ADN de replicarse. Ésta es toda la ley, y lo demás es complementario.

Por lo tanto, si fuésemos capaces de formar una molécula ADN a partir de sustancias simples, no vivas, habríamos sintetizado el mismísimo principio de la vida. Naturalmente, existiría

aún un abismo casi insondable entre esta síntesis y la del hombre, pero no dejaría de ser un auténtico comienzo. Ya habríamos cruzado el umbral entre la no vida y la vida.

¿Cómo cruzó la Naturaleza este umbral? Debió hacerlo hace miles de millones de años, cuando no existían aún enzimas que realizasen esta tarea, ni ácidos nucleicos que sirviesen de fotocopias.

Es posible que en la primitiva Tierra, falta de vida, sólo hubiesen estado presentes unas moléculas simples, en cierta cantidad en el océano, donde se cree que se originó la vida, y en la atmósfera. La naturaleza de dichas moléculas puede deducirse de la composición global de la primitiva Tierra (conocimiento basado en la composición del Sol y del Universo en general), y en las leyes conocidas de las combinaciones químicas.

Empecemos con tales moléculas: agua, amoníaco, metano, cianuro de hidrógeno, etcétera, y añadámosles energía en forma de radiación ultravioleta, radiactividad, corrientes electrónicas o rayos y relámpagos (todo lo cual pudo estar presente en la primitiva Tierra). ¿Qué ocurrirá?

Charles Darwin, el fundador de la teoría de la evolución mediante la selección natural, consideró esta cuestión hace cien años y se preguntó si los productos químicos de los tejidos vivos no se habrían construido con este sistema; si no habría habido una «evolución química» además de la evolución de las especies.

El primero que trató de investigar experimentalmente este asunto fue Melvin Calvin, de la Universidad de California. En 1951, comenzó a observar el efecto de la radiación energética al derivar compuestos complejos de los simples.

En 1952, Stanley L. Miller, de la Universidad de Chicago, avanzó aún más. Colocó los elementos químicos simples del tipo presente en la tierra primitiva en un recipiente absolutamente libre de materia viva y los sometió a la acción de una descarga eléctrica durante una semana. Una vez hecho lo cual, detectó la presencia de unas sustancias más complejas que las iniciales, incluyendo cuatro aminoácidos diferentes, cada uno perteneciente a una variedad presente entre las unidades de proteínas formadas por su propia naturaleza.

Desde entonces, otros químicos como Philip H. Abelson, del Instituto Carnegie, y Joan Oró, de la Universidad de Houston, han experimentado de forma semejante. Bajo el impacto de diversas formas de energía, se formaron compuestos complejos a partir de material inicial más simple. Luego, usando esos compuestos complejos como material inicial, lograron elementos compuestos más complejos todavía. Todos ellos eran similares a los componentes clave de los tejidos vivos. La ruta natural seguida por esta formación ciega y casual parecía apuntar directamente a la vida.

Un ceilandés-americano, el bioquímico Cyril Ponnampereuma, que trabajaba en el Departamento de Investigaciones Ames de la NASA, demostró la producción de porciones de moléculas nucleótidas, que son los bloques constructores de los ácidos nucleicos. Un nucleótido completo contiene átomos de fósforo. Por tanto, se añadieron a la mezcla sustancias que contenían fósforo simple. Junto con Carl Sagan y Ruth Mariner, Ponnampereuma inició un curso de experimentación que concluyó con la producción de una molécula nucleótida completa. En 1963, los nucleótidos se habían formado en la particular alta energía que podía usarse para producir ácidos nucleicos.

En septiembre de 1965, Ponnampereuma anunció que había dado otro paso adelante. Consiguió obligar a dos nucleótidos a juntarse en un «dinucleótido», que contenía la misma clase de enlace que el que une a los nucleótidos para formar ácidos nucleicos naturales.

Por consiguiente, está claro que los científicos poseen una cadena lineal de síntesis que empieza desde los compuestos simples que existían en la Tierra, cuando nuestro planeta comenzó a tomar su forma actual, hasta llegar a las moléculas que apuntan directamente a los ácidos nucleicos. Y en esta cadena no hay baches.

De esta forma se consigue la imagen de los cambios inevitables a través del nivel molecular. Se empieza con un planeta como la Tierra, con un complemento de compuestos simples que pueden existir en ella, se añade la energía de un Sol cercano, y se termina con el ácido nucleico. Esto no puede negarse, y lo único que necesitan los científicos es dirigir el proceso y acelerarlo.

La síntesis de los nucleótidos mediante los convenientes métodos químicos (no necesariamente como los procesos casuales que tuvieron lugar en los sistemas seguidos por Ponnampereuma), ya es algo viejo. El químico escocés, Alexander R. Todd (hoy día barón Todd

de Trumpington) había ya sintetizado varios nucleótidos por los años cuarenta.

Pero, ¿y el paso de los nucleótidos a los ácidos nucleicos? En 1955, el científico español Severo Ochoa, en una Universidad de Nueva York, empezó con una solución de nucleótidos en forma de alta energía y con enzimas apropiadas, y formó moléculas muy semejantes a los ácidos nucleicos naturales..., aunque en la mezcla que sirvió de modelo no había una sola molécula de ácido nucleico.

Fue a esta síntesis del ácido nucleico partiendo de moléculas simples a la que Muller debió referirse al declarar que la vida se había sintetizado en 1955.

Naturalmente, las moléculas de ácido nucleico sintetizadas sin un modelo se juntan al azar y tienden a ser más simples que las naturales. Esos ácidos nucleicos sintéticos no encajan en las funciones de ninguna célula ni pueden penetrarlas y multiplicarse en ellas. Pueden poseer una vida en potencia, pero no pueden pasar de la potencialidad a la acción.

El biólogo se halla en una fase en que puede:

1) Formar moléculas de ácido nucleico modeladas sobre alguna molécula presente en el sistema. Tales moléculas pueden considerarse como vivas, pero no formadas de materias iniciales completamente no vivas.

2) Formar moléculas de ácido nucleico mediante materias iniciales completamente no vivas. Tales moléculas no pueden fabricarse para demostrar los fenómenos asociados con la vida.

Formar una molécula de ácido nucleico indudablemente viva con materiales iniciales completamente no vivos, se halla aún fuera del poder de la ciencia..., aunque seguramente no por mucho tiempo, siendo a esto a lo que el doctor Charles C. Price se refirió en la declaración con que comencé el presente capítulo.

Examinemos las posibles consecuencias que se derivarían del hecho de que los científicos lograsen un día formar ácidos nucleicos sintéticos, virus sintéticos, cromosomas sintéticos..., vida sintética.

¿Habría peligros inmediatos? Supongamos que los científicos fabricasen un virus nuevo que pudiese invadir una célula; un virus nuevo contra el que el hombre no tendría ni habría desarrollado tal vez ninguna defensa. ¿Podría este virus inimaginablemente mortal borrar de la Tierra a toda la Humanidad y quizás incluso toda la vida celular? Naturalmente, las probabilidades son muy escasas. La invasión y explotación de una célula por un virus es un fenómeno extraordinariamente complejo. Que pueda tener lugar es el resultado de miles de millones de años de evolución lenta, y los virus están usualmente adaptados a ser parásitos sólo de algunas células de ciertas especies.

Para suponer la formación de semejante virus destructor, casualmente, hay que dar por descontado que él mismo se armonizaría con todas las idiosincrasias de algunos tipos de las células humanas, y que poseería la capacidad de destruirlas a todas, lo cual es demasiado improbable. No es matemáticamente imposible, cierto, pero es sumamente improbable.

Entonces, examinemos otras posibilidades más constructivas y optimistas.

Es posible que esté alboreando el día en que podamos duplicar un prístino triunfo de la Humanidad, a nivel más sutil y sofisticado.

Una vez, en las nebulosas épocas prehistóricas, el hombre fue un acaparador de alimentos. Se comía a los animales salvajes que lograba matar o los frutos y bayas que conseguía coger. Si tenía poca suerte en la caza o en la recolección de frutos, pasaba hambre.

Luego, llegó el momento en que la Humanidad aprendió a domesticar a los animales, a alimentarlos, a cebarlos y a vigilarlos, a utilizar su leche, su lana, su trabajo, y a matarlos para saciar su hambre con su carne. También aprendió a cultivar los vegetales y a recolectarlos.

De devorador de alimentos pasó a ser pastor y agricultor, pudiendo conseguir más comida y con más facilidad. La Humanidad tuvo su primera explosión de población como resultado de estos descubrimientos hace unos diez mil años.

Respecto a las sustancias celulares, todavía nos hallamos en la primera fase de devorar comida. Por ejemplo, fijémonos en la insulina. Como se ha dicho, es una proteína producida por una glándula llamada páncreas. No es una enzima sino una hormona necesaria para el debido funcionamiento del organismo. En su ausencia, o casi ausencia, el organismo humano sufre de diabetes (ver Capítulo 3).

Un hombre diabético puede llevar una vida normal si se le administra inyecciones de insulina con regularidad. Ésta se obtiene del páncreas del ganado y los cerdos sacrificados.

«Devoramos» la insulina del páncreas que tenemos más a mano..., un páncreas exactamente por cada animal sacrificado. Lo cual significa que el suministro es limitado.

En realidad, este suministro es suficiente, pero, ¿por qué extraer esta insulina si existe la posibilidad de poder obtenerla de las «hordas» de moléculas? Supongamos que no «sustraemos» la insulina de las células pancreáticas sino de las moléculas de ácido nucleico que presiden la formación de la insulina. Si «pastoreásemos» este ácido nucleico, manteniéndolo bien nutrido con las materias primas que necesita, podríamos formar la insulina en cantidades indefinidas, igual que la vaca produce la leche. Entonces, poseeríamos nuestro propio suministro de insulina y no dependeríamos de los animales que sacrificamos. Además, formaríamos réplicas de ácido nucleico, a buen seguro y nunca más tendríamos que recurrir a los animales.

¿Podemos prever un futuro en que se construyan factorías donde la maquinaria sean ácidos nucleicos submicroscópicos? ¿No podría la Humanidad reunir una serie de centenares o millares de enzimas complejas y otras proteínas? Algunas de las primeras se utilizarían para provocar las reacciones químicas de modo más conveniente que con los métodos actuales. Otras podrían usarse en medicina o para ayudar a la fabricación de vida.

Es incluso posible que algunos de los materiales formados sirviesen de comida. La proteína manufacturada podría utilizarse para fortificar los alimentos naturales en las partes subdesarrolladas del Globo. Al principio resultaría un proceso caro, pero los alimentos así obtenidos se compondrían de sustancias nutritivas puras, sin hueso, cartílagos ni grasas, y de un valor alimenticio muy elevado.

El hombre medio de la Tierra seguramente se resistiría a la introducción de estos alimentos «antinaturales» en su dieta, pero, ¿y en las colonias de la Luna o de Marte? En ausencia de ganado y de vegetales, y considerando el coste elevadísimo del transporte de ambos por vía espacial, seguramente sería preferible utilizar ácidos nucleicos. Las materias primas de las moléculas de ácidos nucleicos podría extraerse de los minerales existentes en dichos planetas. (A ello contribuirían en gran medida la caliza y los silicatos hidratados).

En realidad, la colonización del Sistema Solar no será una aventura práctica hasta que hayamos dominado adecuadamente las moléculas de ácido nucleico.

La Humanidad tampoco necesita seguir las hazañas de las células con tremenda exactitud. Al fin y al cabo, los ácidos nucleicos no siempre producen réplicas *exactas* de sí mismos. A veces, en la duplicación se introducen ligeros errores. Esto no es muy grave en sí, ya que los errores ocasionales dan por resultado una nueva clase de ácido nucleico útil para las células en que tal error concurre. Son precisamente estos errores casuales los que han dado por resultado el proceso evolutivo a lo largo de los dos mil millones de años, o más, en que tardó el hombre en surgir desde la ameba.

El hombre incluso puede alentar la aparición de tales cambios en los ácidos nucleicos durante sus duplicaciones. Tratándolos con calor, radiación o ciertos productos químicos, aumenta el número de errores. Los nuevos ácidos nucleicos forman moléculas de proteína (muchas de las cuales son enzimas), también modificadas, con fórmulas levemente distintas a la original. La mayor parte de tales proteínas serían inútiles, pero algunas poseerían propiedades nuevas e importantes que no se hallan en la Naturaleza.

(Los químicos ya han experimentado este proceso. Hace cien años aprendieron a fusionar productos químicos que no se encuentran en la Naturaleza. Con lo cual, descubrieron nuevos tintes, nuevos medicamentos y hasta nuevas moléculas gigantes, como las de las fibras sintéticas y los plásticos. En muchos casos, las nuevas sustancias perfeccionaron a la Naturaleza.)

¿Por qué, pues, no formar nuevos ácidos nucleicos que formarían proteínas nuevas que, a su vez, mejorarían a las de la Naturaleza, de una forma u otra? Aparte de «pastorear» a nuestros ácidos nucleicos, «criaríamos» nuevas variedades, tal como hacemos con el ganado o con el trigo.

¿Podría ser aplicada directamente a los seres humanos la nueva tecnología de los ácidos nucleicos?

Sigamos especulando.

Cada cromosoma está compuesto de centenares o de miles de unidades de ácido nucleico, cada cual capaz de alentar la formación de proteínas particulares. El nombre más antiguo de

tales unidades es el de «genes». Todo ser humano posee sus propios genes, y cada uno de nosotros, probablemente, tiene en sus células algunos genes defectuosos, incapaces de formar ciertas enzimas de un modo apropiado.

A menudo, este defecto no es grave; a veces, sí. Los científicos están aprendiendo a identificar los genes mediante diversas técnicas. En 1962, Robert S. Edgar, del Instituto Tecnológico de California, identificó la mitad de los genes presentes en un virus particular, descubriendo la naturaleza de la enzima que cada uno producía.

Eventualmente, dada una serie de cromosomas de una célula, pueden desarrollarse técnicas que determinen la naturaleza de cada gen ^[4] presente. Todas las células de un individuo poseen la misma serie de genes, de modo que este «análisis genético» puede realizarse en las células blancas de una gota de sangre, residiendo todo el proceso en un simple pinchazo.

Tal vez llegue el momento en que todos los individuos pasen por este análisis al nacer. Y una vez analizada e identificada la serie de genes, ¿podría hacerse algo al respecto? Tal vez. Sería posible, seguramente, gracias a esta ficha de genes defectuosos, predecir el futuro estado de salud del recién nacido, y adoptar las adecuadas medidas preventivas; incluso podría proyectarse su carrera de acuerdo con sus potencialidades físicas. La ficha del análisis genético llegaría a ser una parte esencial del hombre, que llevaría constantemente encima, con un duplicado en un Departamento Central.

Aunque todas las células de un ser humano posean la misma serie de genes, éstos no se expresan siempre del mismo modo. Las células se especializan, y unas se convierten en células nerviosas, otras en musculares, y en fin, en epidérmicas, hepáticas, pancreáticas..., y así sucesivamente. Cada célula posee su propia serie de enzimas, lo que significa que en cada clase de célula unos genes no pueden actuar, en tanto que otros han de hacerlo en doble tiempo.

Los científicos aún ignoran exactamente qué es lo que obstruye la labor de unos genes y alienta la de los demás; pero éste es el problema más urgente con que se enfrentan hoy día los bioquímicos, problema que han atacado desde diversos ángulos. Unos buscan las proteínas contenidas en los cromosomas, que podrían constituir el agente obstructor. Otros estudian los productos de la acción enzimática; los mismos, podrían relajar la acción de las enzimas que los producen. Y este «retroceso» podría entrañar la obstaculización de algunos genes. Naturalmente, otros bioquímicos examinan otras posibilidades.

Supongamos que ya sabemos lo bastante para desobstruir a los genes. En este caso, tendríamos células poseedoras de todas las capacidades del primitivo óvulo fertilizado.

Si de este modo pudiéramos «desespecializar» el muñón de un brazo o una pierna amputada, ¿podríamos ser tratados de forma que el muñón volviera a convertirse en el brazo o la pierna completos? ¿Podrían regenerarse los nervios de modo que la parálisis fuese ya una cosa del pasado? ¿Podríamos reconstruir los ojos, para que la ceguera fuese ya sólo un mal recuerdo para la Humanidad? Retrocedamos más y llevemos el análisis de los genes al original óvulo fertilizado. Supongamos que a un óvulo fertilizado se le permitiera dividirse en dos, separando una de las células nuevas. No se ha causado ningún perjuicio, puesto que la otra célula podría dividirse de nuevo en dos, una y otra vez, produciendo un individuo completo.

(En realidad, los mellizos idénticos nacen cuando el primer par de células formadas por la división del óvulo fertilizado se separa, siguiendo cada célula su propio rumbo.) La célula separada podría utilizarse para el análisis genético. Entonces, sería posible decir desde el mismo principio si podía permitírsele a la célula restante desarrollarse en embrión o no.

Supongamos que hallamos que un gen clave del óvulo fertilizado es defectuoso, si bien la fórmula es muy buena, y dará vida a un ser humano superior. Sería una lástima perder esta posibilidad por culpa de un gen. ¿Podría entonces sustituirse el gen defectuoso por otro procedente de un «banco de genes»? En 1964, Muriel Roger, de la Universidad Rockefeller, manifestó haber transferido un gene individual de una célula bacterial a otra. La célula que recibió el gen pudo entonces producir una nueva enzima que antes no había podido crear. Por tanto, la idea del trasplante de los genes no es tan monstruosa.

Supongamos asimismo que un óvulo fertilizado tiene varios genes defectuosos, demasiados para salvar a un individuo completo. Sin embargo, podría ocurrir que ninguno de tales genes

defectuosos impidiese la función del corazón o los riñones. ¿Sería posible, entonces, bloquear varios genes, de manera que se especializase al momento y desarrollase sólo un corazón o un riñón? De este modo, tal vez podríamos utilizar un suplemento de nuevos órganos para su trasplante.

Todo esto parece una locura, cierto, pero el progreso avanza a una velocidad enorme. Y esos sueños tal vez sean una realidad en menos de diez años. Setenta años solamente después del primer vuelo tambaleante y desalentador de los hermanos Wright, los aviones a propulsión giran ya en torno a la Tierra. Cuarenta años después de que Robert H. Goddard lanzase al aire el primer cohete de impulsión líquida a unos sesenta metros de altura, los cohetes han llegado ya a Marte, y al lejano Júpiter, para ir a perderse en los insondables abismos de otras galaxias.

¿Quién sabe, pues, en qué fase de la bioquímica estaremos en el año 2000..., año que muchos de nosotros aún veremos? La capacidad de la bioquímica, naturalmente, puede causar cierta aprensión. ¿Sabemos ya lo bastante para jugar a dioses con la vida y con los seres vivos? Tal vez no, pero no sería la primera vez que el hombre ha corrido grandes riesgos. Desde que empezó a aplicar su inteligencia a la modificación de su ambiente ha estado jugando a dios. Cuando el hombre domesticó a los animales, inventó la agricultura y construyó las ciudades, creó la «civilización». Esto alteró profundamente su forma de vivir e introdujo problemas que antes no existían. Mas en conjunto, todo ello representó una mejoría, y nadie quería volver a los tiempos primitivos.

Cuando el hombre inventó la máquina de vapor, dominó la corriente eléctrica, diseñó el motor de combustión interna e ideó la bomba nuclear, creó una tecnología que nuevamente cortó las amarras de su forma de vivir. Bien sabe Dios que con ello se han creado inmensos problemas y, sin embargo, muy pocos de nosotros querríamos retroceder a la era preindustrial.

Sin la menor duda, una era bioquímica y bioindustrializada nos presentaría otra serie de cambios cruciales, de problemas aplastantes, pero a juzgar por las experiencias pasadas, el hombre conseguiría salir airoso de todo. Y los beneficios serían superiores a las catástrofes.

Además, si el hombre empezase realmente a programar una serie de mejoras para sí mismo, sería el hombre perfeccionado, o sea, casi el superhombre, el que buscaría las nuevas mejoras.

Cada logro resultaría más fácil que el anterior y, gracias a esta espiral ascendente, la Humanidad podría conseguir al fin su salvación y su salud, para emerger a las llanuras vivificadas por el sol del potencial humano.

Primera parte

(continuación)

Relativa a los más o menos conocido

2. NO VIDA

10. El elemento flamígero

Desde el momento de su descubrimiento, el gas inflamable, el hidrógeno, ejerció un efecto revolucionario sobre toda la Humanidad. Quebrantó viejas teorías y ayudó a formular otras. En dos ocasiones diferentes, condujo a los hombres hacia las estrellas. Ahora apunta hacia los interminables depósitos de energía para las necesidades del hombre futuro.

Su historia comenzó en llamas, pues en el siglo XVII, los primeros químicos produjeron un «aire» nuevo, con el hierro y un ácido, un «aire» que explotaba al ser calentado. Y lo denominaron «aire inflamable».

El químico inglés Henry Cavendish, que estudió la nueva sustancia en 1766, vio que producía algo más notable que una llama. Cuando dicho gas se quemaba y se combinaba con algo del aire (el oxígeno, según se averiguó más adelante), se formaban unas gotas líquidas que resultaron ser de agua. De la llama surgía el agua.

El mundo de la química se sintió maravillado. Durante miles de años se había creído que el agua era un elemento, y que, por tanto, no podía formarse de elementos más simples. Y sin embargo, la combinación de dos gases producía agua.

Al aire inflamable se le designó con un nombre, «hidrógeno», que en griego significa «el que produce agua». La formación de agua mediante el hidrógeno fue una de las claves que permitieron al científico francés Antoine-Laurent Lavoisier barrer las antiguas teorías y establecer los cimientos de la química moderna.

Pero el hidrógeno era un gas maravilloso en diversos sentidos. No sólo formaba llama y agua, sino que era increíblemente ligero. Un litro de aire ordinario pesa solamente un gramo y cuarto. Lo cual ya es muy poco. Pero un litro de hidrógeno sólo pesa una décima de gramo. En realidad, el hidrógeno es la sustancia más ligera que se conoce.

En 1783, los hermanos Montgolfier, de Francia, llenaron una bolsa de seda con aire caliente y la hicieron volar. El aire caliente era más ligero que el frío y la bolsa hinchada flotó por la atmósfera como un corcho flota en el agua. Cuando el aire caliente se enfrió, la bolsa de seda (el primer globo) descendió.

Pero, ¿por qué usar aire caliente? El hidrógeno, el nuevo gas, era muchísimo más ligero que el aire, incluso estando frío. Su poderosa fuerza de elevación podría transportar una barquilla... con hombres dentro.

En los primeros años del siglo XIX, en Europa y América centenares de globos llenos de hidrógeno fueron lanzados hacia el cielo. Para algunos, esto era solamente una aventura emocionante, excitante. Para los científicos, un nuevo modo de estudiar las capas altas de la atmósfera..., el primer paso hacia las estrellas.

También podía significar el viaje comercial si lograba hacerse a los globos independientes del viento. En 1900, el inventor alemán conde de Zeppelin, construyó unos globos en forma de cigarro puro, con estructuras de aluminio, y les añadió un propulsor a motor. El globo dirigible (o «Zeppelin») era un buque del aire, nacido y llevado en alas del hidrógeno.

Pero éste, tanto para bien como para mal, es un hijo de las llamas. El gigantesco globo de hidrógeno era un contenedor de explosivos, un blanco cierto para el enemigo- Y el enemigo era, a veces, una chispa de electricidad estática. En 1937, la bolsa de hidrógeno del dirigible gigante *Hindenburg* estalló en llamas. Y en unos minutos quedó totalmente destruido.

Sin embargo, el dirigible ya había tenido su época. El porvenir se apoyaba en unos aparatos más pesados que el aire, menores y más ligeros que el dirigible, y más capaces de soportar el mal tiempo.

Entonces, pareció como si el hidrógeno debiera limitarse a usos terrestres. Los químicos lo utilizaban para reducir o «hidrogenar» las materias orgánicas de mil formas distintas; por ejemplo, convirtiendo aceites vegetales inadmisibles para el organismo humano en sustancias sólidas. Se usó la llama del hidrógeno en forma de sopletes de oxi-hidrógeno que cortaban el acero como si fuese mantequilla.

¿Y qué más?

El hidrógeno no estaba aún derrotado. Si el dirigible ardió por las llamas, el cohete ha subido en llamas. Y cuando se extinguió el último dirigible, alboreó la época del cohete.

Los aviones ordinarios sólo pueden moverse en un aire, o medio atmosférico, que contenga una provisión adecuada de oxígeno para quemar el combustible en los motores. Este aire, además, ha de ser bastante denso para soportar el peso de la máquina.

Un cohete, sin embargo, lleva combustible y oxígeno. Ambos se combinan en una furia al rojo vivo, enviando un chorro de gases recalentados hacia abajo. Como parte del contenido del cohete, en forma de dichos gases, es enviado hacia abajo, el resto del aparato se mueve hacia arriba. (Esto se produce como respuestas a la ley de «acción y reacción», o «tercera ley de la Dinámica», formulada por el científico inglés Isaac Newton en 1683.)

Como los gases residuales siguen yendo hacia abajo, el cohete asciende, cada vez más de prisa. Eventualmente, llega más arriba del límite atmosférico (pues no necesita a la atmósfera para que soporte su peso o mantenga la combustión), y se lanza al espacio exterior.

La altura a la que llega el cohete depende, en parte del modo en que sean arrojados los gases residuales. Cuanto más rápidamente sean expulsados hacia abajo (cuanto más violenta sea la «acción») tanto mayor serán la velocidad y la altitud alcanzadas por el cohete (tanto más violenta será la «reacción»). Los científicos de cohetes tenían que encontrar el combustible que provocase la mayor reacción ascendente.

Los primeros cohetes, como los usados el día del Cuatro de Julio^[5], y los utilizados en las guerras del siglo XIX (no mucho mayores ni mejores), utilizaban la pólvora. Ésta contiene un compuesto muy rico en oxígeno llamado «salitre». También contiene carbono y azufre que, al calentarse, se combinan violentamente con el oxígeno del salitre. Por tanto, la pólvora es un combinado de combustible y oxígeno.

Pero la pólvora no tiene mucha potencia. En 1926, el inventor norteamericano Robert H. Goddard comprendió que era mucho mejor trabajar con líquidos. El 16 de marzo de dicho año, en la granja de su tía Effie, en Auburn, Massachusetts, lanzó el primer cohete del mundo impulsado por un líquido. Su combustible, una mezcla de gasolina y oxígeno líquido, cedió cinco veces más energía, a igualdad de peso, que el TNT (trinitrotolueno). Gracias a la enorme energía de esta combinación, no se tardó en enviar cohetes por el aire a velocidades supersónicas.

Aunque fue un norteamericano el padre del cohete moderno, éste llegó a su edad adulta gracias a los alemanes, que construyeron los cohetes V-2 en la Segunda Guerra Mundial. Varios de dichos cohetes fueron llevados a Norteamérica en 1946, y los americanos los estudiaron atentamente. (Por desgracia, Goddard había fallecido el año anterior.) Continuó usándose la combinación de gasolina y oxígeno, si bien en modo alguno representa un límite superior de energía potencial. De todos los combustibles químicos conocidos, el hidrógeno (en combinación con el oxígeno o el flúor) ardía con más energía. Un cohete impulsado por hidrógeno podía subir mucho más alto y levantar una carga mucho mayor que otro del mismo peso impulsado por gasolina u otro combustible.

El hidrógeno parecía nuevamente hallarse a punto de emprender una carrera aérea..., pero había un fallo. No podía usarse el hidrógeno en su forma ordinaria. Un kilo de hidrógeno ocupa más de once metros cúbicos de espacio, y si algo le falta a un cohete es esto precisamente: sitio.

Había que obtener hidrógeno en forma compacta. Podía comprimirse bajo muchas

atmósferas de presión, pero era muy difícil... y peligroso. Sin embargo, existe un medio de comprimir un gas sin gran presión: licuándolo.

No solamente necesitaban el hidrógeno comprimido en grandes cantidades en la Segunda Guerra Mundial, puesto que se estaba fabricando una nueva bomba nuclear. La bomba atómica ordinaria, obtenida por la fusión del uranio (la temible bomba «A», que acabó con la resistencia japonesa), se estaba transformando en una espoleta de ignición de una explosión mucho mayor. Esta explosión tan inmensa tendría lugar cuando los átomos de hidrógeno fuesen obligados a unirse (fusionarse) para formar helio. Sería una bomba de «fusión», una «bomba de hidrógeno», una bomba «H».

Entonces, lo único que hacía falta era hidrógeno líquido en cantidades fabulosas. Pero había varios obstáculos...

El hidrógeno es un gas muy común. Dos tercios de todos los átomos del petróleo y del océano son de hidrógeno. Tres quintas partes de los átomos del tejido vivo, incluyendo el organismo humano, son de hidrógeno. Casi un átomo de cada treinta de la corteza terrestre es de hidrógeno.

Sin embargo, los átomos de hidrógeno no existen por separado, sino en combinación con otros átomos. Separarlos era un proceso lento y costoso. Pero se logró haciendo reaccionar ciertos metales con ácidos, o pasando a través del agua una corriente eléctrica. Esto bastó para los usos del hidrógeno en el siglo xix, usos a pequeña escala.

Poco después de la Segunda Guerra Mundial, un grupo de empresas petrolíferas y de gas natural se unieron para instalar una planta donde extraer gasolina del gas natural. Desarrollaron un proceso para quemar el gas natural y apagar la llama en el debido punto, a fin de que la combustión fuese incompleta, produciendo monóxido de carbono e hidrógeno (en vez de dióxido de carbono y agua). Los dos primeros podían volver a combinarse de nuevo en condiciones convenientes, formándose gasolina.

El proceso tuvo éxito, pero resultó antieconómico para la producción de gasolina, en competencia con las reservas naturales de petróleo, al alcance del hombre después de la guerra. Sin embargo, aquella investigación tuvo importantes ramificaciones. El nuevo proceso demostró ser mucho más eficiente en la producción de hidrógeno que los métodos más antiguos.

En consecuencia, cuando se necesitó más hidrógeno a mediados del siglo xx, pudo satisfacerse tal necesidad. No obstante, conseguirlo en forma líquida era otra cuestión.

Durante todo el siglo xix, los químicos habían intentado licuar los gases. Algunos, como el cloro y el dióxido de azufre, cedían fácilmente. Cierta enfriamiento y los gases se licuaban. En realidad, bastaba un poco de presión sin enfriamiento.

Otros gases, como el oxígeno, el nitrógeno y el hidrógeno, no se licuaron a pesar de un gran enfriamiento y considerable presión. Por algún tiempo se los llamó «gases permanentes». En 1869, sin embargo, los químicos descubrieron que la presión no servía de nada si la temperatura no se hallaba por debajo de cierto «punto crítico». Para los gases como el oxígeno, el nitrógeno y el hidrógeno, esta temperatura crítica era muy baja.

Por lo tanto, los químicos se concentraron en rebajar la temperatura, y, hacia 1880, lograron licuar el oxígeno y el nitrógeno. El nitrógeno líquido hierve a -195°C , pero incluso a esta temperatura el hidrógeno sigue siendo gas.

Hasta 1895, no logró el químico inglés James Dewar obtener hidrógeno líquido. Éste hierve a -253°C , temperatura que está a unos 20°C por encima del cero absoluto..., que es el término de la escala termométrica.

Bien, era posible formar hidrógeno líquido, y con el debido esfuerzo, en gran cantidad; pero durante cincuenta años no fue más que una curiosidad de laboratorio.

El principal obstáculo era que este líquido superfrío se evaporaba con suma facilidad. Ni el aislamiento más elaborado servía para mantenerlo en forma líquida más allá de cierto punto, puesto que el hidrógeno licuado engendraba su propio calor.

Esto requiere una explicación. En condiciones corrientes, el hidrógeno existe como una serie de moléculas, cada una de las cuales está formada por un par de átomos de hidrógeno.

Cada átomo de hidrógeno se compone principalmente de una diminuta partícula central llamada «protón», que gira constantemente sobre sí misma. En algunas moléculas de hidrógeno, los protones de los átomos de hidrógeno giran en la misma dirección. Es el «orto-hidrógeno». En otras moléculas, los protones giran en direcciones opuestas. Es el «para-hidrógeno». En el gas

hidrógeno ordinario, las tres cuartas partes de moléculas son *orto*, y las restantes *para*.

El orto-hidrógeno contiene más energía que el parahidrógeno. Cuando se forma hidrógeno líquido, las moléculas *orto* se convierten lentamente en moléculas *para*, de menor energía. La energía extra de las moléculas *orto* se libera como calor.

Esta conversión lenta *orto* a *para* añade constantemente calor al hidrógeno líquido y lo evapora a uno por ciento a la hora, por muy bien aislado que esté. Además, si el contenedor no está debidamente ventilado, la presión podría originar explosiones.

Un modo de orillar estas dificultades es cambiar el *orto* en *para*, que, con el aislamiento más conveniente, podría conservarse durante largos períodos de tiempo. El problema estaba en que esta conversión era lenta y difícil.

Hay sustancias, no obstante, que actúan como catalizadoras y aceleran esta conversión. En 1929 se descubrió que el carbón común en polvo aceleraba la conversión, por ejemplo. En 1952, debido a las súbitas necesidades, se descubrió que un preparado de óxido de hierro convertía grandes cantidades de orto-hidrógeno, en *para* en escasos segundos.

Se adoptó este procedimiento para la fabricación en gran escala, gracias a lo cual puede hoy día prepararse el hidrógeno en una forma en que, con el debido aislamiento, se pierde un uno por ciento por medio de la evaporación, no en una hora sino en tres días. El precio ha bajado a medio dólar la libra y se han instalado plantas de hidrógeno líquido que producen más de veinte toneladas diarias. Así se obtuvo la respuesta a la llamada del hidrógeno líquido.

Las necesidades actuales de hidrógeno son iguales a su suministro, aunque dichas necesidades continúen creciendo.

Al parecer, el nuevo empleo del hidrógeno puede apoyarse en la producción de energía eléctrica. Ordinariamente, la electricidad se forma por medio de un generador impulsado por energía calorífica, quemando carbón o petróleo (o, claro está, mediante la energía hidráulica). En este paso del calor a la electricidad se pierde, de modo inevitable, mucha energía. Si fuese posible combinar el combustible con el oxígeno en una instalación de celdas eléctricas (las llamadas «celdas combustibles»), el proceso resultaría mucho más eficaz.

Se han probado varios combustibles -carbón pulverizado, monóxido de carbono, y metano-, como celdas combustibles. Las dificultades prácticas para que éstas sean económicas son enormes, aunque no insuperables. La posibilidad que promete más es la de la célula combustible de hidrógeno-oxígeno. Ya funcionan estas celdas a pequeña escala, y llegará el momento en que el hidrógeno abaratará la electricidad.

El hidrógeno líquido, en la época posbélica, tiene un nuevo uso particularmente exótico en las «cámaras de burbujas», empleado para descubrir las extrañas y muy perecederas partículas subatómicas producidas por las poderosas máquinas que hoy día aplastan los átomos. (Estas cámaras se inventaron en 1952, siendo su creador el físico americano Donald W. Glaser.) Una cámara de burbujas de la Universidad de California tiene dos metros de longitud y contiene seiscientos setenta y cinco litros de hidrógeno líquido.

Pero las celdas de combustible y las cámaras de burbujas sólo pueden utilizar minúsculas cantidades de hidrógeno. El uso inmediato para todo el hidrógeno líquido se apoya en los cohetes y naves espaciales de hoy y de mañana. En particular, el hidrógeno líquido impulsa a las naves que llevan al hombre a la Luna.

Una de las razones posbélicas para disponer de ingentes cantidades de hidrógeno líquido se desvaneció rápidamente. Sí, las primeras bombas de hidrógeno experimentales utilizaron hidrógeno líquido, pero no así en su forma práctica. Como se necesitaba mucho espacio y peso para el aislamiento del líquido, la bomba era una creación inamovible y monstruosa.

El remedio consistió en utilizar, no hidrógeno líquido, sino un compuesto de hidrógeno y un metal ligero: el litio. Ese compuesto, litio hidratado, explota igual que el hidrógeno una vez impulsado por una bomba de fisión. Más aún: el litio hidratado es sólido a temperatura ordinaria y presenta el hidrógeno en forma compacta sin presiones ni aislamiento. Lo cual hace que tales bombas puedan ser transportadas por los aviones y los cohetes.

Sin embargo, a pesar de todas las esperanzas de que las bombas de hidrógeno no se utilizarán jamás en una guerra, otro aspecto del proceso de fusión inspira una sensación de bienestar para la Humanidad. Si se logra la fusión del hidrógeno bien controlada, lenta y seguramente (en lugar de explosivamente), durante un futuro indefinido quedarán solucionadas las necesidades de la Humanidad.

Para ello es necesario elevar la temperatura de una cantidad de hidrógeno hasta el punto donde empieza la fusión nuclear manteniéndola constante, y hacerlo sin la ayuda de la bomba de fisión. Lo ideal sería encontrar el medio de la fusión de los núcleos de hidrógeno a la temperatura más baja posible.

Mas para esto se requiere utilizar una clase de hidrógeno muy rara. Ya dije antes que el átomo de hidrógeno contiene una partícula central llamada protón. Un átomo de hidrógeno, de cada siete mil, lleva, junto con el protón, una segunda partícula denominada «neutrón». Este átomo de hidrógeno «protón-neutrón» es dos veces más pesado que los átomos de hidrógeno de protón solo, por lo que se le llama «hidrógeno pesado». También se llama «deuterio», derivado este nombre del término griego que significa «segundo» (por contener una segunda partícula junto con el protón).

El deuterio se descubrió en 1932, y su descubridor fue el químico americano Harold C. Urey. Debido a su doble peso, no fue difícil separar el deuterio del hidrógeno ordinario, pero durante diez años no fue más que una pieza curiosa de laboratorio. Luego, en la Segunda Guerra Mundial, se descubrió que el agua que contenía deuterio («agua pesada») podía ser un factor importante en los reactores nucleares.

Como si esto no fuese bastante, se descubrió, terminada ya la guerra, que el deuterio se fusiona más fácilmente que el hidrógeno ordinario. En consecuencia, se efectuaron grandes esfuerzos concentrados en el deuterio para dominar la reacción de fusión.

Aun así, se necesita una temperatura de cientos de millones de grados. A esta temperatura, los átomos de deuterio (y también todos los de otras clases) se descomponen en una mezcla de fragmentos subatómicos cargados, llamada «plasma». Éste es demasiado caliente para poder ser contenido en algo surgido de la materia, pero como está eléctricamente cargado, puede ser confinado mediante campos magnéticos.

Este problema es engañoso, pero año tras año elevamos el plasma del deuterio a mayores temperaturas, manteniéndolo confinado durante períodos de tiempo más largos cada vez. Por eso es de esperar que no tardemos mucho en dominar ya la fusión.

Tal vez antes del final del siglo xx, se instalarán en la Tierra nuevas plantas de energía. Los pequeños contenedores de deuterio líquido serán los proveedores de dichas plantas y llevarán a cabo las funciones hoy día ejecutadas por los camiones de carbón y los tanques de petróleo. Será el hidrógeno, en una forma u otra, no sólo el que llevará al hombre a las estrellas, sino el que ayudará a borrar el hambre y la miseria de la faz de la Tierra.

11. Una nueva luz

En 1960, el físico americano Theodore Harold Maiman, expuso una barra de rubí sintético a una luz muy potente. Poco después, la luz absorbida por la barra fue emitida de nuevo, mas con un cambio. Parecía un rayo muy fino, de profundo color rojo, llameando brevemente a un extremo de la barra.

Este rayo de luz era de una variedad desconocida. Por lo que sabemos, era una variedad de luz inexistente antes en la Tierra, y en cualquier parte del Universo conocido. La barra de rubí sintético de Maiman fue el primer «láser», un aparato que hoy día consideramos como un posible «rayo de la muerte» por una parte, y que ofrece milagros en tiempo de paz, en campos tales como la cirugía, la fotografía, las comunicaciones, la ciencia espacial y otra media docena más de aplicaciones.

Pero, ¿qué es lo que hace al rayo láser tan diferente, tan único? A simple vista, parece solamente un rayo fino de luz coloreada, nunca visto antes. ¿Qué hay que no percibe el ojo? Para contestar a esta pregunta, permítanme antes preguntar qué es la luz ordinaria.

Imaginemos la luz como una serie de ondas. «¿Ondas de qué?», cabría preguntar, y al momento nos hallaríamos en un apuro, mas no lo preguntaremos. Imaginemos que son unas ondas, y nada más.

No pensemos que, si queremos fabricar una imagen de ondas de un rayo de luz hay que trazar una línea ondulada que continúe en toda la longitud de dicho rayo. (Los rayos de luz que llegan desde las estrellas se hallan a muchos trillones de kilómetros de longitud, por lo que «en toda la longitud» representa una cifra enorme.) En cambio, podemos imaginar las ondas como interrumpidas de trecho en trecho, conteniendo cada uno unos altibajos, o sea «oscilaciones». Podemos referirnos a esos minúsculos trechos de ondas como fotones, expresión que se deriva de la griega por la palabra «luz».

Los fotones son extremadamente pequeños. Una bombilla de 40 vatios, que da una luz tenue, emite un quintillón de fotones cada segundo.

Los fotones no son todos iguales. La diferencia más importante es que unos contienen más energía que otros. También ahora podemos eludir preguntas tan embarazosas como «¿qué se entiende por energía?», y decir simplemente que un fotón más energético puede hacer cosas que otro menos energético no puede realizar.

Por ejemplo, la luz roja se compone de fotones una mitad menos energéticos que los de la luz violeta. Cuando los fotones de luz roja atacan la película fotográfica, carecen de energía para que los productos químicos de la película sufran cambios. Si atacan dicha película los fotones de la luz violeta, los productos químicos se descomponen y la película queda velada.

Por esto, el cuarto oscuro donde se revelan las películas y fotografías puede estar iluminado por una luz roja, que no estropea las imágenes.

La luz solar contiene fotones de muy diversas energías, desde el rojo al violeta, con todos los colores intermedios. Contiene fotones de todas las energías que afectan al ojo humano (la retina del ojo es una especie de película viva y muy complicada). Contiene fotones de luz infrarroja, que nuestros ojos no registran visiblemente y que son menos energéticos que cualquier forma de luz visible. También contiene fotones de luz ultravioleta, que no registra nuestra vista y son más energéticos que cualquier forma de luz visible. (Todas las formas de luz, visibles o invisibles, pueden ser llamadas «radiaciones electromagnéticas».) Los fotones de luz ultravioleta son tan energéticos que pueden dañar la retina humana, por lo que siempre resulta tan peligroso mirar directamente al sol. Los fotones de luz ultravioleta pueden producir cambios en la epidermis, causando las quemaduras del sol.

Los fotones de rayos X y rayos gamma, más energéticos aún que los de luz ultravioleta, pueden pasar a través de nuestro campo y atacar directamente a ciertas moléculas, produciendo graves y hasta mortales cambios químicos. Por esto las personas que trabajan con sustancias radiactivas o en las modernas plantas nucleares, donde se hallan estos superpoderosos fotones, han de adoptar precauciones extremadas contra los mismos.

Bien, si imaginamos a los fotones como diminutos «trechos» o «paquetes» de ondas, podremos indicar la diferencia existente entre uno de alta energía y otro de baja. Esto se logra

alterando la longitud de cada oscilación. Podemos trazar una onda de un centímetro de longitud y curvar tan suavemente la línea de la onda que solamente haya una oscilación en cada centímetro. En otro caso, pueden trazarse diez oscilaciones.

El número de oscilaciones de una longitud dada se llama «frecuencia» de la luz. Un fotón de luz roja tiene unas 14.000 oscilaciones por centímetro, en tanto que otro de luz violeta tiene el doble, unas 28.000. (La diferencia en la frecuencia de los fotones de la luz visible afecta a nuestros ojos, produciendo la sensación de los colores.) Veamos cómo se producen los fotones. Para esto, hemos de referirnos a la materia que forma el universo.

Ya sabemos que la materia del universo se compone de diminutas partículas llamadas átomos. Éstos, junto con otras partículas aún menores que los forman, y las mayores en que pueden agruparse, contienen energía. La energía contenida se hace evidente como movimiento. Una partícula de alta energía se mueve o vibra más rápidamente que otra de menor energía.

Las partículas de materia siempre poseen energía. Pueden poseerla en pequeña cantidad, y cada tipo diferente de partícula puede sólo poseer ciertas cantidades características del mismo y no de otro. Por lo tanto, cada partícula posee cierto «nivel de energía» característico. La partícula puede ostentar uno u otro nivel, pero jamás está situada en medio de dos niveles.

(La situación es semejante a la del sistema monetario. Un hombre, por ejemplo, sólo lleva en el bolsillo monedas sueltas. De este modo, podrá tener cuarenta y cinco o cincuenta centavos^[6], pero nunca llevará cuarenta y siete centavos en el bolsillo. Si otro hombre sólo llevase monedas de cuarto de dólar, podría tener en el bolsillo cincuenta centavos, mas no cuarenta y cinco.) Si se quema un leño, la energía liberada por la combinación de las partículas de madera con el aire aumenta el contenido de energía de la madera y el aire en la vecindad del fuego. Todas las partículas aumentan el nivel de energía.

Sin embargo, no siguen en tal nivel. Siempre tienen, todas las partículas, una tendencia a llegar al nivel de energía más bajo posible. Las partículas que han alcanzado un nivel alto de energía, por tanto, descienden a uno inferior. Entonces, ceden la diferencia de energía entre ambos niveles, y esta energía cedida adopta la forma de un fotón.

Si todas las partículas existentes cerca del leño ardiendo fuesen idénticas y ostentasen el mismo nivel de energía, para después descender al mismo nivel inferior, todos los fotones emitidos tendrían el mismo contenido de energía, y serían de la misma frecuencia.

Sin embargo, esto no sucede jamás. Existen muchas partículas distintas, que ostentan distintos niveles de energía. El resultado es que se liberan los fotones de una amplia gama de frecuencias, algunos en la gama de la luz visible, y entonces tenemos ya la hoguera. La luz solar también se compone de una amplia variedad de frecuencias fotónicas, como en cualquier otra forma de luz natural.

Hasta hace unos veinte años, los científicos aceptaban esta increíble mezcla de frecuencias como una propiedad casi inevitable de la luz ordinaria.

Empecemos ahora con una clase de partículas y establezcamos las condiciones que permitan que todas las moléculas contengan el mismo nivel de baja energía. Supongamos, además, que dichas moléculas están expuestas a cierto tipo de energía que las envía al siguiente nivel de energía ascendente.

En tales condiciones, una partícula, de vez en cuando, absorberá suficiente energía para ascender al nivel superior de energía, y regresar al inferior, liberando la energía en forma de un fotón de una cierta frecuencia. Habrá siempre algunas partículas del grupo que absorberán la energía y estarán en el proceso del retroceso. Los fotones, siempre de la misma frecuencia, quedarán liberados, produciendo por consiguiente una radiación de frecuencia constante.

Se halló, por ejemplo, que el gas amoníaco podía emitir un tipo de radiación de «baja frecuencia» llamado de «microondas». Esta radiación de microondas del amoníaco sólo tiene ochenta oscilaciones por metro, en comparación con las catorce mil por centímetro de la luz roja.

Estas oscilaciones son muy regulares y no sufren variaciones. Son más constantes que las oscilaciones de un péndulo, y más constantes y regulares que los movimientos de los cuerpos celestes. En 1949, el físico norteamericano Harold Lyons demostró cómo podían usarse estas oscilaciones para controlar los aparatos que miden el tiempo, fabricando los «relojes atómicos», mucho más exactos que todos los demás. Pero dichas radiaciones sirven para algo más que para medir el tiempo.

Las partículas del amoníaco se trasladan de un nivel de energía inferior a otro superior cuando absorben un fotón que posee el debido contenido de energía. Pero, ¿qué sucede si un fotón exterior choca con una partícula que ya está en el nivel superior? ¿La obliga a pasar a un nivel aún más elevado? ¡No!

En 1917, Albert Einstein demostró, mediante consideraciones puramente teóricas, que si un fotón del tamaño debido choca con una partícula de nivel superior, no es absorbido. En cambio, la partícula con la que choca el fotón desciende otra vez al nivel inferior.

La partícula del choque, al descender al nivel inferior de energía, produce un fotón de igual tamaño que el fotón con el que chocó. Más aún: el fotón producido se moverá en la misma dirección que el fotón primitivo. Se empieza con un fotón que choca con una partícula y se termina con dos fotones de igual frecuencia y dirección.

¿Y si esos dos fotones chocan con una partícula de nivel superior? Cada partícula golpeada desciende de nivel y produce otros dos fotones, o sea cuatro, idénticos en frecuencia y dirección. Después, si cada uno de estos cuatro chocan con una partícula de nivel superior...

Pero en circunstancias ordinarias no es probable que ocurra tal cosa, porque las partículas permanecen, en un nivel inferior de energía, breves períodos de tiempo. En un instante dado, por tanto, la mayoría de las partículas de amoníaco están en el nivel inferior, y los fotones que van a su encuentro es más fácil que choquen con aquéllas que con las de un nivel superior.

El físico norteamericano Charles Hard Townes ideó una forma para separar las partículas de alta energía de las de baja, mediante un aparato cargado eléctricamente. En 1953, logró llenar un pequeño compartimiento solamente con partículas de amoníaco de alto nivel. Si penetraba un fotón del tamaño adecuado en aquel compartimiento, producía otro fotón. Los dos fotones producían otros dos; los cuatro, otros cuatro más y así sucesivamente.

Un solo fotón podía desencadenar un vasto alud de fotones idénticos en una fracción de segundo. De esta forma, podía usarse el aparato como un amplificador. Supongamos que hay una radiación muy débil en un punto del cielo; esta radiación tan débil no podría ser detectada por nuestros aparatos. Si la radiación chocase con el compartimiento de amoníaco de alto nivel, el alud de fotones resultante podría ser detectado fácilmente, y así deduciríamos la existencia del fotón primitivo (imposible de detectar de otro modo) que inició el alud.

El fotón original estimula la emisión de grandes cantidades de fotones de microonda, a fin de producir la amplificación. Por tanto, Townes se refirió a su aparato como a algo que producía «una amplificación de microondas mediante la emisión estimulada de radiación». Y las iniciales de las palabras que componen esta frase se combinaron para formar la palabra *maser*^[7].

El maser de amoníaco sólo actúa con fotones de una cierta frecuencia, pero no hay necesidad de utilizar sólo el amoníaco. Así, se desarrollaron sustancias sólidas que entrañaban otras combinaciones de niveles de energía. Y en poco tiempo se desarrollaron masers con una gran variedad de frecuencias fotónicas.

Sin embargo, al principio, los masers sólo podían actuar con intermitencias. El sistema era ascendido a un nivel superior, y un fotón enviado contra él mismo provocaba el alud. Pero el sistema no volvía a actuar hasta una nueva ascensión.

Un físico holandés, Nicolás Bloembergen, logró inventar un maser que actuaba con un sistema de tres niveles: uno inferior, otro medio y el último superior. El sistema es bombeado por fotones de alta frecuencia capaces de elevar los átomos del maser desde un nivel inferior a otro superior. Una segunda serie de fotones de frecuencia menor lleva al sistema desde el superior al nivel medio, y después, desde éste al inferior. Ambos procesos actúan independientemente, así como continuamente, y el maser es bombeado hacia arriba por una serie de fotones tan de prisa como baja para producir otra serie. Por este motivo puede trabajar continuamente.

No hay ninguna razón para que sólo existan radiaciones de microondas. ¿Por qué no utilizar niveles de energía muy separados para producir más fotones energéticos? ¿Fotones de frecuencia suficientemente alta como para registrarse en la región de la luz visible? Un maser que produjese luz visible sería un «maser óptico». También podríamos referirnos a él como «creador de la amplificación de la luz mediante la emisión estimulada de radiación», reemplazando la palabra «luz» a la de «microondas». Con este cambio, tendríamos la palabra «láser».

Townes afirmó en 1958 que un láser era totalmente posible en teoría, y Maiman construyó el

primero en 1960, como indiqué al comienzo de este Capítulo. El primer láser de Maiman era intermitente y tenía que ser elevado de nuevo después de cada descarga. Sin embargo, antes de finalizar aquel año, el físico iraní Ali Javan ya preparaba láseres continuos en los Laboratorios Bell.

Veamos, ahora, de qué forma la luz láser es diferente de las demás formas de luz que conocemos.

Primero, el rayo láser es muy intenso. En todos los procesos ordinarios de producir luz, surge una vasta gama de frecuencias de fotón. De ellas, sólo una pequeña porción se halla usualmente en la gama de la luz visible. En el rayo láser, *toda* la energía liberada puede serlo en forma de luz altamente concentrada.

Segundo, el rayo láser es muy uniforme. Ordinariamente, la luz se compone de fotones de diversas frecuencias, en tanto que el rayo láser está compuesto por entero de fotones idénticos. Por tanto, es de un mismo matiz pero con un color particular. Es una luz «monocromática» (expresión griega que significa «del mismo color»).

Tercero, el rayo láser es muy compacto. Los fotones de luz ordinaria se mueven continuamente en todas direcciones. Es difícil impedir que un rayo de luz normal se difunda. Los fotones del rayo láser, por otra parte, se mueven todos en la misma dirección. La luz ordinaria puede compararse a una multitud en la que cada miembro va hacia la dirección que elige. El rayo láser puede, en cambio, compararse a una columna de soldados que marcha con absoluta precisión.

La tendencia natural de los fotones del rayo láser a moverse en la misma dirección, queda acentuada por el diseño del tubo que los produce. Los extremos son absolutamente lisos y paralelos. Uno es plateado para formar un espejo perfecto, y el otro sólo es ligeramente plateado. Cuando los fotones se producen por la acción del láser, pueden producirse varios aludes en direcciones diferentes. La mayor parte pasan por los costados del tubo instantáneamente. Sin embargo, los aludes que se mueven por toda la longitud del tubo, bombardean primero un extremo plateado, y después el otro, yendo atrás y adelante una y otra vez, produciendo constantemente más fotones y provocando un alud mayor cada vez. El fotón que, por cualquier causa, no se mueve exactamente paralelo a la línea general del alud, choca rápidamente con un costado del tubo, y sale del aparato.

Finalmente, cuando el alud es bastante abundante, surge por el extremo menos plateado y tenemos ya el rayo láser. Los fotones de este rayo son tan idénticos en frecuencia y dirección, que las oscilaciones de uno parecen engancharse en los fotones delanteros y traseros, y el resultado es como una larga serie de oscilaciones. Los fotones actúan como si estuvieran encajados entre sí, como cohesionados unos a otros. Por este motivo, se dice que el rayo láser está formado por «luz coherente».

Un rayo láser, formado por luz coherente, no posee tendencia a difundirse. Sigue en forma compacta y pierde muy poca energía de concentración al viajar por el espacio. Un rayo de luz coherente láser puede enfocarse de modo que caliente una cafetera a muchos miles de kilómetros de distancia. Los rayos láser llegaron en 1962 a la Luna, extendiéndose solamente en un diámetro de tres kilómetros, tras haber cruzado limpiamente unos 380.000 kilómetros en el espacio.

Las propiedades únicas de la luz láser han posibilitado una serie de aplicaciones muy interesantes.

Por ejemplo, la estrechez del rayo láser permite que se concentre una gran energía en una zona sumamente pequeña. En esta zona, la temperatura alcanza límites extremadamente altos tan rápidamente, que puede fundirse un punto antes de que el calor se irradie hacia fuera en cantidades suficientes para causar daños.

Así, un leve parpadeo de rayo láser en el ojo puede prevenir ciertas clases de ceguera, soldando la retina desprendida con tanta rapidez que los objetos circundantes no quedan afectados por el calor. De forma similar, pueden destruirse los tumores dérmicos sin quemar la piel.

Puede vaporizarse un diminuto fragmento de metal y analizar rápidamente el vapor por medios espectroscópicos. Pueden agujerear eficaz y velozmente los metales; incluso pueden tallarse los diamantes. Tal vez el rayo láser ayude eventualmente a producir las temperaturas extremas para iniciar una reacción controlada de fusión de hidrógeno, lo cual solucionaría

conjuntamente los problemas energéticos de la Humanidad (ver Capítulo 10).

Natural y tristemente, a uno le asalta la idea de que lo que el rayo láser puede hacerle a un fragmento de metal, también puede hacerlo con un ser humano. En 1965, se desarrollaron unos láser que podían ser elevados a un nivel más alto gracias a la energía proporcionada por reacciones químicas. Por tanto, podemos ya imaginar una pistola que no use la energía química para impulsar a la bala sino que emita un destello láser. Podría chocar contra un hombre con efectos mortales sin hacer ruido ni dejar señales. Sería el «rayo de la muerte», tantas veces descrito en los relatos de ciencia-ficción.

Y si puede haber pistolas láser, ¿por qué no cañones láser? Un láser gigante podría agujerear la coraza de un tanque o de un buque. El «cohetes» de luz viajaría a 300.000 kilómetros por segundo, en línea recta, sin quedar afectado por el viento, la temperatura, la rotación de la Tierra, el efecto de la gravedad, ni cualquier otro de los obstáculos que dificultan la buena puntería de los tiradores.

El rayo de la muerte tiene sus limitaciones como arma de largo alcance. Podría quedar debilitado o ser absorbido por las nubes, la niebla, el humo y el polvo. Además, su trayectoria en línea recta no seguiría la curvatura de la Tierra, por lo que no podría ser orientado contra un blanco situado más allá del horizonte.

Sin embargo, si consultamos la bola de cristal del porvenir, veremos el espectro de tal rayo de la muerte en el espacio. En el vacío, pasada la atmósfera, no hay nubes ni nieblas o polvillo que cree obstáculos, ni existen horizontes. ¿Llevará a cabo la Humanidad, dentro de unos años, batallas espaciales, con naves provistas de rayos láser, en que un contacto momentáneo significa un agujero? Estos rayos láser requerirían una enorme cantidad de energía, pero actualmente ya se desarrollan láseres que aprovechan la energía solar. En el espacio exterior, los láseres podrían ser accionados, sin límites, por el omnipresente sol.

Dejemos los adelantos de la sociedad actual en el punto en que jamás se necesiten tales armas, grandes o pequeñas. Ya existen suficientes usos en tiempo de paz para mantener el rayo láser constantemente ocupado. Este rayo puede aplicarse a las comunicaciones industriales, por ejemplo, industrias que hoy día dependen en gran parte de los fotones de microondas y ondas de radio de baja frecuencia.

Estos fotones de baja frecuencia pueden «modularse», o sea, que la corriente de fotones varía de forma regular, a fin de producir vibraciones mecánicas en un diafragma que, a su vez, produce ondas sonoras en el aire. O producen variaciones en una corriente eléctrica que, a su vez, producen luz de variada intensidad. De este modo obtenemos el sonido de la radio y la imagen y el sonido de la televisión.

Para impedir la interferencia de un mensaje con otro hay que enviar los diferentes mensajes en un «rayo transportador» de fotones de frecuencias muy diferentes. En la zona de la baja frecuencia no hay muchas frecuencias diferentes, y el número de estaciones de radio o canales de televisión ha de ser, por tanto, muy limitado.

Si se usaran fotones luminosos como ondas de transporte, sus frecuencias más altas nos permitirían tener sitio para un mayor número de mensajes. (Esto lo comprenderemos si consideramos que los números del 1 al 10 representan a las ondas de radiofrecuencia, y del 1.000.000.000 al 10.000.000.000 representan a las ondas luminosas. En ambos casos, el último número es diez veces mayor que el primero; pero del 1 al 10 sólo hay diez números dígitos, mientras que del 1.000.000.000 al 10.000.000.000 hay nueve mil millones y uno.) Para que la radiación actúe como una onda de transporte, ha de ser muy regular en la frecuencia y la dirección. Esto es posible para las ondas de radio, que oscilan suavemente, pero no para las de alta frecuencia, aunque esto ya no es así desde que se inventó el láser. Naturalmente, no es fácil modular las ondas de luz de un rayo láser, pero el problema se está ya solucionando. En 1965, los siete canales de televisión de Nueva York fueron transmitidos a través de la anchura de una habitación en un solo láser del ancho de un lápiz, y cada canal pudo ser separado de los demás.

¿Llegará el momento en que los rayos láser, reflejados y amplificados por los satélites de comunicación, servirán al mundo? Si esto fuera posible, habría sitio suficiente para todas las distintas estaciones de radio y canales de televisión del planeta, en la cantidad que fuese.

Las posibles interferencias atmosféricas para tal sistema no se aplican al espacio. Las naves y las estaciones espaciales podrían comunicarse entre sí y también con las estaciones situadas en la superficie de un mundo sin aire como la Luna, mediante los mensajes transmitidos

por los rayos láser.

La información enviada, además, no estaría compuesta sólo de palabras. La línea absolutamente recta del rayo láser serviría para localizar la posición exacta de la nave o la estación respecto a otra en el instante preciso. Además, el rayo láser se reflejaría en la nave, y el rayo reflejado cambiaría de frecuencia muy lentamente, según que el objeto reflejado se alejase o acercase hacia el observador, y con dependencia de la velocidad. El rayo láser también se vería afectado si el objeto observado estaba girando, en qué dirección y a qué velocidad.

Naturalmente, podría realizarse lo mismo con la luz ordinaria si ésta pudiese comprimirse en un rayo compacto y de energía suficiente para viajar a través del espacio y retroceder sin demasiada pérdida. Sin embargo, la luz ordinaria contiene fotones de tantas frecuencias que los cambios ligeros de las mismas no podrían detectarse como ocurre con los fotones del rayo láser. (Si cada miembro de una muchedumbre en movimiento da un ligero paso lateral, ¿podría ser detectado tal paso? Si en una columna de soldados, marchando en una formación precisa, todos diesen un paso lateral, ¿podría ser detectado? No, en el primer caso; sí, en el segundo.) Cuando la era espacial alcance su madurez, es casi seguro que un gran volumen de comunicaciones e informaciones podrá ser transportada por los rayos láser, entre los diversos puestos avanzados establecidos por el hombre. Es posible que entonces se lleve a cabo la exploración espacial que, sin el láser, jamás saldrá de unos confines muy limitados.

Volviendo a la Tierra, hallamos que una aplicación reciente del láser se refiere a la fotografía. En la fotografía ordinaria, la luz queda grabada en las placas o la película mediante el efecto de la luz sobre unos productos químicos. Cuanto más intensa es la luz, mayor es el efecto. Los productos químicos, por tanto, graban la brillantez y producen una réplica de la forma claroscuro de la luz emitida por un objeto, o de la luz reflejada por aquél. Esta réplica es la fotografía.

Supongamos que se envía un rayo láser contra un espejo y que aquél se refleja sin distorsión alguna sobre una placa fotográfica. Simultáneamente, es reflejado otro rayo láser desde un objeto ordinario que lo refleja, con alguna distorsión, a la placa fotográfica. (La distorsión se debe a que el objeto ordinario posee una superficie irregular, de modo que algunas partes del rayo láser son absorbidas, y otras no; unas son reflejadas en una dirección, y otras en la contraria.) En la placa fotográfica, los dos rayos se encuentran, uno distorsionado y el otro no. La intensidad total de la luz en cada punto queda grabada como en una fotografía ordinaria. Además, las ondas de los dos rayos se entrecruzan en una variedad de formas que depende de los detalles exactos de la distorsión del rayo reflejado por el objeto ordinario. A este entrecruzamiento se le llama «interferencia». La placa no sólo graba la intensidad de la luz sino la fórmula de la interferencia.

Los físicos sabían hace ya muchos años que esto era posible, pero con la luz ordinaria no lo lograban. Todas las ondas diferentes de la luz ordinaria, moviéndose con frecuencias diferentes y en direcciones distintas, producían una interferencia tan confusa que de la misma no podía extraerse ninguna información útil.

Con un rayo láser, sin embargo, se produce una fórmula de interferencia muy clara, que sólo depende de la naturaleza del objeto reflejante y de nada más. La placa posee toda la información, la intensidad y la interferencia, en forma absoluta, y a este proceso se le denomina «holografía». («Holo» significa «todo».) La placa, u «holograma», que lleva toda esta información no muestra nada al ojo humano, salvo, a veces, una pauta de círculos procedentes de las motas de polvo. La fórmula de interferencia es microscópica.

Si se envía un rayo láser a través del holograma, se crea una imagen del objeto original reflejante, y puede fotografiarse desde diferentes ángulos una imagen parcialmente tridimensional. Esto se llevó a cabo por primera vez en 1964, y en 1966 ya no fue necesario el rayo láser para crear la imagen, pues lo hacía la luz ordinaria, con lo que el proceso resulta más barato y más práctico. (No obstante, sigue siendo necesario el rayo láser para formar antes el holograma.) Un holograma puede estar formado por un objeto que se mueva velozmente o por uno de brevísima existencia, proporcionando una imagen permanente que puede estudiarse con mucho más detalle que en una fotografía. La holografía proporciona detalles más perfectos, más acusados, y los científicos ahora buscan la manera de conseguir un microscopio holográfico que permita estudiar con toda claridad el mundo de lo invisible.

Y avanzando en este sentido nos asalta la idea de que tal vez llegue a perfeccionarse la

holografía hasta el punto de poder formar una imagen tridimensional perfecta, y el proceso se obtenga sobre una pantalla de televisión.

¿Llegará el día en que ya no nos contentaremos con la pantalla televisiva bidimensional, con sus líneas de luz y oscuridad tan confusas y ásperas, y en cambio podremos ver una representación en color y en una auténtica tercera dimensión? En el futuro, ¿concurrirá Miss América con las demás jóvenes del mundo a través de un cubo (el televisor), en nuestro salón, en tres dimensiones? Naturalmente, las jóvenes no serán más que unas imágenes, nada más que unos rayos de luz impalpables, enfocados de forma muy concentrada. No serán jóvenes *de verdad*. Pero incluso así... ¡resultaría muy agradable!

12. Una mina del océano

Nuestras minas se agotan. Nuestra población aumenta rápidamente y nuestra producción industrial, a marchas más forzadas todavía... y los recursos minerales del mundo entero sufren las consecuencias. Las mejores minas de cobre desaparecen. Nuestras mejores minas de hierro se agotan. Hemos de aprender a extraer el mineral de filones más pobres.

Pero la situación no es completamente negra. Ciertos recursos mineralógicos, es decir, la mina más rica y abundante que haya existido jamás, se halla a nuestra puerta, sin que se haya explotado apenas. Esta mina es el océano.

El océano abarca más de 36.000.000 de kilómetros cuadrados, o sea, unas siete décimas partes de la superficie del planeta. Su profundidad media es casi cuatro kilómetros, de modo que la cantidad total de agua, en todo el globo oceánico, es de 1.400.000.000 de kilómetros cúbicos.

Lo que convierte al océano en una mina es que esos mil y pico millones de kilómetros cúbicos no están formados sólo de agua. Cuando una persona se baña, comprende que el océano no contiene solamente agua. Porque «el agua» sola no sabe como sabe el agua del mar.

El 3,25 por ciento del océano es materia sólida que se halla en disolución dentro del 96,75 restante, que es agua.

Realmente, es una gran cantidad de materia sólida, y no hace falta que consideremos todo el océano del planeta para demostrarlo. La demostración la obtendremos con una pequeña cantidad de agua del mar; por ejemplo, una piscina.

Imaginemos una piscina de quince metros de longitud, nueve de anchura y una profundidad media de dos metros.

Llena de agua del mar, contendría 270 toneladas de líquido; de éste, casi nueve toneladas (8 %) serían minerales disueltos.

Dicho de otro modo: si se evaporase el agua de la piscina, casi nueve toneladas de materia sólida quedaría en el fondo. Para una piscina, se trata de una cantidad respetable.

Como es fácil deducir por el sabor del agua del mar, la mayor parte de la materia sólida es sal común, o sea cloruro sódico. Casi siete toneladas de nuestra piscina serían sal ordinaria, y tres cuartos de tonelada serían de átomos de cloro en combinación con otros metales distintos al sodio.

Dejando éste aparte, aún quedan unos tres cuartos de tonelada de materias en la piscina seca, que no son de sodio ni de cloro. Debidamente tratada dicha materia, esa cantidad nos produciría: 319 kilos de magnesio, 213 de azufre, 97 de calcio, 93 de potasio, 15 de bromo, y unos 12 de una miscelánea de minerales, incluyendo cobre, plata, oro, uranio y radio.

Naturalmente, hay una dificultad. Para extraer minerales del mar hemos de concentrar los átomos disgregados.

Esto representa un gasto de energía. Cuanto menos concentrado se halle el mineral, mayor cantidad de energía necesitaremos para extraerlo. Y esto no es posible marginarlo.

Por suerte, el sol ya nos ha facilitado en muchos casos esta labor. De vez en cuando, en el transcurso del tiempo, un brazo de mar de poca profundidad ha sido absorbido por el terreno al elevarse. Si el clima del mar interior así formado le ayuda a evaporarse más de prisa que el agua corriente allí vertida por los ríos, se encoge gradualmente.

Las sales que contiene se concentran más cada vez, y el mar acaba eventualmente por secarse, dejando sólo la materia sólida.

Las minas de sal son los residuos de porciones de océanos secas. Y todos conocemos el gran valor de la sal. No sólo es un ingrediente de la cocina (y muy esencial), sino que posee centenares de importantes usos industriales, siendo la fuente principal de productos químicos tan primordiales como el gas cloro, el ácido clorhídrico, el hidróxido sódico, el carbonato sódico, y muchísimos más sumamente utilizados en la industria moderna.

Si un mar interior se evapora lentamente, la sal queda depositada por capas. Este hecho se debe a que el cloruro sódico es una de las sales más solubles del océano. Asimismo, está presente en la mayor concentración. Cuando se seca un mar interior, por tanto, el cloruro sódico empieza a precipitar cuando todavía queda agua bastante para mantener a las demás sales en disolución. Luego, en las últimas fases de la evaporación, las demás sales precipitan encima del

cloruro sódico. El sol no solamente nos ha ayudado a extraer los sólidos sino que también los ha separado por capas.

Los depósitos de sal cerca de Stassfurt, Alemania, son ejemplos bien conocidos de este proceso estratificador. Representan el mejor depósito de sales de potasio del mundo entero y por esto dichas sales son mucho más baratas en Alemania que en los demás países del Globo. En el norte de Chile, hay depósitos de sal que son ricas fuentes de nitrato sódico y nitrato potásico. Antes de la Primera Guerra Mundial, esos depósitos eran el origen principal de los nitratos para la fabricación de fertilizantes y explosivos.

Luego, existen mares interiores que están secándose. En las orillas de dichos mares se han formado ya depósitos de sal, y el agua que aún queda es muy densa, debido a las materias disueltas. Los ejemplos más conocidos de tales mares en estado de secarse son el mar Muerto, en la frontera jordano-israelí, y el gran lago Salado de Utah.

Los minerales del mar Muerto representan un ingreso muy valioso para los israelíes.

También hay numerosas marismas saladas y porciones subterráneas con bolsas de agua, con un gran contenido salino. Se les llama «pozos salados» y a veces se hallan asociados con los pozos de petróleo. En estos pozos salados es posible obtener yodo en cantidades comerciales.

Pero, ¿y las posibilidades de extraer minerales directamente del océano? ¿Es posible que los científicos inventen un proceso de «secado» artificial? Es posible. Hoy día se producen ya, al menos, dos elementos que el hombre extrae del mar en la cantidad necesaria para sus fines.

Uno de ellos es el magnesio. Sus átomos, después de los de sodio y cloro, son los más comunes en la materia sólida del océano. Para extraer magnesio, hay que bombear el agua de mar en grandes tanques, añadiendo óxido de calcio (cal). (El óxido de calcio también procede del mar, puesto que se forma tostando conchas de ostra.) El óxido de cal reacciona con los iones de agua y magnesio en disolución. Entonces se forma hidróxido de magnesio, que precipita en forma sólida.

El hidróxido de magnesio se filtra y se convierte en cloruro de magnesio por la reacción con el ácido clorhídrico. Luego, se pasa el cloruro de magnesio por filtros y secadores y finalmente se convierte, por medio de una corriente eléctrica, en magnesio metálico y gas cloro. (El cloro se convierte a su vez en ácido clorhídrico que se usa en la siguiente hornada de hidróxido de magnesio, con lo que no se pierde.) El otro elemento extraído del mar comercialmente es el bromo. Resulta mucho más difícil de extraer que el magnesio. En el océano sólo hay veinte veces menos bromo que magnesio. Sin embargo, los científicos han solucionado el problema de su extracción.

Para ello se acidula una gran cantidad de agua de mar, a la que se añade cloro en forma de gas. (Tanto el ácido clorhídrico como el gas cloro proceden de la sal, que a su vez proviene del mar.) El cloro reacciona con los iones de bromo en el agua salada y los convierte en gas bromo. Éste queda disuelto en el agua y es extraído con aire. Es decir, se hace pasar una corriente de aire por el agua de mar y, al pasar, se lleva consigo el vapor de bromo. Después, el aire pasa a través de unos tubos llenos de carbonato sódico; allí el gas bromo es absorbido, formándose bromuro sódico y bromato sódico. El bromo se concentra entonces en un volumen relativamente pequeño. Y puede ser, y es, separado del resto.

Del mar se obtiene un tercer elemento, aunque de forma más indirecta. Este elemento es el yodo. La cantidad de yodo en el océano no llega a la milésima de la de bromo. Nuestra imaginaria piscina, que nos daría dieciséis kilos de bromo, sólo nos proporcionaría doce gramos de yodo. Lo cual es demasiado poco para que nuestras técnicas industriales lo concentren provechosamente.

Es decir, demasiado poco para la técnica humana. Pero en el agua hay organismos vivos, como las algas marinas, que necesitan el yodo para sus procesos vitales. Con paciencia, esos organismos extraen los átomos de yodo del agua que pasa a su alcance y a través de sus filamentos.

Entonces, sólo es necesario que el hombre cultive en el mar las algas marinas. Luego, las algas se queman en pozos poco profundos, y las cenizas resultantes contienen más del uno por ciento del yodo. Las cenizas de las algas contienen el yodo en una concentración doscientas mil veces mayor que el agua de mar, siendo, por tanto, una buena fuente comercial de dicho elemento. (En 1810 ya se descubrió que había yodo en las cenizas de las algas marinas.) El mar

es una fuente inagotable de esos elementos. No sólo las cantidades contenidas sirven para satisfacer las necesidades humanas sino que al ser extraídas esas sustancias, el océano no las pierde por completo. Los compuestos de todos los elementos son vertidos constantemente al mar por medio de las lluvias y los ríos, por lo que todo cuanto extraemos del mar a él vuelve.

Es posible que, aparte de los tres elementos mencionados, lleguen a extraerse otros del mar. Elementos que no necesitarán ser concentrados. Grandes extensiones del fondo del océano son muy ricas en pepitas metálicas de manganeso, y contienen cantidades razonables de metales tan valiosos como el cobalto, el níquel y el cobre. Las operaciones de dragado a muchos kilómetros de las costas tal vez lleguen a algo positivo en un futuro no lejano.

Para dar una idea, incidentalmente, de la vasta mina que es el mar en realidad, procederemos a efectuar unos cálculos. Un kilómetro cúbico de océano puede llenar casi cuatro millones de piscinas como la imaginada, y como ya he manifestado, el océano ocupa un volumen total de 1.400.000.000 de kilómetros cúbicos. Por tanto, no es sorprendente (o no debiera serlo) que el océano contenga cincuenta mil billones (50.000.000.000.000.000) de toneladas sólidas. En las cuales incluyen:

2.000.000.000.000.000 toneladas de magnesio,
100.000.000.000.000» bromo, y
75.000.000.000» yodo,

suficiente para satisfacer las necesidades de la Humanidad por largos milenios.

El océano contiene sorprendentes cantidades de otros metales en disolución (aparte de lo que puedan contener los nodulos del suelo oceánico). Por ejemplo, contiene:

15.000.000.000 toneladas de aluminio,

4.500.000.000» cobre,
4.500.000.000» uranio,
1.000.000.000» torio,
450.000.000» plata,
45.000.000 » » mercurio,
6.000.000» oro, y
45» radio.

Estas cantidades, aunque enormes, se hallan tan diseminadas en el océano, que todavía nos resulta imposible extraerlas provechosamente.

13. Nuestra atmósfera en formación

En los últimos veinte años se han ampliado nuestros conocimientos referentes a la atmósfera de nuestros planetas vecinos. Las observaciones de los globos que flotan por encima de nuestra atmósfera nos han dado pruebas suficientes para incitarnos a la creencia de que las nubes de Venus están formadas por partículas de helio. El «Mariner IV», que pasó cerca de Marte en 1965, nos dijo que su atmósfera era considerablemente más enrarecida de lo que creíamos.

Pero todas las observaciones posteriores sólo han servido para confirmar lo que ya sospechábamos: que la atmósfera de nuestro planeta es única, sin parangón posible con ninguna de las que se hallan al alcance de nuestros instrumentos.

Las atmósferas planetarias que conocemos se dividen en cuatro fases:

Primero, un planeta u otro cuerpo frío no puede tener atmósfera en absoluto, o será tan enrarecida que apenas se distinguirá del vacío espacial.

Segundo, una atmósfera puede ser rica en hidrógeno y otros compuestos relacionados con dicho gas, lo cual impulsa el tipo de reacciones químicas conocidas como «reducciones». Se trataría, por consiguiente, de una «atmósfera de reducción».

Tercero, una atmósfera rica en oxígeno libre sería una «atmósfera oxidante».

Cuarto, una atmósfera puede no contener hidrógeno ni oxígeno y sí sólo algunos gases que no provoquen la oxidación ni la reducción. Sería una «atmósfera neutra».

Los planetas de nuestro sistema solar (exceptuando a Plutón, sobre cuya atmósfera carecemos de información), pertenecen a las clases siguientes:

- 1) Poca o ninguna atmósfera: Mercurio.
- 2) Atmósfera de reducción: Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.
- 3) Atmósfera oxidante: Tierra.
- 4) Atmósfera neutra: Venus y Marte.

De los treinta y un satélites del sistema solar. Titán (el mayor de Saturno) es el único que posee atmósfera, según nuestros conocimientos una atmósfera de reducción. Los demás, incluyendo nuestra Luna, carecen de atmósfera o la poseen en cantidades mínimas.

En resumen: en ninguna parte del sistema solar, excepto en la Tierra, existe una atmósfera oxidante. En ninguna otra parte hay oxígeno libre.

¿Por qué?

Empecemos con la nube de polvo y gas de la que, según suposiciones, se desarrolló el sistema solar. Los astrónomos opinan que el 90 por ciento de la misma era hidrógeno y otro 9 por ciento, helio. El restante 1 por ciento estaba formado por oxígeno, neón, nitrógeno, carbono, silicio, magnesio, hierro, azufre y argón, probablemente por este orden en cantidades decrecientes, con elementos aún menos comunes, diseminados.

El carbono, el silicio, el magnesio, el hierro y el azufre se solidifican a la temperatura ordinaria, formando compuestos entre sí (carburos, silicatos y sulfuros). Cuando la nube giró en remolinos, los átomos y moléculas de esos elementos y compuestos tendieron a juntarse. Primero en guijarros, después en rocas, hasta formar los cuerpos llamados «planetesimales». Eventualmente, éstos constituyeron el núcleo sólido de un planeta. En la Tierra, un gran exceso de hierro se concentró en el centro del planeta, en tanto que las sustancias rocosas constituían la capa externa.

El hidrógeno, presente en grandes cantidades, se combinó con casi todo lo demás. Atrajo a las moléculas de oxígeno para formar las moléculas de agua (H_2O): al nitrógeno, como moléculas de amoníaco (NH_3); a gran parte del carbono como moléculas de metano (CH_4) y, a parte del azufre como ácido sulfhídrico (H_2S). El hidrógeno no pudo combinarse con el helio, el neón, ni el argón, ya que estos tres gases son «gases inertes», y no forman compuestos.

Estas sustancias -hidrógeno, helio, neón, argón, agua, amoníaco, metano y ácido sulfhídrico- tienen bajo punto de fusión, y a temperaturas ordinarias son gases o (caso del agua), líquidos fácilmente evaporables.

A las bajas temperaturas en que se formaron los planetas, algunas de estas sustancias,

particularmente el agua y el amoníaco, pudieron ser sólidos, juntándose con los metales y las rocas de los planetasimales. Incluso las sustancias que siguieron en estado gaseoso pudieron quedar atrapadas en considerable cantidad dentro de las estructuras sólidas.

En el centro del sistema solar, la enorme masa interior de la nube se condensó hasta el punto de que las temperaturas internas provocaron el estallido en llamas nucleares. Había nacido el Sol.

El calor creciente del Sol vaporizó las sustancias de bajo punto de fusión, y los gases quedaron liberados de entre los fragmentos del planeta en formación. Estos gases no se adhirieron a la estructura del planeta por lazos químicos, sino únicamente por la fuerza de la gravedad. Si las moléculas de gas se mueven lentamente, tienden a ser sostenidas por las moderadas fuerzas de la gravedad; si se mueven más rápidamente, tienden a liberarse.

Cuanto más caliente está un gas, más velozmente se mueven sus moléculas, y con más facilidad se pierden. Los grupos de planetasimales más cercanos al Sol sintieron con mayor intensidad el calor solar y su atmósfera comenzó a desaparecer. Los gases fueron barridos por el viento solar (consistente en partículas emanadas del Sol a grandes velocidades), y transportados a las regiones exteriores, más frías, del sistema solar.

Al formarse los planetas exteriores, se acumuló en ellos el gas procedente de la parte interior del sistema solar. Por este motivo, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno (particularmente el primero, que recibió los primeros impactos gaseosos) son mucho mayores que los planetas llamados interiores. Están formados principalmente de hidrógeno y de los compuestos de este gas existentes en la nube original. Poseen densas atmósferas reductoras de hidrógeno, helio, amoníaco y metano.

Sin embargo, el grupo interior de los planetasimales perdió completamente su original «atmósfera primaria». El hidrógeno libre y los gases inertes desaparecieron para siempre. Algunas moléculas de agua, amoníaco, metano y ácido sulfhídrico consiguieron adherirse al núcleo sólido de los planetasimales, formando combinaciones químicas en su estructura.

Pero los grupos interiores aún estaban transformándose en planetas, y sus campos gravitatorios eran cada vez más intensos. Sus núcleos se calentaban, y las moléculas gaseosas eran separadas lentamente de sus combinaciones y lanzadas fuera del núcleo, mediante las presiones o la acción volcánica. Mercurio no llegó a poseer el volumen suficiente para aprisionar a esos gases contra la acción calorífica del cercano Sol, gracias a su pequeño tamaño y a su débil campo gravitatorio. Por consiguiente, actualmente casi carece de atmósfera.

Los demás planetas interiores. Venus, la Tierra, y Marte, se hicieron más grandes y se enfriaron más que Mercurio, consiguiendo retener algunos gases; Marte, que es relativamente pequeño, pudo aprisionar una ligera capa, pero la Tierra y Venus tuvieron más suerte. Las moléculas de amoníaco, metano y ácido sulfhídrico envolvieron a Venus, la Tierra y Marte con una fina «atmósfera secundaria», de naturaleza reductora.

El agua también fue desalojada del núcleo de cada planeta. Parte de la misma continuó en la atmósfera en forma de vapor, aunque la mayor cantidad se condensó como líquido. En la Tierra se formaron lentamente los grandes océanos, si bien resulta obvio que Venus, menor y más caliente, retuvo una cantidad de agua muchísimo menor, y aún menos Marte, mucho más pequeño aunque más frío.

De este modo, la vida se desarrolló en una atmósfera reductora. En realidad, la vida necesitaba esta clase de atmósfera para desarrollarse (ver Capítulo 9). A fin de poder formar la vida, han de construirse antes las moléculas complejas, principalmente de átomos de carbono e hidrógeno. Éstas no podían formarse espontáneamente en presencia del oxígeno libre que hoy día se halla en nuestra atmósfera.

Además, esas moléculas complejas sólo podían formarse a expensas de la energética radiación ultravioleta del Sol, que baña la atmósfera y el océano terrestres. De haber contenido oxígeno la atmósfera, la radiación ultravioleta se habría diseminado y perdido, y su energía no habría podido ser utilizada.

Naturalmente, la misma radiación ultravioleta que suministra la energía para la formación de las complejas moléculas de carbono-hidrógeno, tenderían a descomponer a las que se transformasen en particularmente complejas. Eventualmente, pues, las formas simples de vida surgieron de moléculas muy complejas que llenaban los mares a varias decenas de metros por debajo de su superficie, aunque planeando a un nivel hasta el que no podían penetrar los rayos

ultravioleta. En el nivel superior, las moléculas moderadamente complejas comenzaron también a formarse y, descendiendo, servían de alimento a las formas de vida.

Pero, incluso cuando se estaba desarrollando la vida, la atmósfera continuaba en formación. La radiación ultravioleta, al llegar a la atmósfera, chocaba con las moléculas de agua y las separaba, liberando el oxígeno del hidrógeno («fotodisociación»).

Cuanto menor es la masa de una molécula gaseosa, tanto más rápidamente se mueve a cualquier temperatura, y más fácilmente escapa al campo gravitatorio. Los átomos de hidrógeno son los más ligeros que se conocen y se mueven con demasiada rapidez para quedar retenidos por el campo de gravedad de la Tierra. Los átomos de hidrógeno liberados por la descomposición de la molécula de agua se retiraron lentamente hacia el espacio interplanetario, desapareciendo de la Tierra.

Los átomos de oxígeno libre, bastante macizos para ser retenidos por el campo de gravedad de la Tierra, se combinaron, formando moléculas (cada una con dos átomos de oxígeno), las cuales se combinaron con otras sustancias y con las rocas del suelo para formar minerales oxidados, principalmente silicatos. También se combinaron con las moléculas de amoníaco, metano y ácido sulfhídrico de la atmósfera, formando nitrógeno y agua en el primer caso, dióxido de carbono y agua en el segundo, y azufre y agua en el tercero.

El agua formada en estas reacciones fue fotodisociada a su vez, lo cual sirvió para que continuase el proceso. El azufre se unió al núcleo sólido del planeta, formando sulfatos, en combinación con el oxígeno, o sulfitos. El amoníaco y el metano de la atmósfera se combinaron gradualmente en nitrógeno y dióxido de carbono, a expensas de un gradual decrecimiento de los depósitos de agua. Y la atmósfera reductora se convirtió en una atmósfera neutra.

Esto ocurrió en Marte, cuya delgada atmósfera está formada en la actualidad casi por completo por dióxido de carbono, y cuyas cantidades de agua han decrecido hasta poder formar escasas capas de escarcha y casquetes polares.

La atmósfera de Venus está compuesta actualmente, según todas las probabilidades, de nitrógeno y dióxido de carbono. Si bien Venus aún retiene bastante agua, se calcula que la cantidad total es solamente de 1/10.000 de la de los océanos terrestres.

Como Venus siempre tuvo una atmósfera mucho más densa que Marte, contiene ahora mucho más dióxido de carbono, lo cual es crucial.

El dióxido de carbono no absorbe la luz visible en gran cantidad, pero sí, y abundantemente, la radiación infrarroja. La luz solar pasa a través de una atmósfera que contiene mucho dióxido de carbono, incidiendo contra el suelo y los mares, y es absorbida como calor. La superficie calentada irradia parte del calor como luz infrarroja, pero esta radiación es absorbida y retenida por el dióxido de carbono de la atmósfera, que, en consecuencia, se calienta más.

Un planeta con una atmósfera pobre en dióxido de carbono y otros gases absorbentes, permite que la radiación infrarroja huya al espacio, y permanece frío, mientras que otro planeta con una atmósfera rica en dióxido de carbono retiene la radiación infrarroja y se calienta más, aunque ambos planetas se hallen a la misma distancia del Sol. A esta acción del dióxido de carbono se le llama «efecto de invernadero», porque el cristal de un invernadero también sirve para transmitir la luz y retener la radiación infrarroja, manteniendo caliente y húmedo el interior, incluso en invierno.

Cuando la atmósfera de Venus se transformó en neutra y se fue formando más dióxido de carbono, la atmósfera se fue calentando cada vez más. Eventualmente, la temperatura del planeta y su atmósfera llegó a un punto en que el agua comenzó a formar las nubes que hoy día cubren el planeta Venus. El vapor de agua también absorbió la radiación infrarroja, por lo que la presencia de esa capa acuosa sobre Venus intensifica el efecto de invernadero.

Al parecer, este proceso podría continuar indefinidamente, suponiendo que hubiese suficiente agua. Podría seguir vertiéndose oxígeno a la atmósfera, y cuando todo el amoníaco y el metano se hubieran convertido en nitrógeno y dióxido de carbono, y todas las rocas de la superficie en silicatos, se acumularían en la atmósfera mayores cantidades de oxígeno. Sin embargo, no es así. Tan pronto como el oxígeno libre penetra en la atmósfera, empieza a absorber la radiación ultravioleta. En este proceso, las moléculas de dos átomos del oxígeno ordinario se convierten en la molécula de tres átomos del ozono.

Entonces, se forma una capa de ozono en la atmósfera superior, y la radiación ultravioleta queda absorbida. Esta radiación, al penetrar en la capa y llegar a la atmósfera inferior, donde

existe el vapor de agua, decrece gradualmente en intensidad, a medida que aumenta la concentración de ozono, y eventualmente termina la fotodisociación.

La fotodisociación es un «proceso autolimitado». Puede convertir una atmósfera reductora en otra neutra, que es lo que por lo visto hizo en Marte y Venus, pero no puede continuar formando una atmósfera oxidante.

Entonces, ¿cómo se originó la atmósfera oxidante de la Tierra? Al principio, debió de haber fotodisociación en la Tierra igual que en Venus, aunque probablemente a ritmo más lento, puesto que la Tierra se halla más lejos del Sol que Venus y recibe la radiación ultravioleta en menores dosis.

Aun así, la provisión de agua de la Tierra empezó a decrecer y su atmósfera a tornarse neutra, y al final tal vez se perdió la mitad de la provisión total de agua. Por fortuna, la Tierra podía permitirse esta pérdida, y retuvo agua suficiente para formar el océano actual.

Sin embargo, el proceso no concluyó igual que en Venus. Entró en liza un nuevo factor, que parece haber sido el desarrollo químico que apareció en algunas de las formas de vida oceánica, en la Tierra primitiva. Sin ese desarrollo, cualquier forma simple de vida aparecida en Marte no logró más que sobrevivir mientras el planeta se secaba lentamente. Y cualquier forma simple de vida desarrollada en Venus aún debió de ser menos afortunada, pues debió morir en tanto el planeta se calentaba lentamente hasta llegar casi al punto de ebullición.

Las formas de vida de la Tierra hubieran sufrido un fin semejante de no ocurrir una novedad. Se trataba por entonces de seres diminutos, de una sola célula, no mucho mayores ni complejos que las bacterias actuales. Derivaban perezosamente por debajo de las capas superiores del océano, viviendo gracias a la penetración de las moléculas alimenticias de más arriba. Vivían exclusivamente al ritmo ordenado por la lenta producción de sustancias nutritivas, formadas gracias a la radiación ultravioleta del Sol.

Después se originó una nueva molécula llamada «clorofila». La misma se formó en torno a un círculo de átomos complejo y estable, que debió construirse partiendo de moléculas más simples, por la acción de la radiación ultravioleta. Ocasionalmente, se añadieron adornos en forma de breves «cadenas secundarias» de átomos, unidos espaciadamente al círculo. Y una combinación especial de esas cadenas secundarias dio origen a la clorofila. Ésta era capaz de absorber la luz visible, particularmente en su gama roja. El verde era reflejado, por lo que la clorofila presenta un color verde muy vivo. Cuando la clorofila absorbió la luz visible, quedó cargada de energía, que introdujo ciertos cambios químicos.

Una vez las células incorporaron la clorofila a su estructura, poseyeron ya un instrumento importante para producir unos cambios antes imposibles. En efecto, podían ya usar la energía de la luz visible, después de haber sido almacenada en la molécula de clorofila, para provocar una serie de cambios que terminaron en la formación de las complejas moléculas alimenticias, de las que las células se nutrieron sin tener que aguardar la llovizna molecular en el océano. A este proceso se le conoce con el nombre de «fotosíntesis».

Una de las consecuencias de la fotosíntesis es que la energía de la luz visible descompone las moléculas de agua en hidrógeno y oxígeno. La luz visible, al contrario que la radiación ultravioleta, de más energía, no podría efectuar esta descomposición sin la ayuda de la clorofila.

El agua se descompone más rápidamente mediante el efecto de las concentraciones de los sistemas clorofílicos dentro de las células que mediante la acción de choque de la radiación ultravioleta. Las células que utilizaron la clorofila obtuvieron más alimentos y pudieron multiplicarse más rápidamente que las que no utilizaron la clorofila. Gradualmente, a través de muchos siglos, el uso de la clorofila se generalizó y la fotosíntesis fue el modo de vida prevalente. Como las células que contenían clorofila eran de color verde, el mundo vivo se tornó verde lentamente. Y nuestro planeta es hoy día el del color verdoso.

La fotosíntesis hizo algo más, aparte de acelerar la descomposición del agua y apresurar la conversión de la atmósfera reductora en neutra.

La evolución ya podía superar la fase de la atmósfera neutra. Una vez formada ésta completamente, y el oxígeno existiendo en forma libre, se originó en la atmósfera superior una capa o sombrilla de oxígeno, y ocasionalmente una capa de ozono. La radiación ultravioleta empezó a ver impedida su penetración, y la fotodisociación decayó. Pero la luz visible podía atravesar la capa de ozono, de modo que continuó la fotosíntesis. Al revés que la fotodisociación, la fotosíntesis no es un proceso autolimitado a este respecto. Por esto, cada vez hubo en el aire

más oxígeno, y la atmósfera terrestre pasó del estado neutro al oxidante.

Aun así, ¿por qué la alta concentración de dióxido de carbono siempre presente en la atmósfera no atrapó el calor del Sol, haciendo hervir a todos los océanos de la Tierra, lo mismo que ocurrió en Venus? Por fortuna, la descomposición de las moléculas de agua no es el único efecto de la fotosíntesis. Las moléculas de hidrógeno que se formaron en el curso del proceso no penetraron en la atmósfera y se perdieron en el espacio. En cambio, el hidrógeno sufrió una serie de reacciones químicas que finalizaron en su combinación con el dióxido de carbono, para formar almidones y otros componentes de las células vegetales.

Así, mientras la fotosíntesis llenaba la atmósfera de oxígeno, no permitía la fuga del hidrógeno sino que lo utilizó para eliminar el dióxido de carbono, y al final, la atmósfera terrestre quedó casi exclusivamente compuesta de nitrógeno y oxígeno.

Se ignora cuándo tuvo lugar este cambio. La mejor suposición, basada en la química de las rocas antiguas, es que el oxígeno libre empezó a formar parte de la atmósfera terrestre entre mil y dos mil millones de años atrás, cuando ya hacía otros mil o dos mil millones de años que existía la vida en la Tierra.

Hace unos 600.000.000 de años que la cantidad de oxígeno de la atmósfera era aproximadamente ya una décima parte de la que hay hoy día. Esto produjo un cambio biológico, ocasionando lo que los biólogos denominan «período cámbrico».

Durante el período precámbrico, en el que había muy poco o ningún oxígeno en la atmósfera, las formas de vida ya habían obtenido energía de las moléculas orgánicas complejas descomponiéndolas en estructuras más simples, sin ningún cambio radical en la naturaleza de su estructura química. Éste es el proceso de la «fermentación».

Sin embargo, con un porcentaje razonable de oxígeno en la atmósfera, las formas de vida pudieron obtener unas veinte veces más de energía, y de esta manera desarrollaron sistemas para combinar los alimentos con el oxígeno.

Disponiendo de grandes cantidades de energía, la vida floreció y proliferó. Durante los cien millones de años del período cámbrico, las formas de vida crecieron y se transformaron en miríadas de formas más complejas y desarrolladas.

Las células se unieron para formar organismos multicelulares. Los diferentes grupos de células en el interior de esos organismos pudieron especializarse. Algunos desarrollaron métodos de contracción rápida, y otros para conducir los impulsos eléctricos, de modo que se formaron los músculos y los nervios. Crecieron conchas y otros agentes duros para proteger las grandes masas de células, así como a todo el organismo de sus enemigos. De pronto, no tuvo fin al parecer el ingenioso desarrollo de las formas de vida, una vez dispusieron de la energía necesaria.

Las conchas y otras estructuras duras se conservaban incluso después de morir el organismo. Era entonces cuando asumían una estructura pétreo al correr de los siglos, y las rocas del período cámbrico son muy ricas en tales restos, llamados «fósiles», mientras que las rocas pertenecientes a tiempos más remotos están libres de fósiles.

Hace unos 400.000.000 de años, el contenido de oxígeno de la atmósfera alcanzó probablemente su nivel actual. La sombrilla de ozono era compacta, y la cantidad de radiación ultravioleta que llegaba a la Tierra era suficiente para permitir que las formas de vida recibiesen directamente la luz del Sol durante razonables períodos de tiempo.

Por primera vez las formas de vida pudieron aventurarse por la tierra seca, colonizando los continentes.

Pero la evolución atmosférica no llegó a su final con la formación de lo que ahora poseemos. Hubo fluctuaciones en la cantidad de los componentes, y éstas ejercieron unos considerables efectos con respecto, particularmente, al dióxido de carbono.

Actualmente, sólo el 0,03 por ciento de la atmósfera se compone de dióxido de carbono, mas su importancia es superior a lo que indica tal cantidad, no sólo por ser el último alimento de la vida vegetal (y, por tanto, también de la vida animal), sino a causa de su efecto de invernadero. Incluso pequeños cambios en la concentración de dióxido de carbono pueden ejercer un efecto poderoso en la temperatura terrestre.

Hay periodos en la Historia en que las grandes acciones volcánicas en toda la corteza terrestre arrojaron cantidades desusadas de dióxido de carbono a la atmósfera, aumentando su concentración. Entonces, la atmósfera retuvo más el calor, y la temperatura de la Tierra fue

mayor. Con este calor y las mayores cantidades de dióxido de carbono, floreció la vida vegetal y los bosques cubrieron la Tierra. Seguramente fue después de tales períodos que se formaron los grandes depósitos de carbón y los pozos de petróleo.

Otras veces, los períodos de formación de montañas trajeron grandes masas de rocas a la superficie. Estas rocas, que jamás habían estado expuestas al aire, se combinaron con el dióxido de carbono para formar los carbonatos. El contenido de dióxido de carbono del aire se redujo anormalmente a un valor bajo, el efecto de invernadero disminuyó, y la Tierra se enfrió. Entonces, al enfriarse más de lo debido, apareció uno de los períodos glaciares. Actualmente, nos hallamos al final de un prolongado período de construcciones montañosas y heladas. Pero la Humanidad ya está a punto de introducir un nuevo factor, jamás presente en la Tierra hasta ahora: su propia tecnología.

El hombre cava la tierra en busca de carbón y petróleo, en los yacimientos originados hace tantos millones de años, y lo quema desde hace casi un par de siglos. Forma, de nuevo, el dióxido de carbono que las plantas consumieron hace tiempo para formar sus tejidos y que, ocasionalmente, se transformaron en más carbón y petróleo.

Seis mil millones de toneladas de carbón, petróleo y gas se queman al año, y la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera aumenta lentamente (aunque la mayor parte se disuelve en el mar y es consumida por las plantas). Se calcula que a este promedio, la cantidad de dióxido de carbono del aire será en el año 2000 un 25 por ciento mayor que en la actualidad. Y hacia el 2300 se habrá duplicado.

No nos envenenará la presencia de un 0,26 por ciento de carbono en el aire, pero, ¿y el efecto de invernadero? Si la Tierra aumenta lentamente de temperatura, cabe suponer que se fundan los icebergs polares, lo cual aumentará el nivel del océano. Aun teniendo en cuenta que el mayor peso del agua tenderá a deprimir el fondo de los océanos, es de esperar que el nivel del mar tenga sesenta metros más de altura que hoy día, una vez fundidos todos los casquetes polares.

Por tanto, todas las regiones costeras de los continentes, precisamente donde se agrupan las mayores concentraciones de seres humanos, quedarán cubiertas por las aguas. Se ha calculado, no obstante, que hasta en las condiciones más extremas, los hielos tardarían unos cuatrocientos años en fundirse completamente, por lo que la Humanidad tendría tiempo de prevenirse. También podría ser una gran ayuda pasar del carbón y el petróleo a los combustibles nucleares. Los aparatos que limpiaran la atmósfera de grandes cantidades de dióxido de carbono ayudarían a enfriar la Tierra, y podría inventarse un sistema para diseminar en los océanos sustancias destinadas a reflejar más eficazmente la luz solar.

Como último recurso, podrían producirse traslados de población, ya que ciertas regiones cercanas a los polos y los desiertos, que actualmente apenas mantienen vida, serían entonces capaces de acoger a grandes poblaciones.

La atmósfera terrestre, que ha mantenido formas de vida en crisis pasadas, tal vez se halle a punto de ofrecernos otra en un futuro próximo.

14. La atmósfera de la Luna

Ahora que los satélites se dirigen a la Luna, que rodean la Luna, que aterrizan en la Luna, ahora que ya hemos enviado hombres a la Luna, resulta grata cualquier información respecto a la misma. Por ejemplo, ¿qué hay de la atmósfera lunar?

¡Oh, la Luna carece de atmósfera!, alegará el lector.

Ciertamente, carece de ella en el sentido terrestre. Pero tiene *algo*. Ha de tener algo. Y esto es demostrable de esta forma:

La Tierra se compone de dos secciones de composición radicalmente diferente (como un huevo, formado por la yema central y la clara.) La «yema» de la Tierra es el núcleo de hierro y níquel, con una densidad diez veces mayor, aproximadamente, que la del agua. A su alrededor, la «clara» de la Tierra es la corteza de silicatos, con una densidad menor, unas tres veces la del agua. La densidad media de la Tierra se halla entre dichas dos cifras. O sea, unas cinco veces y media la del agua (5,5 gramos por centímetro cúbico).

La densidad de la Luna es de 3,3 gramos por centímetro cúbico. Para poder ser mucho menos densa que la Tierra, la Luna ha de carecer bastante de hierro y níquel. Hablando vulgarmente, ha de ser toda «clara», conteniendo principalmente silicatos.

Es razonable suponer que la composición elemental de la Luna es la misma, por consiguiente, que la de las rocas terrestres. Las dos fueron formadas al mismo tiempo, con los mismos materiales. La corteza terrestre, por ejemplo, tiene un 2 ½ por ciento de potasio, y podemos suponer que en la Luna la cifra es la misma. La masa de la Luna es de unos 73.430.000.000.000.000.000.000 kilogramos, o sea unos ochenta trillones de toneladas. La masa de potasio lunar ha de situarse, por tanto, en los 1.800.000.000.000.000.000.000 de kilogramos, aproximadamente, o dos trillones de toneladas.

Existen tres variedades de átomos de potasio. Dos de ellos, el potasio-39 y el potasio-41, componen el 99,99 por ciento del total. Sin embargo, el restante 0,0119 es un isótopo raro, el potasio-40, el más interesante. La masa total del potasio-40 en la Luna debe de ser de unos 214.000.000.000.000.000 de kilogramos, o sea 214 billones de toneladas.

El potasio-40 es radiactivo. Tiene una vida media de 1.200 millones de años, lo que significa que en este período de tiempo, la mitad de sus átomos se descomponen.

La mayoría de átomos descompuestos (el 89 por ciento para ser exactos) ceden un electrón y se convierten en átomos estables de calcio-40. Los núcleos del restante 11 por ciento, no obstante, absorben los electrones del ambiente y se convierten en átomos estables de argón-40.

Una vez conocida la vida media de una sustancia radiactiva, puede calcularse fácilmente su promedio de desintegración por unidad de tiempo. En la Luna, 3.600 gramos (unas 8 libras) de potasio-40 se desintegran cada segundo. Como resultado de esta desintegración, 3.240 gramos (7 1/6 libras) de calcio-40 y 360 gramos (5/6 de onza) de argón-40 se forman cada segundo.

Éste, el argón-40, es el que nos interesa, puesto que se trata de un gas, y esto significa que la Luna está formando constantemente una atmósfera a su alrededor. Naturalmente, 360 gramos de argón es poca cosa, pero si se forman a cada segundo, y éstos se suceden como es normal...

Además, había más potasio-40 presente en la Luna antaño que en la actualidad. Hace unos 1.200 millones de años, había casi el doble, y cuatro mil millones de años atrás, unas ocho veces más que hoy día.

Si calculamos la cantidad de argón formada durante los cuatro mil millones de años en que la Luna ha sido un cuerpo sólido, y pensamos en la mayor cantidad de potasio-40 de tiempos remotos, resulta que la cantidad de argón que se ha formado durante todo este tiempo es de 150.000.000.000.000.000 de kilogramos, o sea unos 150.000 billones de toneladas de argón.

Para tener una idea de la enormidad de tal cantidad, diremos que representa casi tres veces al argón presente actualmente en nuestra atmósfera (argón que, incidentalmente, se formó y se forma de nuestro potasio-40).

Si todo el argón estuviera presente en la superficie de la Luna, nuestro satélite tendría una atmósfera con una masa 1/30 de la nuestra. Además, como la superficie lunar es sólo 1/16 de la terrestre, su atmósfera sería más compacta, hasta tener la mitad de la densidad de la atmósfera terrestre.

Pero la Luna no tiene tal atmósfera, como sabemos. Entonces, ¿qué ha sido del argón de la Luna?

Primero, el potasio-40 se propagó por todo el volumen lunar. El argón formado en las capas externas de las rocas lunares se abrió paso hacia la superficie, mas el formado a mayor profundidad quedó atrapado. (Esto también cuenta para el argón terrestre. La cantidad de argón atrapado en las entrañas de la Tierra es cinco veces, y podría serlo quince, mayor que la de la atmósfera.)

Pero aunque solamente 1/15 del argón lunar llegue a su superficie, la Luna debería tener una atmósfera cuya densidad sería del 3 por ciento respecto a la terrestre, y no obstante, ni esto tiene.

Aquí se presenta otra cuestión. El campo gravitatorio de la Luna es sólo 1/6 del terrestre, o sea, que no posee fuerza suficiente para retener al argón. La Luna, pues, pierde este gas hacia el espacio exterior *casi* tan rápidamente como surge de las rocas.

¡Casi! Sí, el argón tarda algún tiempo en abandonar por completo la Luna, de modo que siempre hay alguna cantidad de argón (no mucha) presente cerca de la superficie lunar.

En realidad, los astrónomos que observan las ondas de radio emitidas por diversos cuerpos celestes, han estudiado el comportamiento de las ondas que se deslizan por la superficie de la Luna, camino de la Tierra. Estas ondas de radio quedan ligeramente perturbadas, y se calcula que la perturbación se debe a una atmósfera lunar de partículas cargadas, de densidad igual a una dieztrillonésima de la terrestre.

No es mucho..., pero es algo.

15. El hombre y el Sol

El Sol era un dios para los antiguos. Ikhnaton, faraón de Egipto desde 1375 a 1358 a. de C., adoró al Sol y compuso un himno que subsiste hoy día. Quince siglos más tarde, cuando la cristiandad comenzó a apoderarse del Imperio romano, su mayor competidor era el mitraísmo, el culto al Sol.

Y con toda seguridad, si algún objeto inanimado es digno de adoración, éste es el Sol. Fue él quien produjo la progresión del día y la noche que le dio al hombre primitivo la primera noción del tiempo. El Sol trajo el calor y la vida a este mundo, y cada amanecer era una alegría al desvanecerse las tinieblas, los terrores de la oscuridad. Si la luz del Sol fuese pálida y empañada como en los meses de invierno, el hielo y la muerte rondarían cerca. Por lo tanto, no es de maravillar que si alguna vez quedó eclipsado su brillo y su resplandor, se apoderase el pánico de quienes presenciaban tal fenómeno.

La ciencia moderna ha intensificado nuestra comprensión respecto hasta qué punto dependemos del Sol. Salvo por el calor volcánico y las reacciones nucleares, todo el origen de las energías necesarias para el hombre procede en último término del Sol. Los océanos se mantienen líquidos por el calor del Sol, y el vapor formado por dicho calor es devuelto en forma de lluvia, mientras que el calentamiento de la atmósfera nos proporciona el viento y los cambios climatológicos.

Los rayos del Sol proporcionan la energía requerida por las plantas verdes, a fin de que puedan fabricar el almidón partiendo del dióxido de carbono, y liberar el oxígeno del agua. De esta forma, la comida que ingerimos y el aire que respiramos son un don directo del Sol.

¿Y qué es el Sol, al que tanto debemos? Una bola de luz, una bola de luz pura y perfecta, sin peso y divina, según juzgaban los antiguos. Un astrónomo griego empleó proporciones geométricas para demostrar que el Sol era mayor que la Tierra, y que ésta debía moverse a su alrededor, pero muy pocos hicieron caso de esta aparente tontería.

Sin embargo, dieciocho siglos más tarde, el astrónomo polaco Nicholas Copérnico, publicó en 1543 un análisis detallado de la forma en que la Tierra tenía que girar en torno al Sol, si había que explicar convenientemente los movimientos de los cuerpos celestes. Al cabo de un siglo de debates, se aceptó su opinión. En 1610, el científico italiano Galileo, ayudó a ello detectando puntos negros en el Sol, unas manchas en su supuesta perfección, lo que sirvió para demostrar que era un cuerpo material y no una sustancia semidivina, completamente extraña a la terrestre.

En 1683, el científico inglés Isaac Newton formuló la teoría de la gravitación universal, y la Humanidad tuvo otra deuda con el Sol. Su gigantesco cuerpo propagaba un enorme campo de gravitación, que se extendía miles de millones de kilómetros en todas direcciones. Atrapada en este campo, la Tierra daba vueltas en torno al Sol constantemente sin acercársele jamás demasiado, ni apartarse con exceso, quedando mantenida a la distancia requerida con la misma gentileza que un niño en brazos de su madre.

Según la ciencia moderna, el Sol es un globo material de 1.392.000 kilómetros de diámetro, que gira en torno a su eje cada veinticinco días. Comparada con él, la Tierra es como un pequeño guisante ante una pelota de béisbol. Si el Sol fuese una cascara vacía, en su interior cabrían 1.300.000 planetas del tamaño de la Tierra, sin llenarla. La materia es algo más compacta en la Tierra que en el conjunto solar. Se necesitaría la materia de 333.000 Tierras para formar la materia del Sol.

Las partes más pequeñas que del Sol podemos ver son enormes y monstruosas. La materia de sus capas superficiales, a una temperatura de 5.500° C, se arremolina y burbujea, con secciones que se levantan y se hunden, dándole al conjunto el aspecto de un grano de arroz. Si bien cada grano tiene un diámetro de miles de kilómetros.

En la superficie solar se forman grandes remolinos de materia, con fuertes propiedades magnéticas. La energía empleada en construir este magnetismo y en producir otros vastos trastornos se extrae de su propio calor. Por tanto, los tornados se calman a 3.900° C. Se trata de mucho calor según la pauta terrestre, pero no tanto como el existente en la superficie que rodea al Sol, que en comparación aparece negra. Se trata de las manchas descubiertas por Galileo.

Estas manchas, los remolinos solares, tienen miles de kilómetros de diámetro. Una de ellas,

medida en 1947, medía 150.000 kilómetros de diámetro. Tres docenas de planetas como la Tierra no habrían bastado para llenar aquel gigantesco embudo.

Las manchas del Sol aparecen por ciclos, aumentando en número de año en año hasta alcanzar una cúspide, durante cuyo tiempo el Sol queda ampliamente manchado. Luego, declina esta incidencia, hasta que algunos años el Sol está despejado por completo. Las cúspides se producen con once años de intervalo, y en tales épocas el Sol parece trastornado de muchos modos.

En los momentos álgidos de la actividad solar, por ejemplo, el Sol es particularmente activo en la erupción de materiales a miles y cientos de miles de kilómetros hacia arriba, contra su propia gravedad. Estas «prominencias» forman gotas de brillantes llamas rojas que ascienden o se arquean hacia arriba, invisibles a la vista ordinaria, más aparentes contra el borde del globo solar cuando el resplandor de su disco queda obstaculizado en los instrumentos modernos.

Tiene lugar un bloqueo natural de la luz del Sol cuando la Luna pasa directamente por delante del mismo. Por extraña coincidencia, la diminuta Luna se halla a la distancia exacta de la Tierra para adoptar el tamaño aparente del gigantesco Sol. Cuando la Luna pasa por delante de aquél, por tanto, lo tapa por completo.

Cuando esto sucede (por desgracia para los astrónomos con poca frecuencia), el resplandor blanquecino del sol queda ensombrecido, y la atmósfera exterior del astro rey se torna visible como una serie perlina de gallardetes luminosos y difusos. Esta «corona» se extiende fuera del disco solar como un gas muy caliente aunque muy tenue. Las observaciones de estos últimos años nos han permitido medir la temperatura de la corona, que ha resultado ser de 1.112.000° C aproximadamente. O sea, temperatura suficientemente elevada como para irradiar rayos X junto con la luz ordinaria. Sin embargo, la materia de la corona se halla extendida por el espacio en forma muy tenue, y a pesar de su alta temperatura, el contenido calorífico total es muy reducido.

Los astrónomos suponen que en la infancia del sistema solar, la materia que lo formaba consistía principalmente en polvillo de gases que giraban lentamente, y fueron contrayéndose bajo su propio impulso gravitatorio.

A medida que la materia se tornaba compacta hacia el centro, la temperatura del mismo se iba elevando. Éste es un fenómeno inevitable. La compresión del aire mediante una bomba de mano lo calienta y el centro de la Tierra, comprimido por el peso de todas las rocas y las demás materias de la superficie, se halla a una temperatura de miles de grados.

La materia comprimida del Sol, mucho más maciza que la terrestre, elevó su presión interna y su temperatura hasta unos límites insospechados.

Los átomos se movieron allí con más energía, hasta llegar a un punto en que las colisiones fueron tan monstruosas que los electrones que ocupaban las órbitas externas de los átomos abandonaron su lugar dejando al descubierto los diminutos núcleos en el centro de los átomos. Entonces, los materiales se unieron drásticamente, y el Sol se encogió hasta alcanzar el tamaño actual.

Casi toda la materia del primitivo Sol era hidrógeno, y el núcleo del átomo de hidrógeno es una partícula sola, increíblemente pequeña, llamada «protón», según ya sabemos. En tanto se iba elevando la temperatura, estos protones, ya sin capa protectora, fueron chocando cada vez con más ímpetu, hasta que empezaron a ejercer una interacción que formó unos núcleos más complicados, con cuatro partículas: los núcleos de helio.

Esta fusión del hidrógeno para formar helio liberó una gran cantidad de energía. Se trata del mismo proceso que tiene lugar en la bomba de hidrógeno. En resumen: el Sol se incendió para formar una hoguera nuclear y se transformó en una colosal bomba de hidrógeno, gracias a cuya luz y calor vivimos. El Sol, al revés que las bombas de hidrógeno terrestre, no estalla y se desvanece pocos instantes después de la explosión, porque la gigantesca gravedad solar mantiene junta a su sustancia contra toda la fuerza de la fusión nuclear.

Tampoco estamos sujetos a la peligrosa radiación de esta enorme bomba de hidrógeno del cielo, porque la mayor parte del peligro queda enterrado muy adentro del Sol. En su centro, donde tiene lugar la fusión nuclear, la temperatura es de unos 14.000.000° C, pero este calor increíble está contenido allí y sólo surge muy lentamente a través de los centenares de miles de kilómetros de materia solar. La superficie del Sol sólo está ligeramente caliente en comparación con el centro, y la parte de radiación superviviente es absorbida por la atmósfera terrestre antes de llegar a nosotros.

Probablemente habrán transcurrido unos cinco o seis mil millones de años desde que el centro compacto del Sol se incendió en un fuego nuclear, mas en todo este tiempo sólo una mínima porción de su inmenso contenido de hidrógeno se ha fusionado en helio. Aun hoy día, muchísimo más de la mitad de la masa solar es de hidrógeno, y posee bastante combustible nuclear para continuar ardiendo igual que ahora al menos durante diez mil millones de años más.

Del Sol, hasta tiempos muy recientes, nos llegaba más materia de lo que la gente supone. Porque no toda la materia arrojada «hacia arriba» desde su superficie vuelve al Sol. Una parte de la misma (como las rociadas del mar llevadas a tierra por el viento) deja el Sol y se propaga por el exterior en forma de filamentos muy finos.

Este material, en forma de protones y electrones cargados eléctricamente, alimenta a la corona, que se extiende en torno al Sol, cada vez más ancha, hasta que se pierde en las vastedades del espacio..., siendo constantemente renovado por la nueva materia procedente del Sol. Esta materia, sumamente fina, siempre arrojada del Sol, es el «viento solar», que incluso se nota en la Tierra, o sea, a una distancia de 150.000.000 de kilómetros del Sol.

La materia solar, cerca de la Tierra, es sumamente tenue, aunque bastante densa para impedir que el espacio que nos rodea sea un vacío absoluto. La Tierra, dicho de otro modo, es como un objeto que se mueve en una órbita *dentro* de la corona solar.

Las partículas cargadas del Sol son atraídas por los campos magnéticos de la Tierra, que avanzan desde los polos magnéticos a las regiones polares y alcanzan su mayor altitud en las regiones ecuatoriales.

Los electrones y los protones del Sol se unen en el campo magnético terrestre, y forman una especie de círculo en forma de buñuelo en torno a la Tierra. Se trata del Cinturón de Van Allen, que descubrió en 1958 el físico norteamericano James van Allen.

Cerca de los polos magnéticos, las partículas cargadas eléctricamente se dirigen hacia la atmósfera superior de la Tierra, donde sufren interacciones que crean la esférica belleza de las auroras boreales y australes.

El viento solar no es constante. De vez en cuando, se torna más intenso, de forma imprevisible. Esto sucede principalmente en las épocas de mayor actividad de las manchas solares, hallándose especialmente asociado con los «destellos». Ocasionalmente, la vecindad de una mancha solar puede tornarse mucho más brillante durante una hora, y este destello descarga una enorme rociada de partículas hacia el espacio.

Si esta rociada adopta la dirección de la Tierra, la nube de partículas invade nuestra atmósfera superior en menos de un día. Entonces, las auroras boreales son más resplandecientes, y se produce lo que se llama una «tormenta eléctrica».

Esta clase de tormentas puede afectar gravemente a la tecnología moderna. Las comunicaciones por radio dependen del contenido de fragmentos de átomos cargados eléctricamente, llamados iones, en la atmósfera superior, por lo que esta región se llama «ionosfera». Estos iones pueden reflejar las ondas de radio. Sin embargo, cuando las partículas cargadas eléctricamente invaden la ionosfera por enjambres, esta acción reflejante se toma versátil. Los medios de comunicación a larga distancia por medios electrónicos se descomponen en una serie de enjambres estáticos que pueden persistir durante más de treinta horas.

Asimismo, el viento solar puede afectar más a la Tierra día a día, con efectos intrínsecamente importantes. La lluvia no es sólo un efecto de la humedad del aire, ni siquiera las nubes, según sabemos hoy día. Las gotas de lluvia tienen que formarse, y esto no es sencillo. Usualmente se forman en torno a alguna partícula de polvo, del tamaño, forma y propiedades químicas adecuados. Los modernos creadores de lluvia tratan de suministrar este polvillo rociando los productos químicos más apropiados hacia las nubes.

Los iones también forman núcleos naturales para las gotas de lluvia, por lo que la probabilidad de que llueva se apoya en la riqueza de iones de la atmósfera superior. En conjunto, los iones son más numerosos en los años de actividad de las manchas solares, en que el viento solar es más intenso. Por tanto, las lluvias son más abundantes en tales años.

Así, algunas mediciones han indicado que el nivel de agua del lago Erie es más elevado durante la actividad máxima de las manchas solares. Los estudios de los círculos de árboles del sudoeste de Estados Unidos demuestran, al parecer, que aquéllos son más espesos (y la lluvia, por tanto, más copiosa) en ciclos de once años, como el de las manchas del Sol.

Cuando meditamos hasta qué punto la vida de nuestro planeta depende de la lluvia, podemos achacar casi todas sus variaciones a las manchas del Sol. Los períodos carentes de lluvias pueden significar años de carestía en los alimentos y, por consiguiente, años de inquietud política y de agresiones periódicas en el mundo entero. No es extraño que algunos sabios hayan intentado formular ciclos de guerras y depresiones, armonizándolos con el crecimiento y descenso de la frecuencia en las manchas solares. Sin embargo, dicha frecuencia es muy irregular, y la conducta humana es lo suficientemente complicada para tornar fútiles tales intentos.

Con la llegada de la era espacial, la conducta del Sol ha de ser fuente de grandes preocupaciones para los astronautas. La atmósfera terrestre absorbe gran parte de la radiación peligrosa para la vida, y fuera de la atmósfera el margen de seguridad es mucho menor. Mientras los astronautas salgan sólo de la inmediata vecindad de la Tierra por cortos períodos de tiempo, las paredes de la cápsula espacial (y, aún más importante, el campo magnético de la Tierra) los protegerá, pero en períodos más largos el peligro se agudiza.

Camino de la Luna, han de estar protegidos contra la intensa radiación del Cinturón de Van Allen^[8]. Tal vez será posible evitarlo, pasando por entre las brechas polares de tal Cinturón.

En el espacio abierto, los astronautas no pueden contar con ninguna seguridad, ni siquiera bajo condiciones en que el nivel de radiación a su alrededor parezca ser extraordinariamente bajo. Un súbito destello en la superficie del Sol podría propagar partículas peligrosas en su dirección, que no podrían esquivarse en modo alguno. Varios destellos han sido tan feroces que han enviado cantidades de la radiación más energética que se conoce: rayos cósmicos.

Los mismos exploradores de la Luna, que no tiene atmósfera que proteja (ver Capítulo 14), hallarán que éste es uno de los mayores peligros contra los que tendrán que prevenirse: la conducta insospechada del viento solar y sus imprevistos ataques mortales.

Naturalmente, es prudente saber muchos más detalles con respecto al Sol. Un descubrimiento importante que puede enseñarnos mucho se refiere a una diminuta partícula llamada «neutrino». Las reacciones de fusión que tienen lugar en el centro del Sol liberan tales partículas como reacción ordinaria.

La radiación normal tarda tanto en llegar a la superficie del Sol y sufre tantos cambios en este proceso, que lo que vemos del mismo sólo nos proporciona datos con respecto a la superficie del globo y nada sobre su interior, salvo lo que podemos deducir indirectamente. Sin embargo, los neutrinos son tan minúsculos y tan indiferentes a la materia ordinaria, que surgen del centro del Sol a la velocidad de la luz sin verse afectados en absoluto por la restante materia solar. Llegan a nosotros ocho minutos después de haberse formado, procedentes directamente del centro del Sol.

Los científicos se hallan ahora inventando unos «telescopios de neutrinos», que pueden consistir, por ejemplo, en grandes depósitos de ciertos productos químicos, capaces de detener unos cuantos neutrinos surgidos del Sol. Por el número de los detenidos y otras informaciones obtenidas gracias a ellos, será posible deducir la temperatura y otras condiciones existentes, en el centro del Sol, con una certeza muy superior a la actual.

Quedando expuesto a nuestro estudio el centro solar, gran parte de lo que hoy en día es misterioso dejará de serlo. Las manchas solares, el viento solar, los destellos, las prominencias, todo quedará registrado en detalle y, tal vez, por anticipado. Con este nuevo conocimiento, podremos avanzar con mayor seguridad por las profundidades espaciales, tal como la brújula guiaba antaño a los exploradores europeos por los terribles peligros del océano ignoto.

16. Las insólitas estrellas

Existe una anécdota muy popular sobre el joven de ojos saltones que asistió a una conferencia astronómica y que después comentó:

- Comprendo bien cómo descubren los astrónomos la distancia a que están las estrellas y sus grados de temperatura. Lo que no entiendo, sin embargo, es cómo averiguan sus nombres.

En realidad, muy pocas estrellas tienen un nombre. La mayoría se conocen por su número de catálogo, y en vez de nombre ostentan una serie de números.

Incluso la mayor parte de las que pueden apreciarse a simple vista se conocen por una letra griega aplicada a la constelación de la que forman parte. La estrella más próxima, Alfa del Centauro, se llama así por ser la más brillante de la constelación del Centauro, por lo que mereció ser designada con la letra Alfa, primera del alfabeto griego. También existen, naturalmente. Beta del Centauro, Gamma, etcétera.

Sin embargo, hay unas doscientas estrellas con nombre propio, con un nombre real, un nombre agradable, pero para el público en general apenas se ha popularizado una media docena de tales nombres. Es una lástima, porque con toda seguridad sería grato poder hablar de una estrella llamada Ruchbah, y de otra conocida como Benetnasch. Los cuales son ciertamente nombres de estrellas.

Incluso las más conocidas, aquellas cuyo nombre conocen hasta los menos aficionados a la Astronomía, consiguen una nueva vitalidad si se consideran sus nombres.

La estrella más brillante del firmamento y la que ostenta el nombre más conocido es Sirio. Se halla en la constelación *Canis Major* (Can Mayor, ya que los nombres oficiales de todas las constelaciones están en latín), y a veces se la llama la «Estrella del Can», por este motivo.

Como posee tanto brillo, los antiguos suponían que su calor se añadía al del Sol, cuando salía a mediados de verano. A esta parte del año todavía se la llama «días del perro», y el nombre Sirio debió su origen a ello, ya que procede de una palabra griega que significa «despellejar».

(Incidentalmente, Sirio, la Estrella del Perro, tiene otra compañera extremadamente pequeña, con un diámetro igual a la cuarta parte del de nuestra diminuta Tierra. A veces, a esta compañera se la conoce con el nombre de «la Cachorra».)

Una estrella muy brillante, situada al oeste de Sirio, pertenece a *Canis Minor* (Can Menor). Como se halla al oeste de Sirio, repito, naturalmente sale y se pone un poco antes que aquélla. Esta estrella, que sale antes que Sirio, se llama Procyon, cuyo significado griego es «antes que el Perro».

Cerca de las dos constelaciones *Ursa Major* (Osa Mayor) y *Ursa Minor* (Osa Menor), se halla la constelación de *Boötes* (Pastor). Los antiguos representaban a esta constelación como a un hombre sosteniendo dos perros entraillados. Los perros eran representados por estrellas de una pequeña constelación situada entre Boötes y *Ursa Major*, la constelación *Canes Venatici* (Los Perros de Caza).

Boötes y los perros protegen obviamente al resto del cielo contra las feroces osas. En consecuencia, se llamó *Arcturus* a la estrella más espléndida de Boötes, que en griego significa «guardián de los osos».

Los antiguos se tomaban con gran seriedad los dibujos que ellos mismos trazaban. Por ejemplo, la constelación *Auriga* (Cocheo), la trazaron como un viejo empuñando una brida con una mano y una cabra y sus crías sostenidas con la otra. Las estrellas que se hallan a un lado de la constelación se llaman, en consecuencia, «Las cabrillas», y a la más brillante entre ellas (y de toda la constelación), *Capella*, que en latín significa «cabra pequeña». Por este motivo, a la *Capella* suele llamársele Estrella de la Cabra.

La constelación *Virgo* (Virgen) se representa como una joven con unas espigas en la mano. Presumiblemente, se debe a que el Sol entra en *Virgo* a principios de otoño, cuando el grano está maduro y dispuesto para su cosecha. La estrella de dichas espigas es *Spica*, que en latín significa precisamente «espiga».

A veces, los nombres dependen menos del dibujo de las constelaciones. La de *Géminis* (Gemelos) contiene dos estrellas muy brillantes, y muy poco separadas en el espacio (lo cual

probablemente inspiró el nombre de la constelación). Los romanos les dieron los nombres de los famosos mellizos de su mitología. *Castor* y *Pólux*.

Régulus es la estrella más brillante de *Leo* (León) y procede del latín, por «reyezuelo», apropiado como ornamento principal del «rey de los animales salvajes». *Ares* es el dios romano al que los griegos llamaban *Marte*. Y *Antares* es una estrella que rivaliza con *Marte* en el color rojizo.

El nombre más apropiado de todos es el de la Polar, la estrella que señala el norte celeste, por lo que también se la llama la Estrella del Norte, o Estrella Polar.

En cambio, hay nombres totalmente inadecuados. La constelación de *Orión* («Cazador») se describe como un gigante sosteniendo su mano izquierda hacia arriba para detener al feroz *Taurus* («Toro»), mientras se dispone a golpearlo con el palo que tiene en la mano derecha. *Bellatrix* es la estrella de su hombro izquierdo y su nombre latino se refiere a «guerrero femenino», el cual no creo que le guste mucho a *Orión*.

Sin embargo, la mayoría de nombres estelares no son griegos ni latinos, sino árabes (de aquí tantas estrellas que empiezan con la partícula *Al*, (el artículo *él* árabe).

Consideremos, por ejemplo, las siete estrellas del Carro Mayor. Todo el mundo las ha visto; se trata de un grupo de estrellas que todo el mundo del hemisferio Norte puede señalar, aunque se ignore todo lo referente a las demás estrellas. Pero, ¿cuáles son sus nombres?

Sí, muchos denominamos a las dos estrellas que están al final del grupo, y forman como una línea apuntada a la Estrella Polar, «los Punteros», pero, ¿cuáles son sus nombres verdaderos?

Bien, éstos son sus nombres, empezando desde el extremo del manillar del carro y terminando con los Punteros: *Alkaid*, *Mizar*, *Alioth*, *Megrez*, *Phecda*, *Merak* y *Dubhe*.

La primera de la lista, *Alkaid*, tiene un nombre que suena a tableta antiácida, pero es árabe (como todos los demás), y significa «jefe», puesto que es la primera de las siete estrellas.

La segunda, *Mizar*, significa «velo». Este nombre tiene una historia propia. Cerca de *Mizar* se halla una estrella mucho más débil. Si ésta estuviera sola podría ser contemplada a simple vista, mas la presencia de otra más brillante la oscurece. Para distinguir la más débil de ambas estrellas hay que poseer una vista muy penetrante, y durante siglos este par de estrellas ha servido para distinguir una buena de una mala vista. La estrella más débil es *Alcor*, que en árabe significa «débil».

El nombre de la tercera estrella del Carro Mayor, *Alioth*, significa en árabe la gruesa cola de una oveja. Si esto parece raro, hay que recordar que los griegos pintaron al Carro Mayor como la Osa Mayor, de modo que las cuatro estrellas que forman el fondo del Carro eran sus cuartos traseros, en tanto las tres del manillar o pescante del Carro eran una cola. Naturalmente, ya sabemos que las osas carecen de cola, o casi, y los griegos también debían saberlo. Debieron, no obstante, heredar el dibujo de los babilonios, y a pesar de las colas, llamaron osas a esas constelaciones. Los árabes continuaron con las colas, y como carecían de palabra para expresar la cola de una osa, llamaron a la estrella con el nombre aplicado a la cola de una oveja.

La cuarta estrella, que inicia el Carro, es *Megrez*, que significa «raíz», presumiblemente por ser la raíz de la cola.

No he hallado el significado de *Phecda*, pero en cuanto a los Punteros, *Merak*, la más alejada de la Polar, significa «ingle», pues está situada en la ingle de la osa, mientras que *Dubhe* quiere decir «oso».

De modo semejante, las cuatro estrellas del famoso «Cuadro de Pegaso» (Pegaso es el «Centaurio» o caballo volador), tienen los nombres árabes de *Alpheratz*, *Algenib*, *Markab* y *Scheat*. *Alpheratz*, en el flanco del caballo, significa «la yegua»; *Algenib*, más arriba, es «el costado»; *Markab*, aún más alto, es «la silla». *Scheat*, justo encima de una pata delantera, no es un nombre aclarado. Puede derivarse del término árabe «buena suerte», mas no veo razón para ello.

Varios nombres de la estrella más familiar también son de origen árabe. La segunda estrella más brillante de *Orión*, la de la pierna izquierda del cazador, es *Rigel*, que en árabe significa «pie». *Betelgeuse*, la estrella más resplandeciente de la constelación, está en el brazo derecho del cazador, y es la corrupción de un término árabe que significa «brazo de *Orión*».

Otras estrellas también ostentan nombres derivados de las constelaciones a que pertenecen. *Altair*, la más brillante de la constelación *Aquila*. («Águila»), significa en árabe «pájaro». La constelación *Piscis* («Peces»), se representa por dos peces unidos por una larga

cuerda. En el centro de la misma se halla la estrella más refulgente de la constelación a la que los astrónomos árabes dieron el nombre de *Al Richa* («la cuerda»).

La estrella más brillante de la constelación *Cignus* («Cisne») es *Deneb*. Está situada en la parte posterior del Cisne, según se representa usualmente, y procede de una palabra árabe que significa «cola». Era un nombre favorito entre los astrónomos árabes (los mejores estudiantes del cielo en la Edad Media, por cuyo motivo tantas estrellas llevan nombres árabes), de modo que en el firmamento hay varias estrellas con el mismo nombre de *Deneb*.

Los árabes hicieron distinciones entre ellas, añadiendo una segunda palabra. Esto persiste en varios casos. Por ejemplo, *Deneb Albedi*, de *Capricornio* («Cabra»), significa «cola de la cabra», y *Deneb Kaitos*, de *Cetus* («Ballena»), significa «cola de ballena». La segunda estrella más brillante de *Leo* es *Denebola*, donde el sufijo «ola» es lo que queda de la expresión árabe que significa «del león».

Por otra parte, para demostrar que los árabes no se limitaban a un extremo del ser, la estrella más brillante de *Piscis Australis* («el Pez del Sur»), es *Formalhaut*, frase que en árabe significa «boca del pez». Igualmente, la estrella más resplandeciente de *Ophiucus* («Sostenedor de la Serpiente»), que naturalmente representa a un hombre que sostiene una serpiente, es *Rasalhague*, que en árabe significa «cabeza del encantador de serpientes».

Aldebarán, la estrella más brillante de *Taurus*, es una especie de *Procyon* al revés. *Aldebarán* se halla algo al este del bien conocido grupo de estrellas llamado las Pléyades, y en consecuencia las sigue al salir y al ponerse. El nombre de esa estrella, en árabe, significa «el seguidor».

Tal vez el nombre más colorista, aplicado por los árabes a una estrella, sea el que ostenta la segunda más brillante de la constelación de Perseo. Es una de las pocas estrellas del firmamento que cambia visiblemente de brillo con regularidad. Esto era muy sorprendente para los antiguos, que, por lo general, creían que las estrellas eran perfectas e inmutables. El caso de esta estrella pudo, por tanto, guiar el trazado de la constelación. El dibujo muestra a Perseo sosteniendo la cabeza cortada de Medusa, una horrible diablesa a la que él mató, una diablesa tan horrible, con un rostro odioso y serpientes vivas en lugar de cabellos, que convertía a los hombres en piedra cuando la miraban.

La estrella en cuestión está en la cabeza de Medusa, y los árabes le aplicaron el nombre de *Algol*, que significa «diablo». En consecuencia, a *Algol* se la conoce como la «Estrella del Demonio».

Todo esto da una leve idea de la riqueza del firmamento. Entre los doscientos nombres, aproximadamente, que no he mencionado, hay ejemplos tan genuinos como Tazared, Pherkad, Mesartim, Kochab, Izar, Caph, Dschubba y Azelfafage.

17. Medición del espacio

La Humanidad, por su propia conveniencia, utiliza diferentes unidades de acuerdo con sus necesidades. Así, la longitud de una habitación se hace por metros o palmos, una pista de carreras suele medirse por yardas o por metros y un trayecto automovilístico por kilómetros en algunos países y por millas en otros.

Esto se hace, principalmente, para que las cifras no crezcan desmesuradamente. Sería ridículo decir que una habitación mide 0,004 kilómetros de longitud, en lugar de cuatro metros; o que la distancia desde Boston a Nueva York es de 1.500.000 palmos, y no de 370 kilómetros.

Sin embargo, ninguna de las unidades de medición inventadas para su empleo en la superficie de la Tierra resulta conveniente para la medición de las distancias astronómicas. La mayor unidad de longitud común en la Tierra es la milla, o el kilómetro en los países que utilizan el sistema métrico decimal. Pero ambas unidades son tremendamente cortas para los astrónomos (una milla equivale a 1,609 kilómetros).

El objeto más cercano a nosotros del espacio es la Luna, y el segundo en tamaño. Venus. Pero la distancia de la Tierra a la Luna, expresada en nuestras unidades terrestres, es de 237.000 millas (380.000 kilómetros), en tanto que Venus se halla a 25.000.000 de millas (40.000.000 de kilómetros) cuando está más cerca.

Para impedir que estas cifras astronómicas sumen millones, lo cual resultaría muy molesto, más aún cuando se tratase de billones y trillones, los astrónomos han inventado unas unidades de medición, inútiles en la Tierra, aunque, en esta era espacial en que vivimos, cada vez se escuchan con más frecuencia. Por esto, hemos de aprender a entender este código de distancias astronómicas.

Por ejemplo, los astrónomos utilizan la distancia entre la Tierra y el Sol como una «yarda espacial». Ésta varía en varios millones de millas según la posición exacta de la Tierra en su órbita elíptica, pero la distancia media es de 92.870.000 millas (149.450.000 kilómetros).

Los astrónomos llaman a esta vara de medición la Unidad Astronómica, abreviadamente U. A. De esta forma, es posible decir que la distancia media entre la Tierra y el Sol es de 1 U. A. La ventaja de este sistema es poder medir distancias astronómicas en U. A., resultando de esta manera unas cifras más al alcance de todos.

Por ejemplo, la distancia media de la Tierra a la Luna es 0,00255 U. A., mientras que Venus se halla a 0,27 U. A. de la Tierra. Con lo cual sabemos al momento que la distancia lunar es 1/400 de la del Sol, y que Venus se halla a 1/4 de la distancia solar.

TABLA 1

| Planeta | Distancia en millas | Distancia en Km. | Distancia en U.A. |
|----------|---------------------|------------------|-------------------|
| Mercurio | 36.000.000 | 58.000.000 | 0,39 |
| Venus | 67.500.000 | 108.300.000 | 0,72 |
| Tierra | 92.870.000 | 149.450.000 | 1,00 |
| Marte | 142.000.000 | 228.000.000 | 1,52 |
| Jupiter | 484.000.000 | 778.700.000 | 5,20 |
| Saturno | 888.000.000 | 1.428.000.000 | 9,54 |
| Urano | 1.790.000.000 | 2.872.000.000 | 19,22 |
| Neptuno | 2.800.000.000 | 4.500.000.000 | 30,07 |
| Pluton | 3.700.000.000 | 2.872.000.000 | 39,48 |

La Tabla 1 presenta las distancias medias de los diversos planetas al Sol en millas, kilómetros y U. A. No solamente los números de la columna U.A. son de más fácil manejo, sino que también dejan comprender claramente y con suma rapidez la relación existente en los diversos valores, puesto que la columna de las millas y la de los kilómetros no puede leerse tan fácilmente.

Si uno oye decir que Neptuno se encuentra a 2.800.000.000 millas del Sol, sólo tenemos un número confuso. Si, por otra parte, nos dicen que esa distancia se de 30,07 U.A. sabemos al instante que Neptuno se halla 30 veces más lejos del Sol que la Tierra.

Con las cifras U.A. es posible afirmar a simple vista que Saturno se encuentra dos veces más lejos del Sol que Júpiter, y que Plutón está (por término medio) dos veces tan lejos del Sol como Urano. La misma información la podemos conseguir en las columnas de las millas y kilómetros, pero unas cifras tan desmesuradas confunden con más facilidad.

Una unidad de suma importancia para los astrónomos es la relacionada con la velocidad de la luz.

En un segundo, la luz (o cualquier otra forma de radiación electromagnética como las ondas de radio) viaja a 186.282 millas, aproximadamente 300.000 kilómetros por segundo. En lugar de llamar a esto «la distancia a que viaja la luz en un segundo», decimos simplemente «segundo-luz». De esta manera resulta mucho más fácil decir que la distancia de la Luna a la Tierra es de 1,27 segundos-luz, o que Venus está a unos 13,5 segundos-luz de la Tierra.

De esta manera, al establecer contacto por radio con una expedición a la Luna, nuestras señales tardar en llegar hasta allí 1,27 segundos. Una señal de radar, saliendo de Venus a su más próxima distancia que es de 13,5 segundos-luz, tardaría 27 segundos en el viaje de ida y vuelta. Las distancias medidas con estas unidades encajan mejor dentro de las comunicaciones por radio.

El sistema solar puede medirse en segundos-luz, pero esto resulta menos claro que utilizando las Unidades Astronómicas o U.A. Un U.A. es igual a unos 500 segundos-luz. En consecuencia, la distancia media del Sol a Neptuno, que es de unos 30 U.A., resulta ser de 15.000 segundos-luz. Esta última cifra es mayor y, por tanto, menos conveniente.

Sin embargo, el uso de la velocidad de la luz como unidad de medición no se limita a los segundos-luz. Existe también la distancia que la luz recorre en un minuto, o en una hora (minuto-luz y hora-luz). Naturalmente, un minuto-luz es igual a 60 segundos-luz, mientras que una hora-luz es lo mismo que 60 minutos-luz o 360 segundos-luz.

TABLA 2

| Planeta | Distancia en minutos-luz | Distancia en horas-luz |
|----------|--------------------------|------------------------|
| Mercurio | 3,2 | 0,053 |
| Venus | 6,0 | 0,10 |
| Tierra | 8,3 | 0,14 |
| Marte | 12,7 | 0,21 |
| Jupiter | 43,3 | 0,75 |
| Saturno | 78,6 | 1,31 |
| Urano | 159 | 2,65 |
| Neptuno | 250 | 4,18 |
| Plutón | 330 | 5,50 |

En la Tabla 2, las distancias medias de los planetas al Sol se expresan en minutos-luz y horas-luz. En realidad, la primera es una unidad de medición muy conveniente para distancias planetarias como la de la órbita de Júpiter, mientras que la unidad de horas-luz es más apropiada para los planetas situados más allá de Júpiter.

La anchura del sistema solar desde un extremo de la órbita de Plutón al otro es de unas 11 horas-luz, o casi medio día-luz. Fuera de esta zona no hay nada, según nuestros conocimientos (salvo los insubstanciales fantasmas que llamamos cometas, y tal vez algunos meteoritos errantes), hasta llegar a las estrellas.

Un gráfico de nuestra familia de planetas se forma de este modo en nuestras mentes. La luz, que puede llegar de la Tierra a la Luna en $1\frac{1}{4}$ segundos y llegar a nosotros, procedente del Sol, aproximadamente en ocho minutos, debe viajar durante once horas a fin de llegar hasta la órbita de Plutón.

Sin embargo, el sistema solar no es más que una mota de polvo en la enormidad del

espacio, y los astrónomos sondan sus límites con sus telescopios. Por fortuna, la velocidad de la luz sigue ofreciéndoles una continua sucesión de unidades de medición. Pero al suponer las semanas-luz y los meses-luz como unidades convenientes, nos equivocamos.

Esto se debe a que las ondas luminosas, después de pasar la órbita de Plutón, pueden viajar semanas y meses en la misma dirección sin hallar materia en el vacío del espacio exterior.

No existe ningún objeto conocido en dicho espacio exterior cuya distancia al Sol pueda medirse adecuadamente en términos de semanas-luz o meses-luz.

Cuando se miden distancias estelares hay que emplear el año-luz, o sea, 300.000 kilómetros multiplicados por el número de segundos (más de un millón) que tiene un año.

Esta distancia es muy larga: 5.890.000.000.000 millas o 9.450.000.000.000 kilómetros. Hablando en general, un año-luz equivale casi a seis billones de millas o diez billones de kilómetros.

A pesar de ser ésta una distancia enorme, no existe ningún cuerpo fuera del sistema solar que se halle a un año-luz de nosotros. La estrella más cercana, Alfa del Centauro, se halla a 4,3 años-luz.

Otra unidad de medición para distancias estelares no se basa en la velocidad de la luz. Esta nueva unidad se refiere al aparente cambio de posición de las estrellas más próximas contra el fondo de las más lejanas. Este cambio se produce cuando la Tierra viaja de un punto de su órbita al extremo opuesto, lo que tiene lugar seis meses más tarde. La mitad de este cambio aparente en la posición de una estrella se llama «paralaje estelar».

Es posible observar un paralaje tosco manteniendo el índice a unos quince centímetros de la nariz y mirar hacia algún objeto distante con sólo un ojo abierto. Sin mover el dedo, mirarlo con el otro ojo. El dedo cambia de posición contra el fondo porque el individuo ha cambiado el punto de vista de un ojo a otro.

Cuanto más distante está el objeto de referencia, menor es el paralaje. Extended el índice a la distancia del brazo y veréis que cambia mucho menos de posición respecto al fondo. Por esta razón, es posible calcular la distancia de un objeto celeste a la Tierra, gracias a su paralaje. Este método se emplea para calcular la distancia de las estrellas más cercanas, desde hace más de un siglo, pero es una tarea muy engorrosa, puesto que hasta las estrellas más próximas tienen un paralaje muy pequeño.

Imaginemos un paralaje de un segundo de arco (que es $1/60$ de un minuto de arco, que, a su vez, es $1/60$ de un grado de arco, de los 360 grados que tiene la circunferencia). Un segundo de arco es igual al diámetro aparente de una moneda sostenida a la distancia de cuatro kilómetros, o sea excesivamente pequeño. Una estrella con este paralaje se halla a la distancia de un «parsec». (La palabra «parsec» es una contracción de «paralaje-segundo».) Pero incluso un paralaje diminuto es demasiado grande.

No hay ningún objeto conocido fuera del sistema solar que se halle sólo a un parsec de distancia. En consecuencia, ninguna estrella conocida posee un paralaje que tenga un segundo de arco. La estrella más próxima, Alfa del Centauro, tiene un paralaje que vale 0,76 segundos de arco.

Un parsec equivale a 3,26 años-luz. Así, Alfa del Centauro está a 4,3 años-luz de distancia, o sea, a 1,3 parsecs, dividiendo 4,3 por 3,26.

TABLA 3

| Estrella | Dist. Años-luz | Dist. en Parsecs |
|-------------------|----------------|------------------|
| Alfa del centauro | 4,3 | 1,3 |
| Sirio | 8,6 | 2,6 |
| Procyon | 11 | 3,4 |
| Altair | 16 | 4,9 |
| Fomalhaut | 23 | 7,1 |
| Vega | 27 | 8,3 |
| Pólux | 33 | 10 |
| Arturo | 40 | 10 |

| | | |
|------------|-----|-----|
| Capella | 42 | 13 |
| Castor | 45 | 14 |
| Aldebarán | 55 | 17 |
| Régulus | 77 | 24 |
| Canopus | 100 | 31 |
| Mira | 165 | 51 |
| Antares | 220 | 68 |
| Betelgeuse | 275 | 84 |
| Deneb | 400 | 123 |
| Rigel | 540 | 167 |

En la Tabla 3, se expresa la distancia de algunas de las estrellas más conocidas en años-luz y parsecs.

Aunque quepa pensar que los astrónomos poseen ya todas las unidades de medición necesarias para su labor, las estrellas enumeradas en la Tabla 3 pertenecen todas a la vecindad más inmediata a nosotros, siendo sólo un pequeño sector de un brazo en espiral de nuestra galaxia.

Toda la Vía Láctea es mucho mayor que el pequeño volumen de soles que podemos observar a simple vista, incluyendo las estrellas cuyo paralaje aquí se expresa.

El núcleo, o centro, de nuestra galaxia, que contiene el 90 por ciento de todas sus estrellas (y que ni siquiera podemos ver con un telescopio debido a las masas de polvo interestelar interpuestas entre ellas y nosotros), se halla a más de 30.000 años-luz del sistema solar. En realidad, el diámetro de nuestra galaxia, que tiene forma de disco, es de unos 100.000 años-luz, mientras que su mayor grosor (en el centro) es de unos 30.000 años-luz. Estas cifras resultan también muy elevadas.

Una de las maneras de impedir este crecimiento numérico es emplear el siglo-luz (100 años-luz) y el milenio-luz (1.000 años-luz o 10 siglos-luz). De esta forma podemos decir que Deneb se halla a 4 siglos-luz de nosotros y que las medidas de nuestra galaxia son 100 milenios-luz de diámetro por 30 milenios-luz de grosor.

En realidad, estas unidades pocas veces se emplean. Los astrónomos tienden a expresarse en parsecs para distancias excesivas. Así como en el sistema métrico decimal un kilómetro equivale a 1.000 metros y un kilogramo a 1.000 gramos, los astrónomos han inventado el «kiloparsec», igual a 1.000 parsecs. Utilizando esta compacta unidad de medición, podemos decir que las medidas de nuestra galaxia son de 31 kiloparsecs de diámetro por 9 kiloparsecs de grosor.

Sin embargo, nuestra galaxia no es más que un punto perdido en la inmensidad del universo, lleno de otras galaxias, miríadas de galaxias, en realidad. En las galaxias más cercanas a la nuestra, a la Vía Láctea, se hallan las relativamente pequeñas «galaxias satélites», llamadas la Gran Nube de Magallanes y la Pequeña Nube de Magallanes. Se hallan respectivamente a 150.000 y 170.000 años-luz de distancia, o sea, a 47 y 53 kiloparsecs.

La galaxia de gran tamaño más cercana a la nuestra es Andrómeda, que está a 2.300.000 años-luz, o 700 kiloparsecs. Otras galaxias (incluyendo, por ejemplo, un famoso grupo galáctico en la constelación de Coma Berenice, y una galaxia espectacular en el Cisne, que se cree son dos galaxias en colisión), se hallan mucho más distantes. Incluso el kiloparsec resulta demasiado pequeño para medir tales distancias.

En cambio, podemos utilizar el «megaparsec», equivalente a un millón de parsecs, o mil kiloparsecs (o a 3.260.000 años-luz). Usando esta unidad, este grupo de galaxias de Coma Berenice se halla a 25 megaparsecs de distancia. Las galaxias en colisión del Cisne están a 80 megaparsecs de nosotros.

¿Tenemos ya todas las medidas espaciales necesarias? No, en absoluto. En 1963, los astrónomos comprendieron que existían objetos en el universo que se hallaban mucho más lejos que las galaxias más apartadas. Estos objetos nuevos, los más distantes conocidos, se llaman quasars (ver Capítulo 19).

El quasar más distante detectado por nosotros se llama 3C9, que se halla a la posible

distancia de 9.000 millones de años-luz. Esta distancia equivale a 2.800 megaparsecs.

Demos un paso adelante e introduzcamos el «gigaparsec», igual a mil millones de parsecs o a mil megaparsecs. Entonces, diremos que el 3C9 está a 2,8 gigaparsecs de nosotros.

En realidad, los astrónomos tienen motivos para pensar que la máxima distancia a que podemos llegar con nuestros mejores instrumentos es de 25.000 millones de años-luz. En cuyo caso, la anchura de todo el universo alcanzable con nuestros instrumentos más perfeccionados, en las mejores circunstancias, es de 25.000 millones de años-luz, o sea, unos 7,5 gigaparsecs.

Y, naturalmente, no es preciso ahondar más.