



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

José Narro Robles

Rector

Carlos Arámburo de la Hoz

Coordinador de la Investigación Científica

Estela Morales Campos

Coordinadora de Humanidades

María Teresa Uriarte Castañeda

Coordinadora de Difusión Cultural

José Franco López

Director General de Divulgación de la Ciencia

Javier Martínez Ramírez

Director General de Publicaciones y Fomento Editorial

Rolando Ísita Tornell

Director Académico de la DGDC



Publicaciones & Fomento Editorial



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Chamizo, José Antonio, autor.

¿Cómo ves? : las ciencias / José Antonio Chamizo Guerrero. — Segunda edición. — México, D.F. : Universidad Nacional Autónoma de México, Dirección General de Divulgación de la Ciencia : Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial, 2014.

150 páginas : ilustraciones ; 16 cm. — (Colección ¿cómo ves? ; 1)

Bibliografía: páginas 145-146
ISBN 978-607-02-5982-1

1. Ciencia. 2. Ciencia — Aspectos sociales. 3. Noticias científicas. I. Universidad Nacional Autónoma de México. Dirección General de Divulgación de la Ciencia. II. Universidad Nacional Autónoma de México. Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial. III. Título. IV. Serie.

500scdd21

Biblioteca Nacional de México

Coordinación editorial

Rosanela Álvarez Ruiz

Asistentes editoriales

Kenia Salgado Sánchez y Paula Buzo Zarzosa

Asesoría en diseño editorial

Susana Tapia Contreras

Diseño original de la colección *¿Cómo ves?*

Azul Morris

Formación de interiores

Susana Tapia Contreras

Primera edición, marzo de 2000

Primera reimpresión, febrero de 2003

Segunda reimpresión, septiembre de 2006

Tercera reimpresión, febrero de 2009

Cuarta reimpresión, mayo de 2013

Segunda edición, 10 de octubre de 2014

D. R. © 2014, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Avenida Universidad 3000, Ciudad Universitaria

col. Universidad Nacional Autónoma de México

Coyoacán, 04510, México, D. F.

Dirección General de Divulgación de la Ciencia

Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial

ISBN 1a. ed. 968-36-7933-1

ISBN 2a. ed. 978-607-02-5982-1

Esta edición y sus características son propiedad de la Universidad Nacional Autónoma de México. Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Impreso y hecho en México.

Imagen de portada

Ilusión óptica de origen desconocido. Con los años se adaptaron y popularizaron diferentes versiones, como “Mi esposa y mi suegra”, de W. E. Hill, en la revista *Puck* (1915), y “Boring figure”, en un artículo del psicólogo Edwin G. Boring, en la revista *The American Journal of Psychology* (1930).

Adaptación realizada por Susana Tapia.

Ilustraciones pp. 18, 30, 31, 32, 49, 55, 66, 74-75, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 102-103, 112, 119 y 122

Quinta del Agua

Ilustraciones pp. 35, 46, 58, 59, 60, 61, 67, 115 y 131

Susana Tapia

Ilustraciones pp. 92-93 y 94-95

Natalia Rentería

Ilustración p. 90

Berenice Medina

Ilustraciones pp. 72 y 77

Aline Darjo

Ilustración p. 117

Raúl Cruz

La colección *¿Cómo ves?* busca presentar a los jóvenes temas fundamentales de su interés, tratados de manera breve, clara y rigurosa, pero no por ello menos amable.

El propósito es ofrecer títulos en los que el público encuentre respuestas a interrogantes nacidas de experiencias y reflexiones cotidianas; es decir, se trata de acercar a los lectores jóvenes a la ciencia y demás disciplinas que constituyen la cultura.

En esta *segunda edición* se presenta información nueva y datos actualizados conforme a los constantes cambios y avances de la ciencia y de la sociedad.

Índice

Introducción	17
Las ciencias	23
El conocimiento científico es objetivo	29
El conocimiento científico es causal	32
El conocimiento científico busca regularidades	34
Las ciencias son experimentales... la mayoría de las veces	40
El conocimiento científico es tentativo	42
El conocimiento científico está limitado por la sociedad en la que se desarrolla	45
Los tres grandes temas de la ciencia	51
La materia	53
El tiempo	71
Las sociedades humanas	98
Epílogo	110
Las ciencias son parsimoniosas	110
Notas	113
1. Toxicidad	113
2. Jean Perrin y el movimiento browniano	114
3. Isaac Newton	116
4. Instrumentos y descubrimientos	118

5. Publicaciones de las ciencias	120
6. Experimento de Urey-Miller	122
7. Ciencias y tecnologías... ¿tecnociencias?	123
8. Genética vs. cultura	125
■ Apéndices	127
1. Algunas preguntas en busca de respuesta	127
2. Algunas características de las ciencias	127
Los modelos	127
Algunas predicciones derivadas de modelos usados en los grandes temas de materia, tiempo y sociedad	135
Algunas respuestas basadas en observaciones y experimentos	136
3. Otras características, o mejor dicho, y perdonando la ligereza, “anticaracterísticas” de las ciencias	139
Las ciencias <i>no</i> son democráticas	139
Las ciencias no dependen de la cantidad de dinero de una sociedad	139
Las ciencias no tienen más autoridad que el propio conocimiento	140
Las ciencias no se construyen por decreto de un día para otro	141
Las ciencias no son ni la anciana ni la joven de la portada	142
■ Bibliografía	145
■ Lecturas recomendadas	147

A Tomás

Este libro es el resultado de muchas horas de clase con jóvenes alejados de la ciencia y con futuros científicos, además de largas discusiones con amigos, algunos de los cuales me ayudaron en la corrección de los diversos manuscritos que terminan en este ejemplar. Particularmente agradezco a los doctores Octavio Chamizo, Juan Manuel Gutiérrez, Alejandra García, Juan Pedro Laclette, Ana Martínez, Matías Moreno y José Luis Palacio por enfrentarme con mis equívocos y confusiones; a Luisa y Rodrigo por provocarlas, y a Montserrat y Yosune por paliar... algunas de ellas.

Introducción

Parecía absolutamente evidente que la Tierra fuera estable e inmóvil y que éramos el centro del universo. La ciencia occidental moderna parte de la negación de este axioma derivado del sentido común. Tal negación, origen y prototipo de las mayores paradojas de la ciencia, constituiría nuestra invitación a un mundo indivisible e infinito. Del mismo modo que el conocimiento fue lo que llevó a Adán y a Eva a descubrir su desnudez y a vestirse, el conocimiento, acompañado de un sentimiento de culpabilidad, de esta simple paradoja —que la Tierra no ocupaba un lugar tan central ni era inmóvil como parecía—, llevarían al hombre a descubrir la desnudez de sus sentidos. El sentido común, pilar de la vida cotidiana, ya no servía para gobernar el mundo. En el momento en que el conocimiento “científico”, sofisticado, producto de complicados instrumentos y sutiles cálculos, dio lugar a verdades incuestionables, las cosas dejaron de ser lo que parecían.

D. Boorstin¹

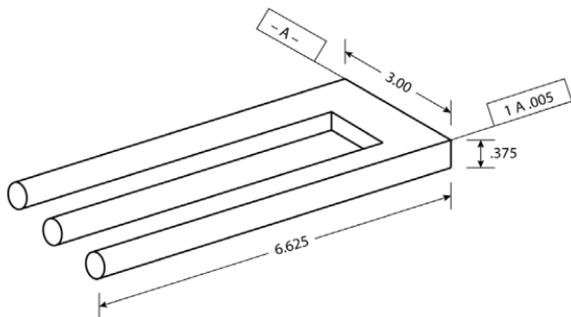


FIGURA 1.

Mirar la figura 1 nos causa cierta molestia. Algo está mal con ella ya que queremos verla como un objeto en tres dimensiones cuando no lo es.

Este objeto es una paradoja; parece una cosa y es otra. ¿O tal vez no? Al mirar este objeto, como sucede también al mirar el mundo, nuestros sentidos nos engañan. ¿Acaso todo lo que miramos no es lo que parece ser? Una respuesta a esta pregunta está en las ciencias. Sobre ellas hay muchas ideas diferentes; dos de las más importantes son:

1. La que sugiere que el desarrollo de las ciencias, con su fría lógica capitalista a la que no le preocupa otra cosa más que el beneficio económico, ha desplazado viejos saberes que permitían comprender mejor el mundo. Las ciencias, además, han olvidado lo sagrado, lo humano, lo

artístico, lo inesperado. Para los que comparten esta idea, las ciencias han roto el contacto que existía entre los seres humanos y su entorno, incluidos los otros seres humanos. Las ciencias son un peligro, como lo demuestran los ríos contaminados, las armas de todo tipo, la comida alterada y la manipulación de la vida a través de la ingeniería genética. A fin de cuentas, las ciencias son dañinas en sus resultados, en sus aplicaciones y, por tanto, en su forma de construirse. Es el saber deshumanizado por excelencia... y además, a pesar de ser aburridas, hay que aprenderlas en la escuela por la fuerza.

2. La que apunta a que las ciencias son un esfuerzo obviamente humano (de quién si no) realizado durante siglos por mujeres y hombres para vencer los mitos que tenían y aún tienen engañados a los seres humanos. El saber del pasado fue, precisamente, un remedio contra el temor que producían los fenómenos naturales, y el saber científico lo ha superado. Al hacerlo, los conocimientos científicos han crecido lo suficiente como para poder manipular mucho de lo que nos rodea. Las ciencias nos dan, entre otras cosas, una agricultura que sostiene a un número creciente de personas en todo el planeta, remedios para muchos de los males que nos aquejan,

materiales que nos facilitan la vida y una red global de telecomunicaciones... y en la escuela algún maestro o maestra de ciencias fue lo suficientemente talentoso como para hacer que no las odiáramos.

Este libro trata sobre las ciencias y sobre sus tres temas más importantes: la materia, el tiempo y las sociedades humanas, y muestra algunos aspectos de su historia. Finalmente, la historia de las ciencias está llena de luchas, denuncias y vueltas a empezar; de errores que generaron verdades, de pruebas que dejaron de serlo, de esperanzas y de frustraciones. Ha sido y es una acumulación razonada y crítica de saberes, que en sus intentos de conocer mejor el ambiente que rodeaba a las comunidades humanas pareció como un ataque contra lo que era el sentido común de la época. La historia de las ciencias se desarrolló como una *larga lucha contra el principio de autoridad*, tanto civil como religiosa, que de alguna manera se opuso a esta nueva forma de ver el mundo para justificar la estructura social de la época. Hoy las ciencias son, querámoslo o no, parte de esa estructura social y con ello también de nuestra cultura.

Con el desarrollo de las ciencias aumenta el conocimiento que se tiene del mundo, y consecuentemente la capacidad para intervenir en

él. Esto ha hecho que particularmente en los últimos 100 años buena parte de las costumbres sociales asociadas a la moral, que nos permitían vivir en sociedad, se volvieran obsoletas. Por primera vez en la historia de los seres humanos nuestras condiciones de vida no son iguales a las de nuestros padres; ni siquiera semejantes a las de nuestros abuelos. ¿Cómo eran los días sin radio, televisión o redes sociales? ¿Cómo se iluminaban las noches sin electricidad? ¿Había métodos anticonceptivos? Las mujeres, desde luego, no iban a la escuela.

Como resultado de los cambios actuales hay nuevas y urgentes preguntas, y, por tanto, muchas y diferentes respuestas. Hay que tomar decisiones para las que no estamos preparados. ¿Cuándo empieza la vida? ¿Cuándo la muerte? ¿Qué hacer para no destruir el planeta? ¿Cómo compartir el conocimiento? ¿Cómo repartir la riqueza?

Muchas de estas preguntas también se las hacen los filósofos y los teólogos; sin embargo, sus respuestas, cuando las tienen, son diferentes de las de los científicos.

Buda no tenía respuesta para el enigma de la creación. En gran parte, el atractivo que ha ejercido sobre millones de personas de todo el mundo durante 2500 años deriva de

esta razonable negativa a intentar responder a preguntas para las que no hay respuesta. “¿Es el universo eterno o no lo es, o ambas cosas? ¿Es el universo espacialmente infinito o no infinito, ambas cosas o ninguna de las dos?” Buda incluía estas preguntas en la lista de 14 interrogantes para las que no tenía respuesta.²

Las ciencias no son más que lo que son: poderosas en su transformación y explicación del mundo, y frágiles en la medida en que lo son las obras de las mujeres y los hombres. El problema de hoy está en encontrar la moral que nos permita vivir de acuerdo con nuestro tiempo, tiempo caracterizado y construido por las ciencias. *¿Cómo ves?*

Las ciencias

Las ciencias son una manera de ver el mundo. Hay muchas maneras de verlo: los campesinos, a través de los alimentos que recogen de la tierra después de una paciente labor de sembrar y cuidar las plantas; los doctores y las enfermeras, a través del cuidado de la salud de las personas; los conductores profesionales de aviones, trenes, autobuses o automóviles, como el partir de un lugar para llegar a otro transportando mercancías o personas; y los científicos, como algo por conocer y también por intervenir. Estos últimos se preguntan por qué están hechas las cosas de la manera en la que están hechas, o el porqué de:

- el color azul del cielo,
- el sabor de la piña,
- la lava de los volcanes,
- las alas de las mariposas,
- los anillos de Saturno,

- el tiempo,
- la vida,
- la muerte.

Pero a diferencia del resto de las personas, que en muchas ocasiones sólo se hacen las preguntas o aceptan la primera respuesta, los científicos buscan cómo responderlas haciéndose más preguntas. Ése es, finalmente, el trabajo de muchos de ellos: responder preguntas. La otra actividad que caracteriza a las ciencias es intervenir en el mundo (o el universo), idealmente con un propósito definido. Para contestar las preguntas casi siempre dividen el problema que éstas concretan en partes cada vez más pequeñas, y las van contestando poco a poco, una tras otra.

Es tan amplio el número de preguntas y de respuestas que la humanidad se ha hecho a lo largo de su historia que para responderlas adecuadamente las ha agrupado en aquellas que se refieren a objetos o fenómenos semejantes. Por un lado, las que tienen que ver con los planetas y las estrellas; por el otro, las que se relacionan con los seres vivos; por otro lado, aquello que tiene que ver con los objetos materiales y cómo se transforman; y otro más con las razones del movimiento, etcétera.

Una vez clasificadas y separadas las preguntas —lo que ha sido muy difícil a lo largo de la historia y aún hoy es motivo de controversia— podemos, como ya se hizo hace muchos años, darles un nombre común. Algunos de ellos son:

- **Biología.** Ciencia que estudia la vida.
- **Física.** Ciencia que estudia la interacción entre la materia y la energía, así como el movimiento de los objetos.
- **Química.** Ciencia que estudia las transformaciones de la materia, y la energía relacionada con dichas transformaciones.
- **Matemática.** Ciencia que estudia las formas y los infinitos.
- **Antropología.** Una de las ciencias que estudian las culturas humanas.

A los biólogos les interesa saber, entre otras cosas, qué es una flor, por qué son diferentes de los frutos, de dónde vienen y cuál es su relación con las abejas. O por qué vuelan las águilas y no lo hacen las ballenas.

A los físicos les interesa saber, entre otras cosas, por qué el cielo es azul, por qué brillan las estrellas, por qué los objetos se mueven, por qué hay rayos o por qué oímos los truenos.

A los químicos les interesa saber, también entre otras cosas, por qué la piña sabe a lo que sabe; de qué están hechas las hojas de las plantas,

la lava de los volcanes o la tela de una araña. Y después de saberlo, les interesa reproducir los sabores, las texturas o los olores, e intentar que sean iguales o mejores.

La astronomía, la geología o la bioquímica son conjuntos más pequeños, pero no por ello menos importantes que los tres anteriores. Podríamos decir que se hacen preguntas más específicas sobre las estrellas, la Tierra o las transformaciones de la materia que acompañan a la vida.

A los matemáticos les preocupan las formas de los objetos, reales o imaginarios; las geometrías de sólidos posibles o imposibles; las dimensiones y los diferentes infinitos.

Las sociedades humanas han construido culturas diferentes a lo largo de la historia. La razón de ser de esas diferencias, su ubicación geográfica e histórica, las relaciones que guardan entre sí, su desarrollo económico y el futuro que les espera son preguntas que se hacen los antropólogos, científicos de la cultura.

En 1910 los cirujanos Moreau y LePrince operaron a un niño de ocho años, ciego de nacimiento, que padecía de cataratas. Después de la operación, ansiaban averiguar cómo veía. Cuando los ojos del paciente sanaron le quitaron las vendas. Agitando una mano frente a sus ojos, que ya no

tenían ningún problema físico, le preguntaron qué veía. Él murmuró: “No sé.” “¿No ves el movimiento?” “No sé”, repitió el niño. Los ojos no seguían el lento movimiento de la mano. Sólo veían un brillo variable. Cuando le permitieron tocar la mano, exclamó con voz triunfal: “¡Se mueve!” Podía sentir el movimiento e incluso, como dijo, “oír el movimiento”, pero aún debía aprender a verlo. La luz y los ojos no bastaban para darle la visión. Al atravesar la negra y limpia pupila de sus ojos, esa primera luz no suscitaba el eco de una imagen interior. La visión del niño comenzó como una vista hueca, muda, oscura y sobrecogedora. La luz del día lo llamaba, pero la de la mente no respondía desde el interior de sus ansiosos ojos abiertos.

El cirujano Moreau escribió:

Sería erróneo suponer que un paciente que ha recobrado la vista mediante una intervención quirúrgica está en condiciones de ver el mundo externo. Los ojos, por cierto, adquieren la capacidad de ver, pero el uso de esta capacidad, la cual constituye el acto de ver, aún se debe adquirir desde el comienzo mismo. La operación no cumple más función que la de preparar los ojos para ver; la educación es el factor más importante... Devolver la vista a una persona congénitamente ciega es tarea de un educador, no de un cirujano.³

Ver el mundo con la mirada de las ciencias es tarea de un educador, no de un cirujano. Para aprender a verlo así hay que reconocer las par-

particularidades que caracterizan el conocimiento científico. Para ello, cabe detenerse un momento a identificar dos posturas diferentes, dos alternativas de cómo ver y estudiar las ciencias:

1. Hay una postura para estudiar las ciencias (particularmente cuando se habla de ciencia) que las considera el producto de comunidades de científicos que están aislados de su entorno social. Esta postura, identificada como *positivista*, ha logrado consensos muy grandes en diversos países, entre ellos el nuestro. De manera muy general, para el positivismo lo importante es que hay un único método (llamado *científico*) a través del cual se puede obtener conocimiento válido, y este conocimiento es progresivo.

En la segunda mitad del siglo pasado, el positivismo fue severamente cuestionado por filósofos, historiadores, sociólogos y también científicos, quienes reconocieron que dicha postura no correspondía a lo que ellos sabían o hacían en su trabajo.

2. Por otro lado, los *postpositivistas* asumen una postura que reconoce que hay diferentes ciencias con diferentes métodos válidos para obtener conocimiento científico. No es lo mismo lo que hace un astrónomo a lo que hace un químico, por ejemplo. Además, consensaron que

las ciencias progresan discontinuamente y que los científicos que las desarrollan no son ajenos al entorno social en el que están inmersos.

Finalmente, identificaron que las diferencias entre las ciencias y las tecnologías (con las que se construyen, entre otros, los instrumentos que utilizan los científicos) no son tan amplias como defendía el positivismo (de hecho, en la actualidad se habla de *tecnociencias*), pues hay que reconocer que en el desarrollo científico hay intereses explícitos, generalmente políticos y económicos, que conllevan importantes problemas éticos.

■ **El conocimiento científico es objetivo**

Lo anterior significa que cuando trabajamos *científicamente* reunimos y examinamos hechos. De la investigación de estos hechos se obtienen conclusiones, es decir, idealmente la respuesta a la pregunta. Por ello, no importa quién repita una investigación ni en dónde lo haga: si sigue el mismo procedimiento, tiene los mismos instrumentos y materiales, el resultado es el mismo.

¿Cómo se descubrió que la Tierra es redonda?

El griego Eratóstenes vivió en Alejandría, una gran ciudad en lo que hoy es Egipto, hace más de 2 200 años. Un día leyó en un libro que en un pequeño pueblo, al sur de su ciudad, que hoy conocemos como Assuán, a la mitad del verano, un palo clavado en el suelo de manera vertical no producía sombra al mediodía. También leyó que si alguien en ese pueblo se asomaba a un pozo, veía reflejado el Sol en la superficie del agua. “¡Qué raro! —pensaba—. Eso no ocurre aquí en Alejandría.”

Sin embargo, para asegurarse, al año siguiente, a la mitad del verano, clavó un palo en el suelo de Alejandría y observó si producía sombra a mediodía.

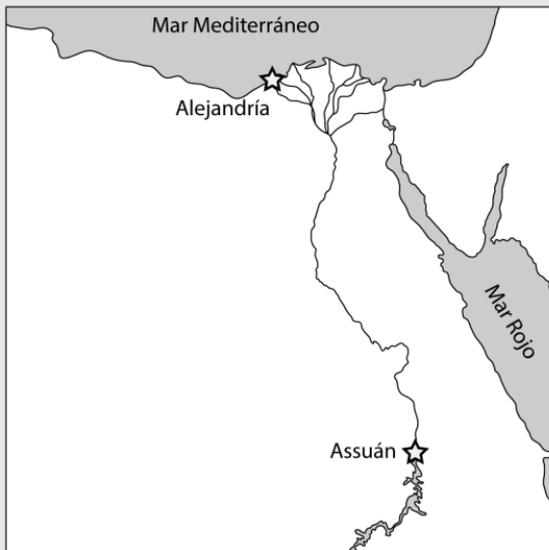


FIGURA 2. MAPA DE ÁFRICA MOSTRANDO ALEJANDRÍA Y ASSUÁN.

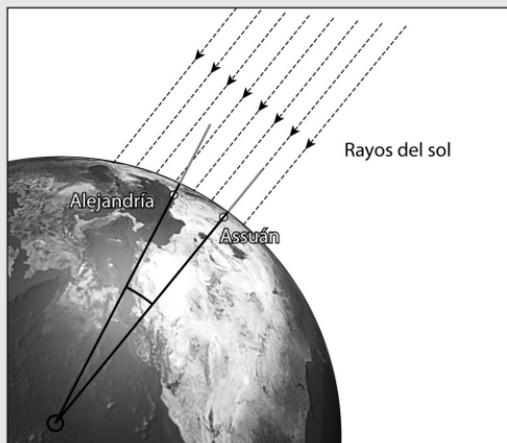


FIGURA 3. ESQUEMA SEMEJANTE AL UTILIZADO POR ERATÓSTENES PARA EL CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA TIERRA.

Efectivamente, había una pequeña sombra. Eratóstenes midió el ángulo que se formaba entre el palo y la sombra, que era de poco más de siete grados.

¿Cómo era posible que se produjera una sombra en Alejandría y ninguna en Assuán?

Después de mucho pensar, Eratóstenes encontró que la única explicación posible era que la Tierra fuera redonda. No se contentó con eso, sino que calculó su diámetro, que en unidades actuales equivale a 40 000 kilómetros. ¡Prácticamente era la respuesta correcta!

Lo anterior quiere decir que las ciencias son realistas, porque independientemente de nosotros y de cómo los conozcamos, el universo y nuestro mundo son como son, es decir, reales. Además, los modelos y las teorías que buscan explicarlos, en muchas de sus manifestaciones, tienen validez en todas partes.

El conocimiento científico es causal

En otras palabras, considera que cada cosa, cada fenómeno, cada respuesta a una pregunta es el resultado de causas que pueden ser descubiertas (como el origen de las enfermedades) o, de otra forma, causas que obedecen a un diseño específico (como el de las medicinas que curan esas enfermedades). En ocasiones las preguntas son extremadamente difíciles, como aquellas que se refieren al tiempo, la vida o la muerte. Por eso las ciencias generalmente dividen los problemas complicados, las preguntas difíciles, en otras más pequeñas. Al hacerlo así pueden resolver

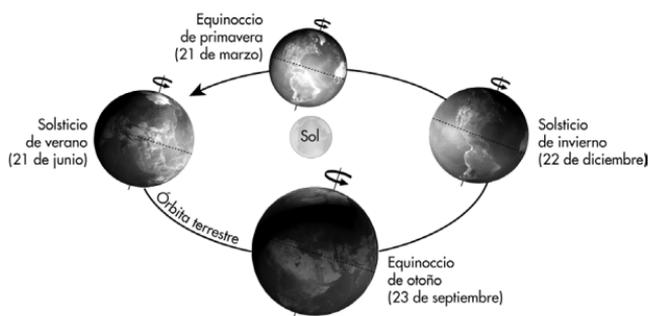


FIGURA 4. ESQUEMA DE LA ÓRBITA DE LA TIERRA Y LA PROGRESIÓN DE LAS ESTACIONES. EN ÉL SE OBSERVA QUE EN VERANO LA TIERRA ESTÁ IGUAL DE LEJOS DEL SOL QUE EN INVIERNO. ENTONCES, ¿POR QUÉ LA TEMPERATURA EN ESTAS ESTACIONES ES TAN DIFERENTE?

cada fragmento de manera más fácil y luego, al unir las partes, pueden dar respuesta a la pregunta original.

Anestesia-dolor

Llegó el día señalado. La esfera del reloj marcaba la hora prefijada, en el momento de entrar el paciente en la sala de operaciones. En torno del enfermero se hallaban el doctor Warren y una representación de los cirujanos más eminentes del Estado. Todo está pronto; el silencio es abrumador. Habíase anunciado "que iba a ponerse a prueba cierto preparado, acerca del cual se hacía la *asombrosa* declaración de que inmunizaría contra el dolor a la persona operada". Tales fueron las palabras con que el doctor Warren rompió el silencio.

Los presentes se mostraban incrédulos y, como no hubiese llegado el doctor Morton a la hora señalada y hubiesen transcurrido ya 15 minutos, dijo el doctor Warren con sorna: "Supongo que estará ocupado en otra cosa." Estas palabras fueron acogidas con una "risa burlona". El doctor Warren blandió el bisturí y se dispuso a dar comienzo a la operación. En ese momento entró el doctor Morton por la puerta lateral. El doctor Warren se volvió hacia él y le dijo en voz alta: "Bueno, señor, su paciente está pronto." A los pocos minutos quedó listo para someterse al bisturí, y el doctor Morton dijo: "Su paciente está pronto, señor."

Entonces vimos la escena más sublime que se ha presenciado en una sala de operaciones: el paciente se colocó espontáneamente sobre la mesa que iba a convertirse en altar de futura fama. No lo hizo ciertamente con el fin de ayudar al progreso de la ciencia médica ni para bien de sus hermanos, los hombres, pues el acto fue puramente personal y egoísta. El enfermo iba

a colaborar en la solución de un nuevo e importante problema terapéutico, cuyos beneficios se brindarían a todo el género humano, pero no se daba cuenta ni por asomo de la sublimidad de tal ocasión ni del papel que en ello estaba desempeñando.

Fue aquel un momento supremo para un descubrimiento sobre toda ponderación maravilloso: de haber muerto el paciente durante la operación, la ciencia [médica] habría tardado mucho en descubrir los efectos hipnóticos de algún otro medicamento de igual poder y seguridad, y con razón cabe preguntar si en tal caso se habría introducido el cloroformo, tal como hoy lo vemos aplicar.

La valentía heroica del hombre que voluntariamente se colocó sobre la mesa para someterse al cuchillo del cirujano debiera conservarse en la memoria de las generaciones venideras, y estamparse su nombre en un pergamino que se colocase en las paredes del anfiteatro quirúrgico donde se llevó a cabo la operación. Llamábase Gilbert Abbott.

La operación consistió en la extirpación de un tumor congénito del lado derecho del cuello, el cual se extendía a lo largo de la mandíbula hasta el ganglio maxilar, y penetraba en el interior de la boca, abarcando un borde de la lengua. La operación tuvo feliz éxito, y cuando el paciente volvió en sí, declaró que no había sentido dolor alguno.⁴

El conocimiento científico busca regularidades

Una de las características del conocimiento científico es la búsqueda de las semejanzas, de los ciclos, de las regularidades, es decir, de aquello que se repite siguiendo un patrón semejante.

El día y la noche, la luna llena cada 28 días, las estaciones del año, el ciclo menstrual, la forma de los panales construidos por abejas que, prácticamente, siempre son iguales, las espirales de los cuernos, caracoles y enredaderas, la marea alta y baja, la aparición de algunos cometas, los eclipses, y el brillante y permanente color dorado del oro. Las regularidades se encuentran o distinguen a través de la comparación. Cuando comparamos lo hacemos ya con una idea previa particular; con una manera de ver. Por eso, en la figura 5 prácticamente todos nosotros, que hemos aprendido a ver en perspectiva, “vemos” que la línea superior es mayor que la inferior, aunque ambas son iguales.

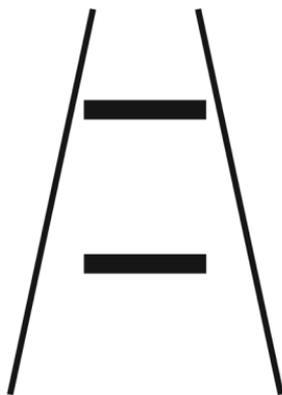


FIGURA 5. ILUSIÓN ÓPTICA.

Comparar datos, experimentos o procesos nos permite encontrar relaciones entre ellos, ya sea por semejanza o por diferencia.

Una de las comparaciones más frecuentes y útiles es la que conocemos como *medir*. ¡Sólo midiendo podemos reconocer que las líneas de la figura anterior son efectivamente iguales!

En las ciencias, como en muchas otras actividades cotidianas, para entendernos se habla no de números, sino de cantidades. Una cantidad es un número con una unidad. Muchas personas

Toxicidad

Todas las sustancias son tóxicas: el agua, el azúcar, la sal, el cianuro. Se han reportado casos fatales de envenenamiento porque accidentalmente se ha sustituido sal por azúcar en alimentos para bebés. Lo que convierte a una sustancia en veneno, y a otra no, es la cantidad; la cantidad determina la toxicidad. Es importante saber que: *la dosis es el veneno*.

La sustancia más tóxica que se conoce, esto es, el veneno más poderoso, no es producto de la maquiavélica mente de un químico, sino es una toxina producida por una pequeña (como todas) bacteria, la *Clostridium botulinum*. Este organismo vive en latas de comida empacadas sin aire (es decir, en condiciones anaerobias), cuando el alimento no ha sido correctamente esterilizado. La botulina, como se llama el veneno, es tan poderosa que un gramo puede matar a un millón de personas.

No todo lo natural es necesariamente bueno.⁵ Entonces, ¿el arsénico no es un veneno? (véase nota 1).

creen, equivocadamente, que medir es decir un número. Que tu peso sea 39, 53 o 48000 no dice nada acerca de si eres ligero o pesado. Por ello hay que decir *siempre* las unidades de lo que se está midiendo. En el caso anterior, 39 pueden ser tomates, 53 televisores y 48000 gramos, o sea, 48 kilogramos. En el ejemplo anterior, 39, 53 o 48000 son números, mientras que 39 tomates, 53 televisores y 48000 gramos son cantidades.

Como las unidades que se usaban en el México prehispánico eran diferentes de las que se usaban en Francia, y éstas a su vez de las que se utilizaban en Inglaterra, cada vez que uno quería comparar lo que hacía o producía el otro había un desastre. Nadie se entendía. Por esta razón, después de muchos años de errores y peleas, los científicos de todo el mundo se pusieron de acuerdo para usar las mismas unidades: el Sistema Internacional de Unidades. Así, medir es comparar, y los científicos comparan sus datos con las unidades del Sistema Internacional.

Otra manera de expresar lo anterior es que las ciencias asumen que el mundo puede ser descrito por leyes que siempre funcionan de la misma manera, es decir, que son consistentes. Las regularidades son la demostración de dicha consistencia y la medición es una manera de reco-

nocerla. La consistencia permite, además, hacer predicciones, como en el caso de los eclipses, y su sistemática comprobación nos da confianza en el conocimiento científico. Pero como veremos más adelante, el conocimiento científico también es tentativo; por ello, el siguiente texto sobre el aumento de la población humana cuando hay medios de subsistencia, escrito por Thomas Malthus en 1798, fue válido en su momento, y hoy ya no lo es.

Pero aunque los ricos, con manejos de mala fe, contribuyen con frecuencia a prolongar un periodo de penuria entre los pobres, sin embargo, no hay ninguna forma posible de sociedad que pueda impedir la casi constante acción de la miseria sobre gran parte del género humano, hallándose éste en estado de desigualdad y, más aún, si todos fuesen iguales.

Tan por extremo clara me parece la teoría sobre la cual se funda esa verdad, que tengo por ocioso ponerme a cavilar qué parte de ella pudiera negarse.

Que no pueda aumentar la población si no aumentan los medios de subsistencia es una proposición tan evidente que no necesita prueba alguna.

Que la población aumente invariablemente cuando hay medios de subsistencia lo probará hasta la saciedad la historia de cuantos pueblos han existido.⁶

La Luna, un enorme laboratorio

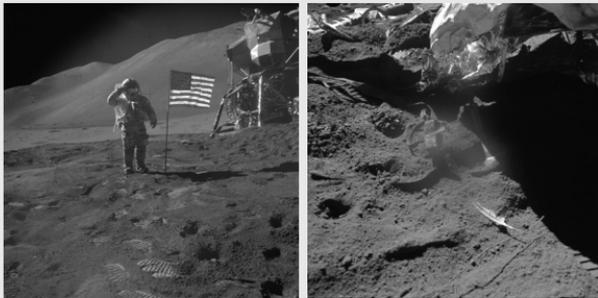


FIGURA 6. MISIÓN APOLO 15, NASA.

Si Galileo viviera, probablemente se fíjaría de las barbas de placer por el experimento elemental de física realizado hoy por el astronauta del Apolo 15, David R. Scott, en la Luna. Scott dejó caer un martillo y una pluma de ave desde la altura de su cintura para ilustrar cómo ambos objetos eran igualmente acelerados por la gravedad de la Luna y caían sobre la superficie al mismo tiempo, a pesar de sus diferencias de masa o peso. El experimento, similar a los que Galileo realizó hace 300 años desde lo alto de la torre inclinada de Pisa, en Italia, fue realizado cuando Scott y James B. Irwin finalizaban su último paseo lunar. “En la mano izquierda tengo una pluma y en la derecha un martillo —dijo Scott, situándose frente a la cámara montada sobre el rover lunar—. Creo que una de las razones por las que estamos hoy aquí es por un caballero llamado Galileo que, hace mucho tiempo, hizo un importante descubrimiento sobre la caída de los cuerpos en campos gravitacionales. Y pensamos: ¿qué mejor lugar para confirmar sus hallazgos que en la Luna?” A continuación dejó caer ambos objetos que, sin lugar a dudas, hicieron impacto simultáneamente.

El origen de los laboratorios

En los laboratorios, como espacios dedicados a la búsqueda de respuestas prácticas en lugar de la investigación teórica, las actividades allí realizadas, desde hace miles de años, han sido consideradas, equivocadamente, de menor nivel intelectual. La palabra latina *laborare* nos remite al trabajo manual, el cual era realizado, tanto en el imperio romano como en las ciudades griegas que le antecedieron, por los esclavos.

Desde la más remota Antigüedad, y en particular a partir de la Edad Media, la preparación de medicamentos, la fabricación de jabones, pigmentos, vidrio, materiales cerámicos y explosivos, y la extracción de metales fueron actividades prácticas, alejadas de la reflexión filosófica y realizadas alrededor de mercados y en lugares públicos. Sin embargo, desde esa época ya se identifica la característica más importante de un laboratorio: su aislamiento de la vida cotidiana. Esto se logró con los primeros laboratorios de química, que antecedieron a los de física por casi dos siglos.

Así, desde el siglo XVII el acceso a una fuente de calor permanente y agua corriente fue configurando el espacio de lo que hoy reconocemos en cualquier lugar del mundo como un laboratorio.⁷

Las ciencias son experimentales... la mayoría de las veces

Como ya vimos, las ciencias se hacen preguntas difíciles, y para contestarlas las dividen en otras más sencillas. Por eso existen los laboratorios, ya que en ellos se dan las condiciones

para aislar cuidadosamente los fenómenos y estudiarlos por separado.

A este estudio por separado de un problema mayor se le llama *experimento*, y sirve para obtener información o para probar una idea. Es decir, en un laboratorio hay materiales para contestar determinadas preguntas y para realizar ciertos experimentos. También por eso hay laboratorios que tienen formas únicas o se encuentran en lugares especiales.

No todas las ciencias son experimentales. El estudio de las estrellas o de los desaparecidos dinosaurios no puede reducirse a un experimento. Hay ocasiones en que, a pesar de que se pueda realizar un experimento, no se hace, como es el caso de las ciencias sociales o cuando se trata de probar situaciones extremas acerca de la conducta, básicamente por razones éticas. Lo que sucede en estas situaciones es que los científicos se hacen preguntas y obtienen información directa por medio de la observación, y con esa información generan una hipótesis o construyen un modelo —por ejemplo, de las condiciones del aprendizaje en animales, o de aspectos económicos o del comportamiento humano— que a través de una predicción acertada les permita reconocer si lo que piensan es cierto.

El conocimiento científico es tentativo

Es decir, a pesar de todo lo que se ha descubierto y hecho en el campo de las ciencias, tenemos hoy más preguntas que respuestas. Por esto, dentro de las diferentes ciencias modificamos ideas sobre el mundo cuando se obtienen nuevas pruebas de aquello que es diferente de como originalmente se pensaba que era.

El micromundo

Los extraños efectos de la física de los cuantos y de la relatividad en nuestras ideas tradicionales del espacio y del tiempo impregnan el mundo de una vaguedad y una subjetividad que ponen en duda su normalidad cotidiana. La normalidad es una consecuencia del número excesivamente limitado de experiencias con las que estamos familiarizados. En nuestra vida cotidiana nunca viajamos a velocidades lo suficientemente grandes como para que las curvaturas del espacio y del tiempo sean apreciables, y la mayor parte de nosotros no nos sumergimos nunca en el incierto y nebuloso reino del átomo. Sin embargo, el mundo de la experiencia racional, ordenado y lleno de sentido común, es una impostura. Tras él yace un mundo tenebroso y paradójico de sombría existencia y cambiantes perspectivas.

El nuevo surrealismo puesto al descubierto por la nueva física se vuelve particularmente agudo cuando alcanza a la materia. La sólida confianza que nos ofrece una roca nos habla a favor de la existencia concreta de los objetos del mundo externo. Sin embargo, aquí también un más profundo escrutinio socava las impresiones del sentido común. Bajo un microscopio, el

material de la roca se revela como un amasijo de cristales entrelazados. Un microscopio electrónico pone al descubierto los átomos individuales, espaciados en una disposición regular con enormes vacíos entre ellos. Sondeando en los propios átomos, descubrimos que son casi enteramente espacio vacío. El pequeño núcleo ocupa una simple billonésima parte (10^{-12}) del volumen del átomo. El resto está poblado por una nube de efímeros electrones que no están ni aquí ni allí, alfilerazos de solidez girando al azar en océanos de vacío. Incluso el núcleo, tras una inspección más detenida, resulta no ser más que una pulsante aglomeración de evanescentes partículas. La materia en apariencia concreta de los sentidos se disuelve en vibrantes esquemas de energía cuántica.

Hay sin duda un fuerte elemento místico subyacente en gran parte de la nueva física. La antigua visión del universo como un mecanismo de relojería que se despliega servilmente a lo largo de un sendero predeterminado, situado en un marco espacio-temporal absoluto, ha sido desterrada por completo. En su lugar, hay una colección de imágenes, cada una de las cuales refleja un aspecto de la experiencia del sentido común, pero que no consiguen conectarse entre sí de una forma ordenada. Un electrón, ¿es onda o es partícula? Las dos formas conjuran una clara imagen mental, pero no podemos ensamblarlas en una única entidad para la cual la respuesta sea "ambas cosas". Ni podemos imaginarnos fácilmente el espacio siendo curvado o sometido a expansión. Asociamos el espacio con el vacío, y el vacío curvado es un obstáculo mental que muy pocos pueden superar.⁸

Es común que los científicos construyan *modelos* acerca de los objetos para que nos ayuden a comprenderlos más fácilmente, como por ejemplo los aviones a escala que se prueban en

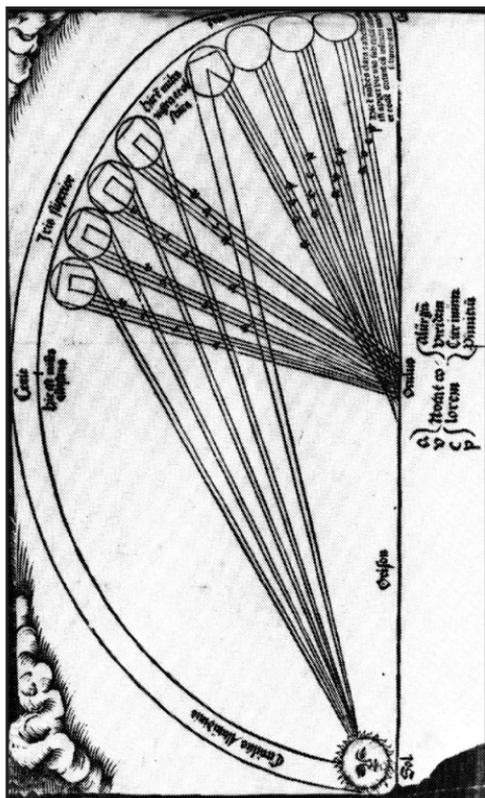


FIGURA 7. ESQUEMA QUE EXPLICA LA FORMACIÓN DEL ARCOÍRIS. EN EL SIGLO XIII, TEODORICO DE FRIBURGO USO ESFERAS DE VIDRIO COMO MODELOS EXTERNOS DE LAS GOTAS DE AGUA (VÉASE APÉNDICE 2). CON ELLAS EXPLICÓ PARCIALMENTE EL ARCOÍRIS. DIAGRAMA QUE APARECE EN *SUMMA IN TOTAM PHYSICAM, HOC EST PHILOSOPHIAM NATURALEM*, DE JODOCUS TRUTTFETTER, PUBLICADO EN ERFURT, ALEMANIA, EN 1514. IMAGEN CORTESÍA DE LA UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK ERLANGEN-NÜRNBERG.

túneles de viento para mejorar su desempeño (no el de ellos, sino el de los aviones reales). Pero no sólo se hacen modelos de objetos, sino también de ciudades y países, como los mapas que todos usamos; del funcionamiento del cuerpo humano, en los programas de computadora específicos para ese caso; o con las ecuaciones matemáticas que representan determinado fenómeno, como la interacción de la luz con la materia, o la inflación. Un modelo es tanto más útil en la medida en que represente lo más cercanamente posible la realidad. Así, los modelos son, antes que nada, una mejor herramienta para responder las preguntas de la ciencia, y como tales son tentativos y también reemplazables.

El conocimiento científico está limitado por la sociedad en la que se desarrolla

La sociedad en la que viven los científicos puede determinar o limitar qué preguntas se hacen o pueden responder ellos mismos, además de influir en sus conclusiones. Esto se logra a través de la presencia o ausencia de programas educativos y de investigación científica, de reconocimientos o castigos a la misma actividad, y de tolerancia o imposición de ciertas áreas de investigación.

Las ciencias son, muchas veces, conocimiento público sujeto a comprobación por otras personas, generalmente científicos. Es esa posibilidad de repetir una y otra vez los experimentos o las observaciones en diferentes condiciones de tiempo y espacio, y validarlas comúnmente, lo que

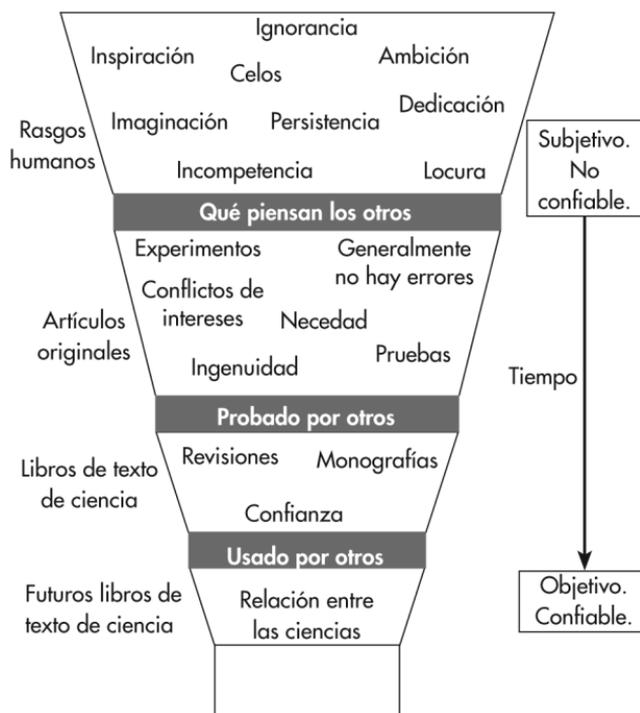


FIGURA 8. EL FILTRO DEL CONOCIMIENTO.

hace que el conocimiento científico sea objetivo y confiable. Por lo tanto, no se puede hablar de un científico solitario, sino de una comunidad de científicos que avalen, o no, los resultados de unos y otros. Más que cualquier otra actividad humana, las ciencias y las tecnologías que las acompañan son, ante todo, colectivas.

El consenso

El investigador que trabaja aislado en su laboratorio o gabinete no está realmente solo: lo acompañan todos los científicos que lo han precedido y que han hecho contribuciones en su campo, así como sus colegas contemporáneos que trabajan en el mismo problema o en otros semejantes. Esto es así porque el hombre de ciencia usa, como uno de los instrumentos más importantes en sus investigaciones, la información generada por todos ellos. Newton lo expresó mejor que nadie en aquella famosa frase: "Si yo he podido ver un poco más lejos es porque estaba en los hombros de gigantes." Cuando finalmente nuestro investigador aislado hace un descubrimiento o logra confirmar de manera contundente una hipótesis, todavía le falta un buen trecho por recorrer en la cadena que lleva desde sus estudios e ideas iniciales hasta lo que ya puede llamarse generación de conocimiento científico. *La ciencia es una empresa esencialmente social.* Sus observaciones y teorías deben ser conocidas, discutidas y aceptadas por sus colegas más cercanos, luego por el sector interesado de la sociedad científica de su país, y finalmente por la comunidad científica internacional. Mientras más amplio sea el consenso alcanzado por las ideas de nuestro investigador solitario, mayor será su contribución al conocimiento científico y su influencia en el desarrollo de la ciencia en general.

En ausencia de consenso generalizado, toda operación de la ciencia pierde su sentido. El Robinson Crusoe actual puede ser un artista genial, desarrollar una tecnología asombrosa o fundar una nueva religión, pero no puede hacerse ciencia porque le falta el elemento social de la empresa, que no sólo es necesario sino indispensable. [...]

Arriba he dicho que el consenso no sólo es necesario sino indispensable para caracterizar a la ciencia en forma completa; sin embargo, también conviene subrayar que el consenso no es *suficiente*. [...] Algunas de las principales religiones (budismo, islamismo, catolicismo) pueden, con justicia, exhibir el consenso de millones de seres humanos sobre sus respectivos dogmas y creencias, pero eso no las hace científicas; en otro orden de actividades humanas, creo que sobre el carácter genial de Rembrandt, Cervantes y Beethoven existe consenso en el mundo occidental, pero a nadie se le ocurriría clasificarlos como científicos por ese hecho; finalmente, también creo que en nuestro tiempo existe consenso generalizado en el juicio negativo sobre la Banda del automóvil gris, Dillinger y Hitler, pero obviamente tampoco eso los hace científicos. En lugar de seguir acumulando ejemplos, conviene reiterar el concepto que pretenden ilustrar: el consenso generalizado es un carácter necesario e indispensable de la ciencia, pero no es suficiente.⁹

Cuando la figura de la página siguiente se mostró a personas de diferentes tribus de África, ellos veían arreglos de líneas verticales, inclinadas y horizontales. Obviamente para nosotros es un hecho que el dibujo corresponde a una escalera; sin embargo, no es así para ellos. Los consensos son diferentes.

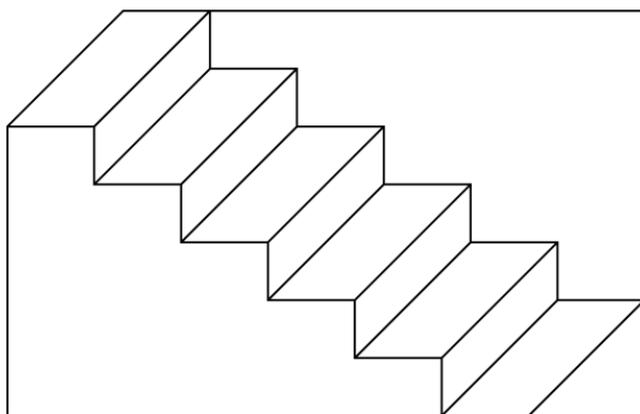


FIGURA 9.

Un *hecho* es una observación en la que todos los observadores están de acuerdo. Para ver una escalera en el dibujo se tuvo que haber aprendido a ver una escalera, como en el caso del niño que operaron de cataratas y que le devolvieron la vista física, la cual fue insuficiente para ver, como lo hacen las ciencias. Los hechos de las ciencias son aquéllos en los que están de acuerdo las comunidades científicas específicas, esto es, los biólogos o los antropólogos, en un momento y lugar determinado. A partir de los hechos, muchos de ellos reconocidos en forma de problemas, las personas se hacen preguntas, y resolverlas es la actividad principal de las ciencias.

¿Cómo ves?

La tecnología

[Los problemas tecnológicos] son muy diferentes de los problemas de otras disciplinas. De modo típico, se trata de problemas de diseño o mantenimiento, no de problemas de averiguar algo o de comprobar una conjetura. Hay dos razones de esta diferencia. Una es que la tecnología trata con artefactos concretos tales como máquinas y organizaciones. [...] La segunda razón es que en la actualidad el tecnólogo típico no es un inventor autónomo, sino un empleado o un asesor. Su empleador o su cliente, lejos de darle carta blanca, solicita la invención o mantenimiento de un dispositivo que realice una tarea determinada; aquél sólo especifica el resultado deseado y el presupuesto.

En efecto, de los tecnólogos se espera que inventen, perfeccionen o mantengan artefactos de cierta clase, sean éstos inanimados, como los caminos y las computadoras; vivientes, como los cultivos y las vacas; o sociales, como las compañías y las agencias del gobierno. Los tecnólogos más creativos inventan nuevos artefactos con el fin de satisfacer necesidades o crearlas.¹⁰

Los tres grandes temas de la ciencia



FIGURA 10. UN MÉDICO Y SU ASISTENTE MEZCLANDO MEDICINA. MINIATURA DEL SIGLO XII. IMAGEN OBTENIDA DEL *CATALOGUE OF ILLUMINATED MANUSCRIPTS*, BRITISH LIBRARY. DOMINIO PÚBLICO.



FIGURA 11. EL LEÓN DE ESTA ILUSTRACIÓN REPRESENTA A LA MATERIA EN SU ESTADO BRUTO Y BÁSICO; DE ELLA SE EXTRAERÁN LOS PRINCIPIOS SULFUROSOS Y MERCÚRICOS. SEGÚN LA LITERATURA ALQUÍMICA, LA "SANGRE DEL LEÓN VERDE" REPRESENTA AL MERCURIO HERMÉTICO, QUE SALE DE SU BOCA JUNTO CON EL SOL (EL AZUFRE DE LOS SABIOS). ILUSTRACIÓN DEL *ROSARIUM PHILOSOPHORUM*, PUBLICADO EN ALEMANIA EN EL SIGLO XVI. DOMINO PÚBLICO.

*El verdadero misterio del mundo
es lo que se ve,
no lo invisible.*

Oscar Wilde

Todos los libros de todas las bibliotecas en español pueden escribirse con 29 símbolos ortográficos. Si sumamos las 27 letras, más el punto (.) y la coma (,) nos da un total de 29 símbolos. Constituciones, leyes, novelas, chistes, enciclopedias, canciones... ¡todos con sólo 29 símbolos! A diferencia de todos los libros de todas las bibliotecas en español que se construyen con 29 símbolos, el universo se construye con 110, que no son letras, sino átomos diferentes. El filósofo griego Demócrito, hace más de 2000 años, y el maestro de escuela inglés John Dalton, hace casi 200, propusieron que toda la materia estaba formada por pequeñísimas partículas a las que llamaron *átomos*, propuesta que posteriormente otros científicos demostraron que era cierta (véase nota 2).

Así, todo lo que existe materialmente: la tierra, el agua del mar, las uñas, el pelo, las heces fecales, el aire, las nubes (y tal vez las ideas),

está constituido por átomos. Los átomos iguales conforman lo que se llama *elemento*. La punta de un lápiz está constituida por grafito, una forma del elemento carbono que tiene miles de millones de átomos de carbono, como también los tiene el diamante, que brillante y transparente es —efectivamente— carbono arreglado de forma diferente del grafito, es decir, con otra geometría. Así, las posibilidades de combinación son enormes. Si con los 29 símbolos ortográficos se pueden escribir todos los libros de todas las bibliotecas en español, con los 110 átomos en todas sus posibles combinaciones se construye el universo.



a b c d e f g h i j
k l m n ñ o p q r
s t u v w x y z
, .

El empleo de símbolos para representar a los elementos es muy antiguo. Originalmente estos símbolos, que pocos conocían, le daban a la alquimia, antecesora directa de la química moderna,

un aire de misterio y secreto que era aprovechado por más de un charlatán ignorante, que con la aureola de mago trasmutaba el plomo en oro. Ignorantes eran también quienes le escuchaban. La mayoría de los alquimistas, aquellos que con empeño y pasión se dedicaban a entender los cambios de la materia, usaban el mismo símbolo para representar a los siete elementos conocidos en la Antigüedad y a los siete planetas, ya que para ellos cada elemento reflejaba una característica del planeta (véase nota 3).

Aunque hoy sabemos que lo anterior es falso, no deja de ser interesante conocer estos símbolos:

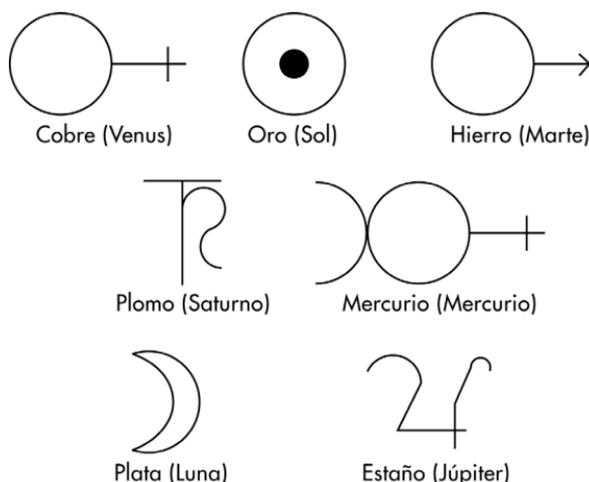


FIGURA 12.

Desde el siglo pasado, los químicos utilizan letras mayúsculas –seguidas en ocasiones por una minúscula– para simbolizar un átomo o un elemento. Así, la letra “C” significa un átomo de carbono o el elemento carbono, mientras que la letra “O” significa un átomo de oxígeno o el elemento oxígeno. Otros símbolos de elementos comunes son:

H	hidrógeno	
N	nitrógeno	
P	fósforo	(la letra P proviene de su nombre en latín <i>phosphorus</i>)
S	azufre	(la letra S proviene de su nombre en latín <i>sulphur</i>)
Fe	hierro	(las letras Fe provienen de su nombre en latín <i>ferrum</i>)
Cu	cobre	(las letras Cu provienen de su nombre en latín <i>cuprum</i>)
Ag	plata	(las letras Ag provienen de su nombre en latín <i>argentum</i>)
Na	sodio	(las letras Na provienen de su nombre en latín <i>natrium</i>)
F	flúor	
Cl	cloro	

Contrario al sentido de su nombre griego, que significa “indivisible”, los átomos están consti-

tuidos a su vez por partículas más pequeñas con características propias. Los protones, con carga positiva, se localizan en el centro del átomo, lo que llamamos núcleo. Los electrones, con carga negativa, se mueven alrededor del núcleo. ¿Cómo se mueven? ¿Qué dirección toman? Es algo que no sabemos. Hay otra partícula importante: el neutrón, que no posee carga eléctrica y se localiza también en el núcleo (véase nota 4).

Tabla 1. Partículas que constituyen los átomos			
<i>Partícula</i>	<i>Localización</i>	<i>Carga</i>	<i>Masa*</i>
protón	núcleo	positiva	1
neutrón	núcleo	neutra	1
electrón	alrededor del núcleo	negativa	0.0005
*En Unidades de Masa Atómica.			

Los átomos son principalmente espacio vacío. Si una cancha de fútbol fuera del tamaño de un átomo, ¡su núcleo sería una pastilla de aspirina en el centro de la misma cancha!

Así que los átomos que constituyen el universo, con todo lo que hay en él, podríamos decir que son ¡huecos!

El número de protones de un átomo, o número atómico, define a ese átomo. El átomo más

sencillo es el del hidrógeno, que contiene un protón y un electrón. El universo se encuentra formado por poco más de 88% de hidrógeno; todas las estrellas que conocemos y las galaxias que integran son principalmente de hidrógeno. Todos los átomos con un protón en su núcleo son hidrógeno; sin embargo, hay átomos de hidrógeno que tienen además uno o dos neutrones. Así, aunque son hidrógeno, tienen núcleos con masa diferente. A estos núcleos con igual número atómico pero diferente masa se les conoce como *isótopos*. Hay tres isótopos del hidrógeno: protio, deuterio y tritio.

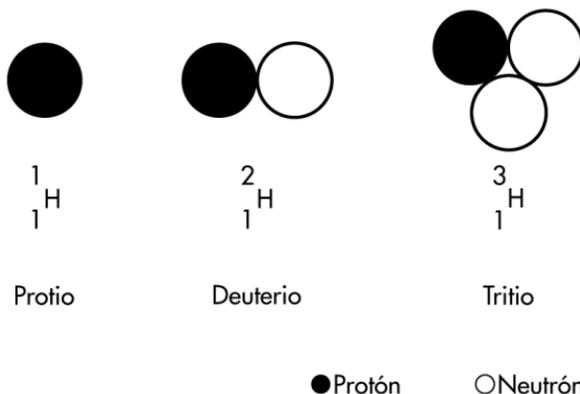


FIGURA 13. MODELO DE LOS NÚCLEOS DE LOS ISÓTOPOS DEL HIDRÓGENO. EL SUPERÍNDICE ANTES DEL SÍMBOLO INDICA EL NÚMERO DE MASA (PROTONES MÁS NEUTRONES), MIENTRAS QUE EL SUBÍNDICE INDICA SOLAMENTE EL NÚMERO ATÓMICO, ES DECIR, EL NÚMERO DE PROTONES.

En la Tierra, el isótopo predominante es el protio, y existe 0.016% de deuterio. El tritio es inestable y su núcleo se rompe (en el fenómeno que conocemos como *radiactividad*), lo que da lugar rápidamente a otros dos isótopos.

Hay 110 átomos conocidos, pero más de 1 300 variedades de núcleos. Un hecho sorprendente es que la abundancia de isótopos es prácticamente similar en todos los objetos conocidos del universo.

El siguiente átomo contiene dos protones en su núcleo, junto con dos neutrones, por lo que su masa es cuatro veces la del hidrógeno. Para ser eléctricamente neutro tiene también dos electrones. Se trata del helio. Hasta donde sabemos, éste se formó por una serie de reacciones nucleares.

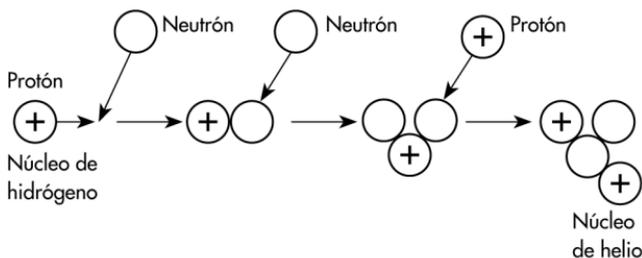


FIGURA 14. FORMACIÓN DE HELIO A PARTIR DE HIDRÓGENO.

El helio, que tiene ese nombre porque fue descubierto en el Sol, por el dios griego, constituye 11% del total de átomos que existen. En total, el helio y el hidrógeno conforman 99% de todo el universo. En sólo cuatro gramos de helio hay 602 000 000 000 000 000 000 000 (602 mil trillones) de átomos (este número es conocido como el *número de Avogadro*), lo que nos sugiere lo extraordinariamente pequeños que son los átomos.

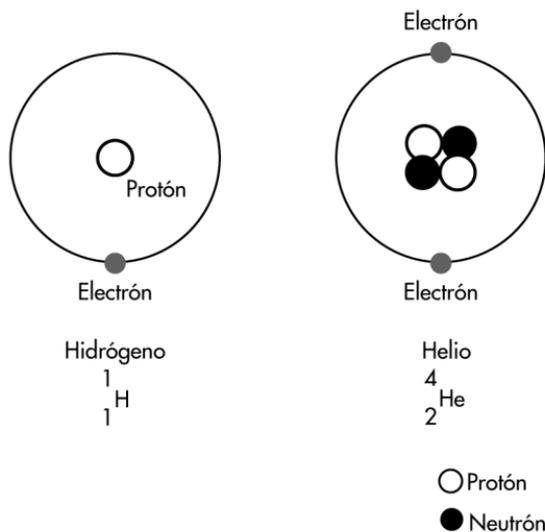


FIGURA 15. ESQUEMA QUE MUESTRA UNO DE LOS MODELOS QUE REPRESENTAN A LOS ÁTOMOS DE HIDRÓGENO Y HELIO.

El resto de los 108 átomos conocidos, con sus respectivos isótopos, se formaron a partir de hidrógeno y helio, a través de diversas y complejas reacciones nucleares y de otras grandes explosiones, como las supernovas. Sin contar al hidrógeno y al helio, el resto de los átomos conocidos, entre los que se encuentran el oxígeno, el carbono y el hierro, por mencionar sólo algunos, representan menos de 1% del total de la masa del universo.

Cuando a un átomo se le quita un electrón, hay un exceso de carga positiva, y se convierte en un ion positivo o catión. Cuando al átomo se le agrega un electrón de más, se tiene un exceso de carga negativa: es un ion negativo o anión.

Así, puede haber isótopos de un mismo átomo cuando su masa es diferente, o iones cuando lo que cambia es su carga.

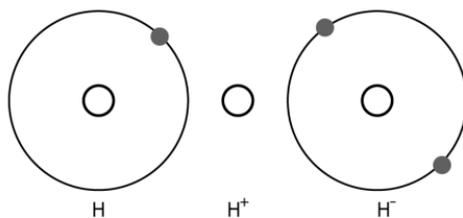


FIGURA 16. ESQUEMA DE UNO DE LOS MODELOS QUE REPRESENTAN EL HIDRÓGENO, EL HIDRÓGENO POSITIVO Y EL HIDRÓGENO NEGATIVO.

hidrógeno 1 H 1.0079								
litio 3 Li 6.941	berilio 4 Be 9.0122							
sodio 11 Na 22.990	magnesio 12 Mg 24.305							
potasio 19 K 39.098	calcio 20 Ca 40.078	escandio 21 Sc 44.956	titanio 22 Ti 47.867	vanadio 23 V 50.942	cromo 24 Cr 51.996	manganeso 25 Mn 54.938	hierro 26 Fe 55.845	cobalto 27 Co 58.933
rubidio 37 Rb 85.468	estroncio 38 Sr 87.62	itrio 39 Y 88.906	circonio 40 Zr 91.224	niobio 41 Nb 92.906	molibdeno 42 Mo 95.96	tecnecio 43 Tc [98]	rutenio 44 Ru 101.07	rodio 45 Rh 102.91
cesio 55 Cs 132.91	bario 56 Ba 137.33	57 a 71 Tierras raras. Serie de los lantánidos.	hafnio 72 Hf 178.49	tantalio 73 Ta 180.95	tungsteno 74 W 183.84	renio 75 Re 186.21	osmio 76 Os 190.23	iridio 77 Ir 192.22
francio 87 Fr [223]	radio 88 Ra [226]	89 a 103 Elementos raros. Serie de los actínidos.	rutherfordio 104 Rf [261]	dubnio 105 Db [262]	seaborgio 106 Sg [266]	bohrio 107 Bh [264]	hassio 108 Hs [277]	meitnerio 109 Mt [268]
lantánidos		lantano 57 La 138.91	cerio 58 Ce 140.12	praseodimio 59 Pr 140.91	neodimio 60 Nd 144.24	promecio 61 Pm [145]	samario 62 Sm 150.36	europio 63 Eu 151.96
actínidos		actinio 89 Ac [227]	torio 90 Th 232.04	protactinio 91 Pa 231.04	uranio 92 U 238.03	neptunio 93 Np [237]	plutonio 94 Pu [244]	americio 95 Am [243]

FIGURA 17. TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS, SEGÚN LA UNIÓN INTERNACIONAL DE QUÍMICA PURA Y APLICADA (IUPAC).

							helio 2 He 4.0026		
							neón 10 Ne 20.180		
							boro 5 B 10.811		
							carbono 6 C 12.011		
							nitrógeno 7 N 14.007		
							oxígeno 8 O 15.999		
							flúor 9 F 18.998		
							aluminio 13 Al 26.982		
							silicio 14 Si 28.086		
							fósforo 15 P 30.974		
							azufre 16 S 32.065		
							cloro 17 Cl 35.453		
							argón 18 Ar 39.948		
níquel 28 Ni 58.693	cobre 29 Cu 63.546	cinc 30 Zn 65.38	galio 31 Ga 69.723	germanio 32 Ge 72.64	arsénico 33 As 74.922	selenio 34 Se 78.96	bromo 35 Br 79.904	criptón 36 Kr 83.798	
paladio 46 Pd 106.42	plata 47 Ag 107.87	cadmio 48 Cd 112.41	indio 49 In 114.82	estaño 50 Sn 118.71	antimonio 51 Sb 121.76	telurio 52 Te 127.60	yodo 53 I 126.90	xenón 54 Xe 131.29	
platino 78 Pt 195.08	oro 79 Au 196.97	mercurio 80 Hg 200.59	talio 81 Tl 204.38	plomo 82 Pb 207.2	bismuto 83 Bi 208.98	polonio 84 Po [209]	astato 85 At [210]	radón 86 Rn [222]	
darmstadtio 110 Ds [271]	roentgenio 111 Rg [272]	copernicio 112 Cn [272]			flerovio 114 Fl [289]			livermorio 116 Lv [293]	
gadolinio 64 Gd 157.25	terbio 65 Tb 158.93	disprosio 66 Dy 162.50	holmio 67 Ho 164.93	erbio 68 Er 167.26	tulio 69 Tm 168.93	iterbio 70 Yb 173.05	lutecio 71 Lu 174.97		
curio 96 Cm [247]	berkelio 97 Bk [247]	californio 98 Cf [251]	einsteinio 99 Es [252]	fermio 100 Fm [257]	mendelevio 101 Md [258]	nobelio 102 No [259]	laurencio 103 Lr [262]		

LA TABLA PERIÓDICA ES UN EJEMPLO DE LA BÚSQUDA DE REGULARIDADES.
EN ESTE CASO, DEL COMPORTAMIENTO QUÍMICO DE LOS ELEMENTOS.

El químico ruso Dimitri Mendeleiev, resumiendo todo el conocimiento que sobre este tema se tenía a finales del siglo XIX, acomodó los elementos químicos de acuerdo con sus propiedades regulares (por ejemplo, qué elementos se combinaban con oxígeno para producir óxidos, y con cuántos átomos de oxígeno lo hacen) en la conocida tabla periódica.

Los elementos más pesados (a partir del número atómico 92) no se descubrieron, se hicieron

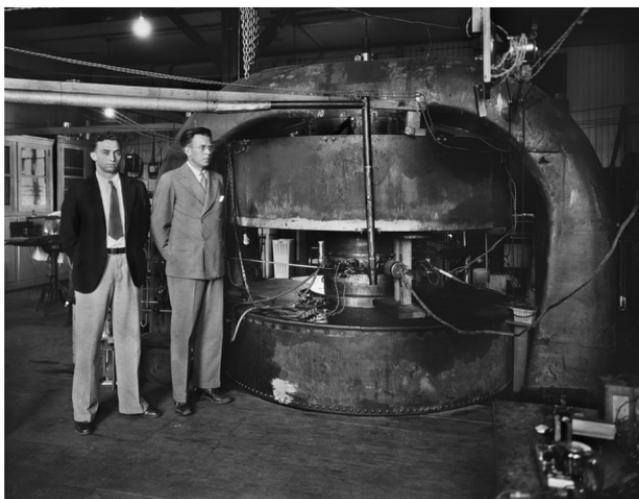


FIGURA 18. M. S. LIVINGSTON Y ERNEST ORLANDO LAWRENCE JUNTO AL CICLOTRÓN DE 27 PULGADAS, CONSTRUIDO EN 1934. © THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA, LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY. FOTOGRAFÍA CORTESÍA DE BERKELEY LAB. PERMISO CONCEDIDO POR PAMELA PATTERSON.

en laboratorios, interviniendo en el mundo y modificándolo. Los artefactos necesarios para ello, llamados aceleradores de partículas, fueron diseñados por científicos y tecnólogos en un buen ejemplo de lo que es la tecnociencia.

El conocimiento de la estructura de la materia dio un cambio radical cuando Max Planck, un físico alemán de entonces 42 años, trataba de explicar por qué los cuerpos calientes emiten radiación electromagnética. Tú has observado que al poner la mano cerca de un cuerpo caliente sientes que el calor se transmite. Lo que pasa es que despiden rayos infrarrojos. Si el cuerpo está a más alta temperatura, se pone “al rojo”, como las brasas en una hoguera, lo cual quiere decir que emite luz de ese color. Si la temperatura sube aún más, el cuerpo se pone incandescente y emite luz blanca, como el filamento de un foco.

En 1900, Planck logró dar una explicación después de que los científicos lo habían intentado durante 40 años, pero tuvo que proponer algo totalmente nuevo: que las partículas que componen los átomos absorben y emiten luz de manera discontinua.

Pero ¿qué quiere decir esto? Hasta entonces se pensaba que la energía podía transmitirse en cualquier cantidad, por pequeña que fuese.

Por ejemplo, al balancearse un péndulo, se va frenando por la fricción continua. Cuando se aplica el freno a un automóvil, también se detiene gradualmente y va pasando por todas las velocidades intermedias, hasta el reposo.

Planck llegó a la conclusión de que esto no ocurría a nivel atómico, ya que los electrones sólo absorben o emiten luz en pequeños paquetes de energía, que llamó *cuantos* de energía. Esta palabra viene del latín *quantum*, que quiere decir “cantidad elemental”. Planck encontró que, al igual que una escalera que sólo se puede subir de peldaño en peldaño, los intercambios de energía en la naturaleza se daban también “por peldaños”.

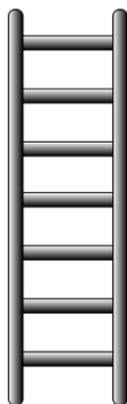


FIGURA 19.

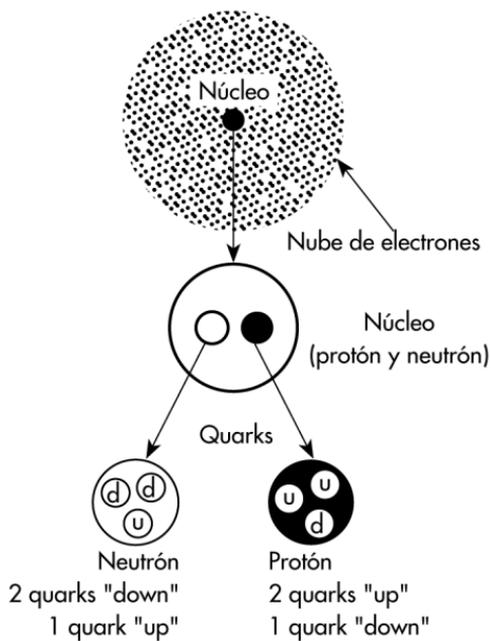


FIGURA 20. ESQUEMA DONDE SE MUESTRA UN MODELO MÁS COMPLEJO DE LA ESTRUCTURA ATÓMICA.

Con el modelo cuántico pudieron explicarse más y mejor las propiedades de los átomos y de las partículas que los constituyen. Se construyeron modelos atómicos cuánticos que escapan a la comprensión de muchas personas, ya que requieren de profundos conocimientos matemáticos, porque entre más pequeñas sean las partículas —los electrones, por ejemplo—, más

diferente es su comportamiento en comparación con el de los cuerpos mayores.

A pesar de su complejidad, cada vez que aplicamos el modelo cuántico para explicar algún hecho se obtienen resultados perfectamente congruentes con los experimentos. Hoy, dependiendo de las preguntas que un determinado grupo de científicos se hagan, se pueden utilizar diferentes modelos atómicos para darles respuestas adecuadas. Por ejemplo, los químicos usan aquellos modelos que permiten explicar mejor las propiedades de los átomos enlazados, las moléculas; mientras que los físicos prefieren los que explican con mayor detalle el comportamiento de las partículas que los conforman. Sea como sea, el modelo atómico, con su corrección cuántica, es hasta el momento el que mejor explica las propiedades de la materia que nos rodea y que forma el universo.

Las propiedades de las sustancias que nos rodean no son básicamente las propiedades de los átomos, sino de la manera en la que estos átomos se han enlazado. Se requiere entonces entender la forma en que se unen los átomos para poder llegar a comprender propiedades de la materia como el color, el olor o la dureza. Así, aunque el azufre sea amarillo, los átomos de

azufre no lo son; si el naftaleno huele, los átomos que lo componen no; a pesar de que la cera de una vela es blanda, los átomos que la constituyen son duros, tan duros como los del hierro con el que se fabrican clavos o martillos; si el cobre es maleable y conduce la electricidad, los átomos del cobre no lo hacen.

Los átomos se enlazan de diferentes maneras. En una de ellas, los átomos pierden y ganan electrones, convirtiéndose en iones; en otra, comparten sus electrones y forman moléculas, que son la parte más pequeña representativa de un compuesto químico. Las moléculas siempre están formadas al menos por dos átomos enlazados. Hay muchísimos tipos de moléculas, como también una gran cantidad de palabras, pero hay algunas muy, muy grandes: las proteínas que conforman la base de todo lo vivo, y además hay otras, el ADN y el ARN que, a manera de una gramática, indican cómo dichas proteínas deben construirse.

Respecto a la materia, de una manera muy breve, podemos decir que a los físicos les importan las letras, a los químicos las palabras y a los biólogos las grandes frases, aquellas en las que la materia tiene vida (véase nota 5).

Un grano de sal

Planteemos de momento una pregunta mucho más modesta. No nos preguntemos si podemos conocer la naturaleza del universo, la Vía Láctea, una estrella o un mundo, sino si nos es dado conocer, en última instancia y de forma pormenorizada, la naturaleza de un grano de sal. Consideremos un microgramo de sal de mesa, una partícula apenas lo suficientemente grande como para que alguien con una vista muy aguda pueda detectarlo sin la ayuda de un microscopio. En este grano de sal hay alrededor de 10^{16} átomos de cloro y sodio, es decir, 10 000 000 000 000 000 (10 mil billones) de átomos. Si deseamos conocer la estructura de este grano de sal, necesitamos determinar como mínimo las coordenadas tridimensionales de cada uno de sus átomos. [...] Pues bien, ¿la cifra indicada es mayor o menor que el número de cosas que puede llegar a conocer el cerebro humano?

¿Cuál es el límite de informaciones que puede albergar el cerebro? En nuestro cerebro quizá haya un total de 10^{11} neuronas, los circuitos elementales y conexiones responsables de las actividades química y eléctrica que hacen funcionar nuestras mentes. Una neurona típica tiene como mucho un millar de pequeñas terminaciones, las dendritas, que establecen su conexión con las contiguas. Si, como parece ser, a cada una de tales conexiones le corresponde el almacenamiento de un bit de información, el número total de cosas cognoscibles por el cerebro humano no excede 10^{14} , es decir, la cifra de 100 000 000 000 000 (100 billones). En otros términos, algo así como el 1% del número de átomos que contiene una pequeña partícula de sal.

Desde tal punto de vista el universo se nos convierte en inabordable, asombrosamente inmune a todo intento humano de alcanzar su completo conocimiento. Si a este nivel no nos es dado comprender la exacta naturaleza de un grano de sal, mucho menos lo será determinar la del universo.

Pero observemos con mayor atención nuestro microgramo de sal. La sal es un cristal que, a excepción de eventuales defectos que puedan presentarse en su estructura reticular, mantiene posiciones bien predeterminadas para cada uno de los átomos de sodio y cloro que lo integran. Si pudiésemos contraernos hasta posibilitar nuestra incursión en tal mundo cristalino, podríamos ver, fila tras fila, una ordenada formación de átomos, una estructura regularmente alternante de átomos de sodio y cloro. [...]

Los seres humanos se hallan enormemente motivados para emprender la búsqueda de regularidades, de leyes naturales, cosa por lo demás perfectamente comprensible. La búsqueda de leyes, el único camino posible para llegar a comprender un universo tan vasto y complejo, recibe el nombre de ciencia. El universo obliga a quienes lo pueblan a entenderlo. Aquellos seres que se topan en su experiencia cotidiana con un confuso revoltillo de eventos imprevisibles y carentes de regularidad se encuentran en grave peligro. El universo pertenece a quienes, al menos en cierta medida, lo han descifrado.¹¹

■ El tiempo

*Fue.
Nunca volverá a ser.
Recuérdalo.*

Paul Auster

Los científicos han logrado acumular la suficiente cantidad de evidencias para suponer que el universo, tal y como hoy lo conocemos, se formó



FIGURA 21. SEGÚN UNA DE LAS TEORÍAS MÁS ACEPTADAS, LOS DINOSAURIOS COMO ESPECIE DESAPARECIERON HACE 65 MILLONES DE AÑOS A CONSECUENCIA DE LA CAÍDA DE UN GRAN METEORITO SOBRE LA TIERRA.

en una *gran explosión*, hace aproximadamente 13 800 millones de años. En ese momento, toda la materia increíblemente caliente ocupaba un volumen extraordinariamente pequeño. Con la gran explosión, el universo empezó a expandirse y a enfriarse. Al hacerlo, la materia empezó a reunirse en nubes de gases y polvo que se condensaron y rotaron, y así se formaron los ancestros de las galaxias. Las galaxias, como la Vía Láctea, donde se localiza nuestro Sol y que a su vez es una de las 100 000 millones de estrellas que la integran, se formaron 5 000 millones de años después de la gran explosión.

Debido a que poseen masa, los cuerpos tienen la propiedad de atraerse mutuamente. Las estrellas nacen cuando una nube de gases se compacta por efecto de la gravedad. En algunas de las nubes había suficiente materia para que la fuerza de gravedad, aquella que nos mantiene pegados al suelo, hiciera que la nube se colapsara. Cuando eso sucedía, se iniciaba una serie de reacciones nucleares, con lo que ¡nacía una estrella!

En una estrella en formación, la nube de gas toma forma esférica y, al comprimirse, su centro se calienta cada vez más. Cuando la temperatura alcanza los 10 millones de grados, los protones se fusionan para producir helio. La fusión del

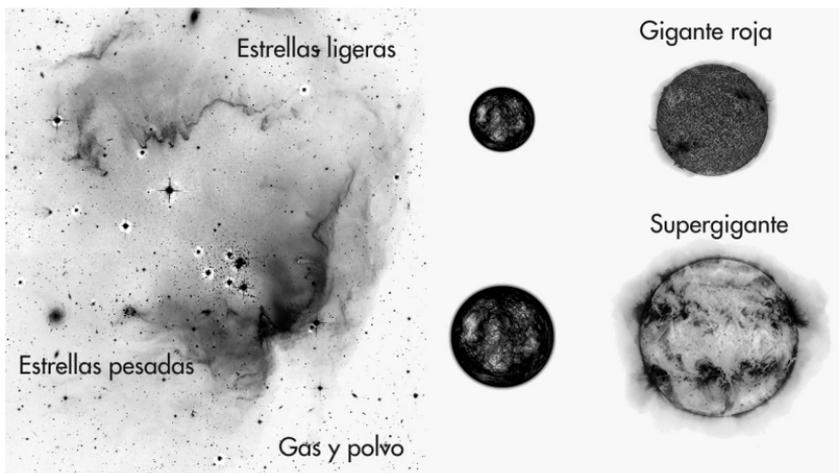
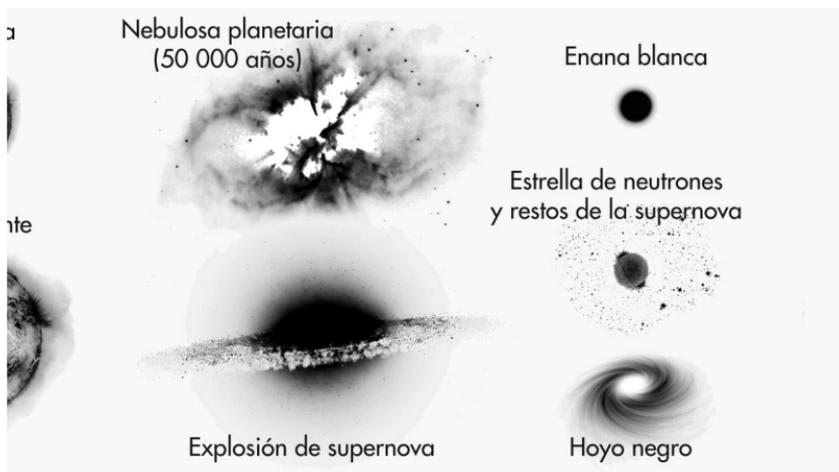


FIGURA 22. ESQUEMAS DE LA FORMACIÓN DE ESTRELLAS.

hidrógeno es la fuente de energía más estable y duradera de las estrellas. En esta etapa se encuentra nuestro Sol, el cual quema y quemará hidrógeno como combustible, otros 5 000 millones de años más.

Al seguirse comprimiendo, la temperatura de la estrella aumenta. Suceden nuevas y más complejas reacciones nucleares. Así se sintetizan todos los elementos químicos hasta llegar al hierro —que contiene 26 neutrones y 30 protones—, el cual se localiza en el centro de la estrella. Entonces, el proceso se detiene. A continuación, la gravedad vuelve a dominar y la estrella se



contrae más y más. Si su masa es pequeña (como la del Sol), la contracción se detiene y se forma una estrella enana blanca, que al enfriarse deja de emitir luz y se transforma en lo que conocemos como una enana negra.

El núcleo de hierro es el más pesado que puede obtenerse de esta forma. Cualquier combinación de dos núcleos para obtener un elemento más pesado requiere energía, en lugar de producirla. Pero si la masa de la estrella es grande (varias veces la del Sol), la contracción no puede detenerse. Los núcleos de hierro y los electrones en el corazón de la estrella se transforman en neutro-

nes libres, los cuales logran detener el colapso. Sin embargo, las capas exteriores se precipitan hacia el centro y van generando tal temperatura y presión que se crea una onda de choque hacia afuera. La explosión, conocida como supernova, es tan energética que logra que uno, dos y hasta más de 100 neutrones se adicione a los núcleos de hierro, formándose así los elementos con más de 26 protones.

Fe + neutrones \longrightarrow elementos pesados

Todos los elementos sintetizados se desparra- man por el espacio como polvo estelar, esperando el día que la gravedad vuelva a formar otra estrella. De hecho, nuestro Sol es una estrella de segunda generación, pues contiene una buena proporción de elementos pesados que no se sintetizaron allí, sino en otras estrellas.

Debido a la explosión, la estrella pierde mucha materia, pero su centro de neutrones sobrevive y queda como una estrella de neutrones. Finalmente, si la estrella es lo bastante pesada, la contracción continúa indefinidamente. No parece haber nada que la detenga, por lo que se convierte en un *hoyo negro*, el cual recibe este nombre porque ni siquiera la luz puede salir de él.

Sol con un remolino
de polvo hace 5000
millones de años

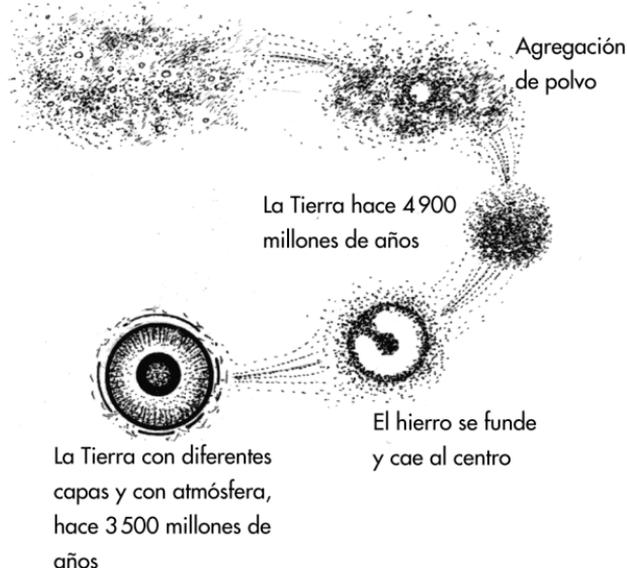


FIGURA 23. FORMACIÓN DE LA TIERRA.

Alrededor del Sol, hace unos 4500 millones de años, poco a poco se agregó polvo que, al rotar alrededor de él, se colapsó en nueve grandes cuerpos celestes: los planetas rocosos cercanos al Sol, entre ellos la Tierra, y los planetas gaseosos alejados de él.

Con el paso del tiempo, hace poco menos de 4000 millones de años, la Tierra comenzó a enfriarse. Las rocas fundidas se fueron haciendo sólidas y formaron una “costra”. En ella había enormes volcanes, cuya lava se fue haciendo sólida al enfriarse. En el interior de la Tierra, las rocas y los metales estaban fundidos a altas temperaturas. Algunos gases del interior del planeta salieron y se quedaron en la parte externa del mismo, con lo que se comenzó a formar lo que hoy conocemos como *atmósfera*.

Nuestro planeta se encuentra conformado principalmente por silicatos (piedras de silicio y oxígeno) y hierro metálico. La estructura interna de la Tierra nos es desconocida. Sin embargo, a partir de estudios sismológicos y geofísicos se ha establecido la teoría de que está formada por tres capas principales. La más externa, llamada *corteza*, va desde la superficie hasta unos 17 kilómetros de profundidad y comprende la atmósfera (gases), la hidrosfera (agua) y la parte sólida de la misma capa, formada principalmente por rocas. Otra capa intermedia, conocida como *manto*, se extiende aproximadamente 2900 kilómetros por debajo de la corteza y está constituida por silicatos, principalmente de magnesio y de hierro, así como por gran cantidad de óxidos y

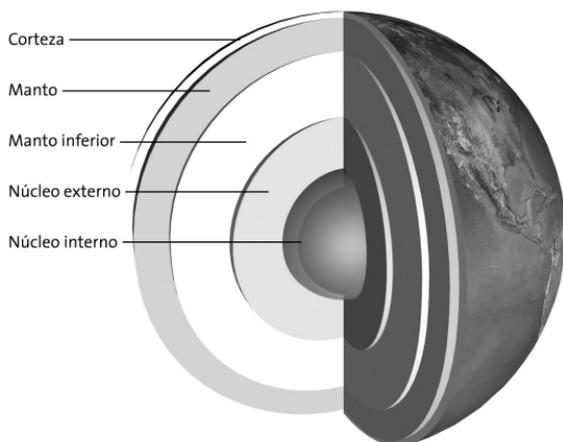


FIGURA 24. ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA INTERNA DE LA TIERRA.

sulfuros metálicos. La capa más interna, lo que llamamos el centro de la Tierra, es el *núcleo*, formado principalmente por hierro y níquel.

La Tierra es un planeta activo, esto quiere decir que tiene movimientos y cambios constantes tanto en la superficie como en su interior. Muchos de éstos no los detectamos porque se manifiestan en un tiempo largo, pero otros, que lo hacen en un tiempo corto, sí son perceptibles. Sobre todo podemos notar los cambios ocasionados por los temblores o cuando un volcán hace erupción. En ese momento el volcán arroja diversos materiales, gases, como vapor de agua, y rocas sólidas o fundidas —lo que conocemos como lava—.

Esquemas que muestran el movimiento de los continentes, de acuerdo con la tectónica de placas:

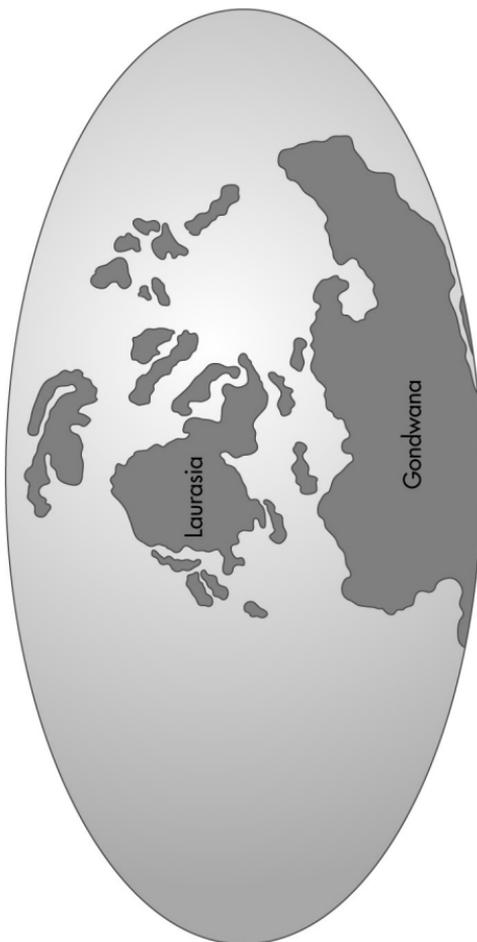


FIGURA 25. HACE 320 MILLONES DE AÑOS [LAURASIA, GONDWANA].

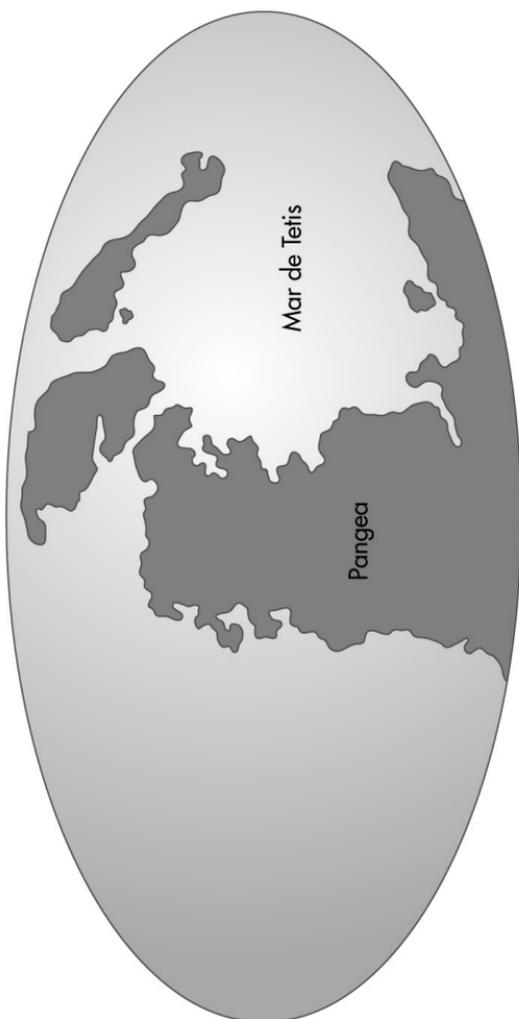


FIGURA 26. PANGEA HACE 250 MILLONES DE AÑOS [PANGEA, MAR DE TETIS].

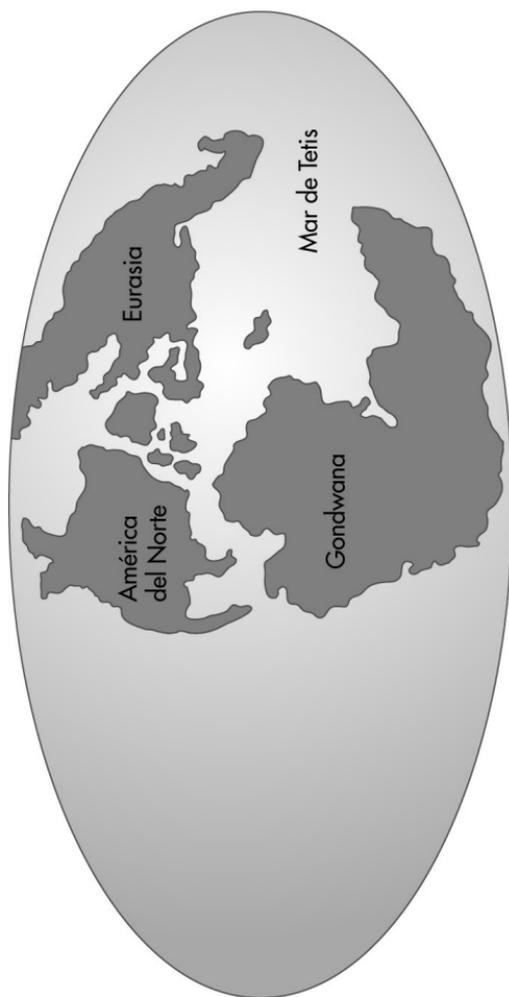


FIGURA 27. RUPTURA DE PANGEA HACE 180 MILLONES DE AÑOS [AMÉRICA DEL NORTE, EURASIA, GONDWANA, MAR DE TETIS].

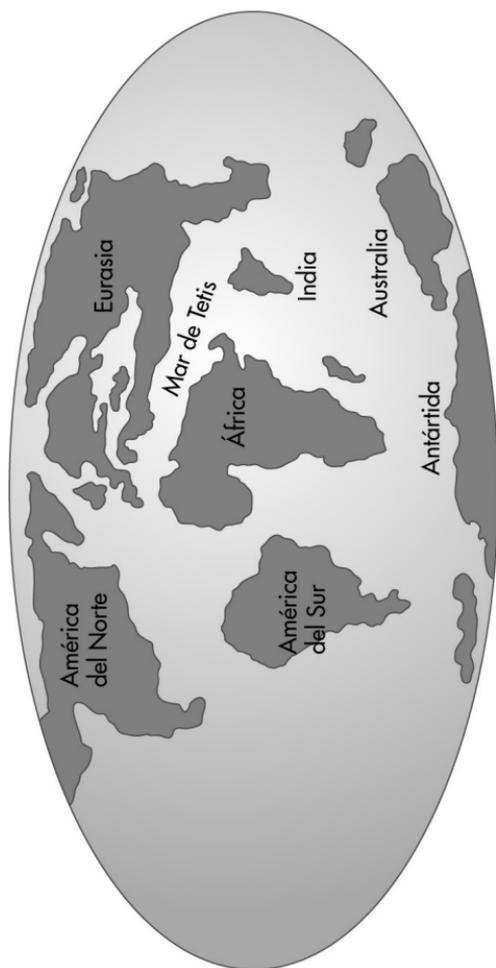


FIGURA 28. LA TIERRA HACE 45 MILLONES DE AÑOS [AMÉRICA DEL NORTE, AMÉRICA DEL SUR, EURASIA, ÁFRICA, MAR DE TETIS, INDIA, ANTÁRTIDA, AUSTRALIA].

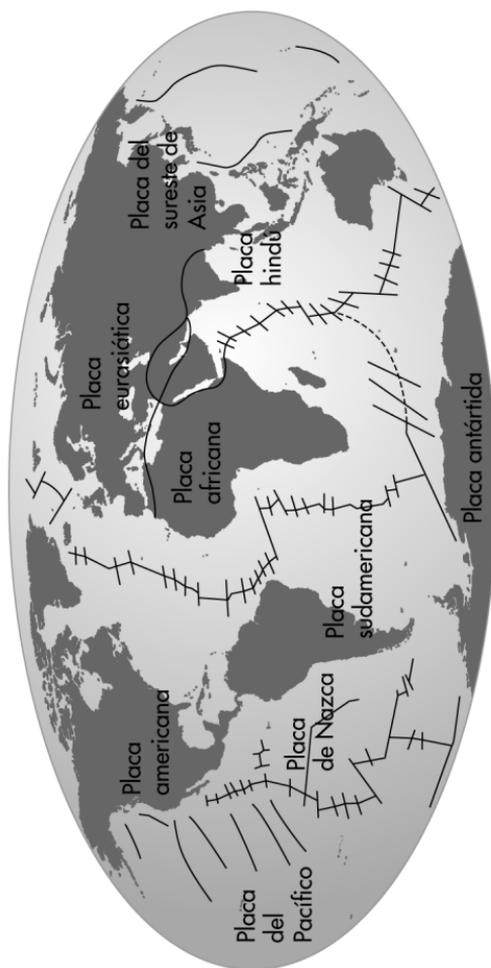


FIGURA 29. LA TIERRA HOY [PLACA DEL PACÍFICO, PLACA AMERICANA, PLACA DE NAZCA, PLACA SUDAMERICANA, PLACA ANTÁRTICA, PLACA AFRICANA, PLACA EURASIÁTICA, PLACA DEL SURESTE DE ASIA, PLACA HINDÚ].

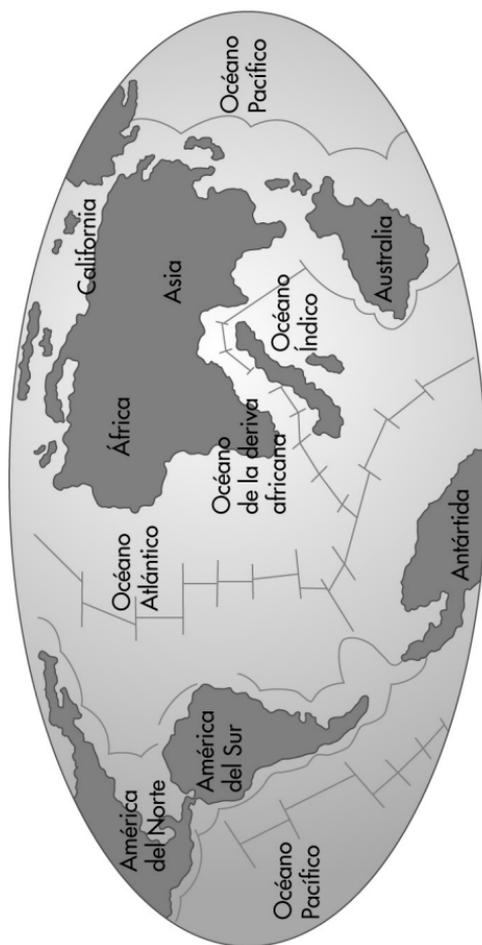


FIGURA 30. LA TIERRA DENTRO DE 100 MILLONES DE AÑOS [OCÉANO PACÍFICO, AMÉRICA DEL NORTE, AMÉRICA DEL SUR, OCÉANO ATLÁNTICO, ANTÁRTIDA, ÁFRICA, OCÉANO DE LA DERIVA AFRICANA, CALIFORNIA, ASIA, OCÉANO ÍNDICO, AUSTRALIA, OCÉANO PACÍFICO].

La *tectónica de placas* es el modelo que nos explica cómo se formaron los continentes, el origen de los terremotos y la razón de ser de los volcanes. De acuerdo con él, hace 320 millones de años los precursores de nuestros actuales continentes empezaron a converger en uno solo, de nombre Pangea. Años después éste se rompió de nuevo, lo que dio lugar a los continentes que hoy se siguen separando, y por otro lado uniendo, entre sí. Actualmente hay varias placas grandes en las que se encuentran varios de los continentes.

Se supone que los orígenes de la vida en la Tierra se remontan a 3 500 millones de años, aproximadamente. Primero se necesitaba que existieran ciertas moléculas, presentes en todos los seres vivos que hoy conocemos. Éstas son el ADN (ácido desoxirribonucleico) y el ARN (ácido ribonucleico), las cuales están integradas por átomos de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, y aunque no están vivas, permiten la continuidad de la vida a través de la herencia. En el ADN y el ARN están los genes que controlan la construcción de otro tipo de moléculas: las proteínas, las cuales a su vez son los componentes estructurales en los que se basa la vida (nota 6).

Todos los seres vivos —plantas, animales o microorganismos— nacen, crecen, se reproducen

y mueren; así entendemos la vida. La vida se da en un tiempo particular; nuestra escala es muy diferente de la que puede tener, si tuviera conciencia de ello, una bacteria que vive unos cuantos minutos. Y, desde luego, es muy diferente de los tiempos que recogen las teorías de la tectónica de placas o de la gran explosión.

Los primeros seres vivos eran muy simples, como algas y bacterias, y se desarrollaron en el agua. Posteriormente aparecieron organismos más complejos y diferentes entre sí. Ningún animal o planta puede cambiar repentinamente

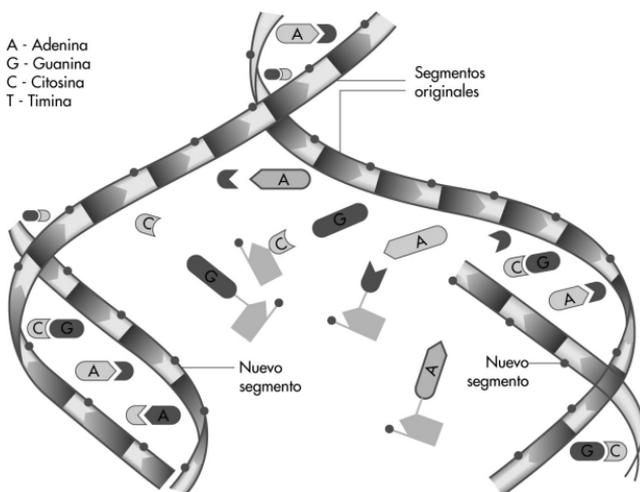


FIGURA 31. ESQUEMA QUE MUESTRA LA ESTRUCTURA DEL ADN Y SU REPLICACIÓN.

y convertirse en otra planta o animal. Sólo a través de millones de años una especie puede dar origen a otra. Este cambio es resultado de la evolución de las especies.

Cada ser vivo es un individuo único y puede estar mejor o peor adaptado que otros al lugar donde vive. El ambiente donde se desarrolla la vida no sólo consiste en el clima, la humedad o la cantidad de luz, sino que también forma parte de él la comida, que no es otra cosa más que una de las relaciones que establecen los seres vivos entre sí.

Algunas especies de seres vivos no logran sobrevivir cuando el ambiente en donde habitan cambia drásticamente. De esta forma, las especies desaparecen: a veces lentamente; en otras ocasiones de manera súbita. En ambos casos, a este proceso se le llama *extinción*. Desde que apareció la vida en la Tierra, hace más de 3500 millones de años, se ha extinguido cerca de 99% de todos los seres vivos que en ella han habitado.

La *selección natural* es el modelo que mejor permite explicar el proceso de la supervivencia de los seres vivos mejor adaptados a su ambiente. Como resultado de este proceso, sólo algunos individuos de entre toda la población llegan a la

edad adulta y se reproducen. Únicamente aquellos que tienen las características más adecuadas al ambiente en el que viven son los que obtienen más y mejor cantidad de alimentos, al formar, seguramente, parte de una cadena alimentaria, evadirse de sus depredadores y protegerse de las inclemencias del ambiente, como frío o calor, exceso de agua o carencia de ella.

El resultado de la selección natural es que después de muchas generaciones hay cambios en las poblaciones de seres vivos, cambios que se van acumulando hasta que estos seres recientes son diferentes de sus ancestros. Hay entonces una nueva especie. Una especie es nueva cuando sus individuos no pueden reproducirse al interactuar con sus ancestros.

Los cambios que se van sucediendo entre diversas generaciones de seres vivos significan un arreglo diferente en su estructura genética, es decir, en su ADN. La mayoría de estas modificaciones se da por mutaciones azarosas. Si el cambio genético le otorga al ser vivo mejores condiciones para vivir en el ambiente en el que se desarrolla, seguramente se reproducirá y sus descendientes estarán de igual forma mejor adaptados al ambiente. Pero si, en cambio, el resultado de la mutación desfavorece la relación

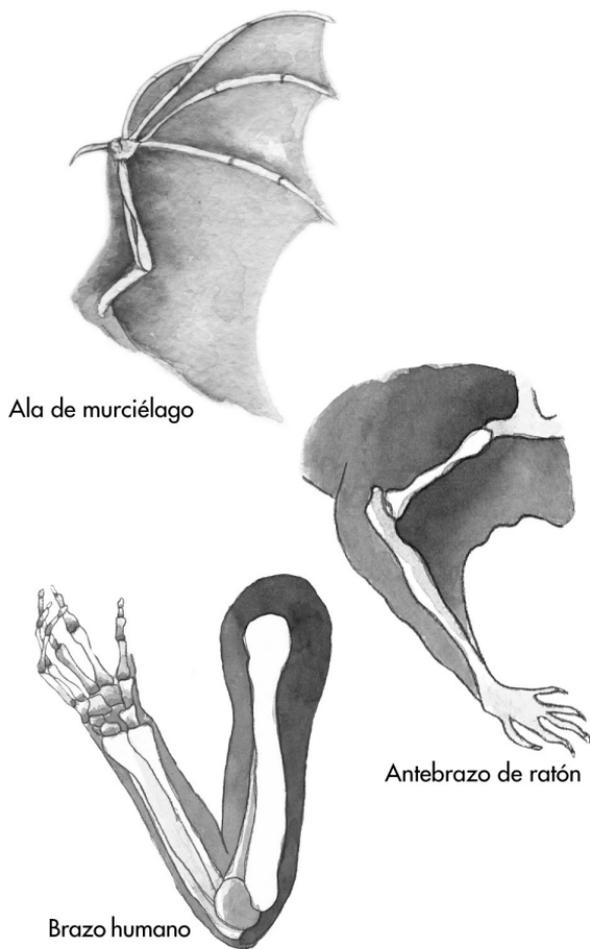


FIGURA 32. A PESAR DE TENER DIFERENTES PROPÓSITOS, EL ALA DEL MURCIÉLAGO, EL ANTEBRAZO DEL RATÓN Y EL BRAZO DEL HUMANO TIENEN LOS MISMOS COMPONENTES BÁSICOS.

del organismo con el ambiente, morirá y no tendrá descendencia. A pesar de que los cambios genéticos en los que se basa la selección natural son azarosos, la selección natural a lo largo del tiempo provoca modificaciones en los seres vivos, a través de las cuales se adaptan al ambiente en el que viven, y esto ya no es azaroso.

La *evolución* es el modelo que nos explica, a partir del conocimiento genético y la selección natural, el origen y desarrollo de la vida en la Tierra, incluido el de los seres humanos.

Los humanos, los delfines, las ratas y los monos, entre muchos otros, somos mamíferos. Todos los mamíferos tenemos al menos dos características comunes: alimentamos a las crías con leche materna a través de órganos llamados mamas, y tenemos pelo.

Los seres humanos y los monos nos parecemos más entre nosotros que, por ejemplo, con los delfines, pues somos primates. Todos los primates tenemos manos con un dedo pulgar oponible y dedos con uñas, y en el caso de los machos, un pene que cuelga libremente en lugar de estar adherido al abdomen.

Los seres humanos nos diferenciamos de los demás primates por tener el cerebro más grande, el cuerpo cubierto por un vello muy delgado, la

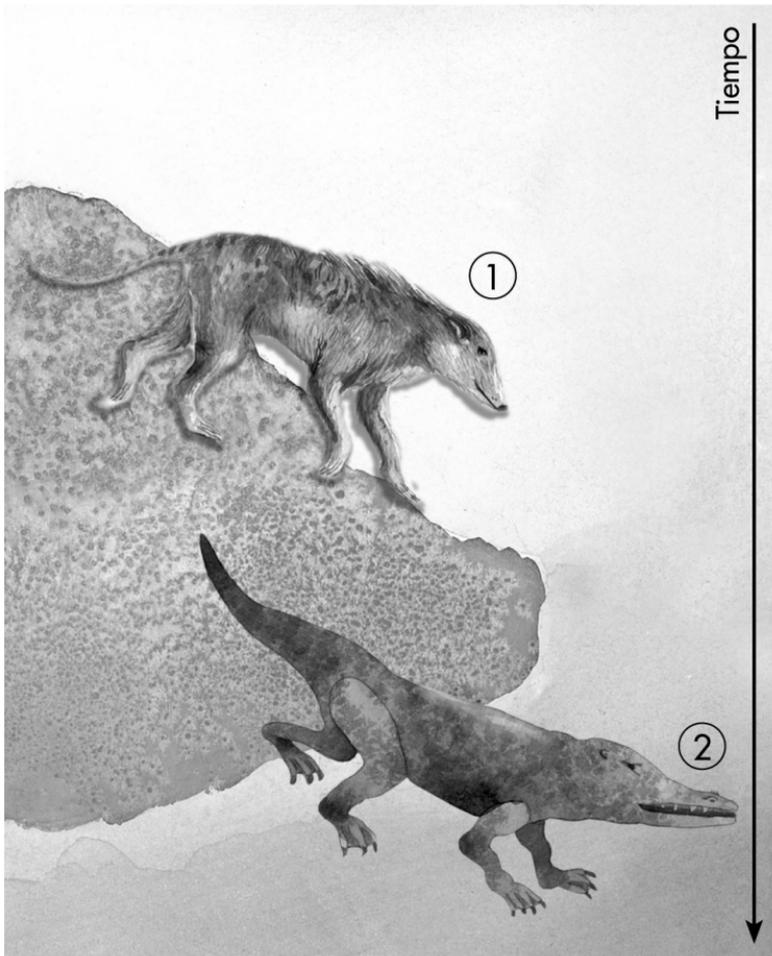
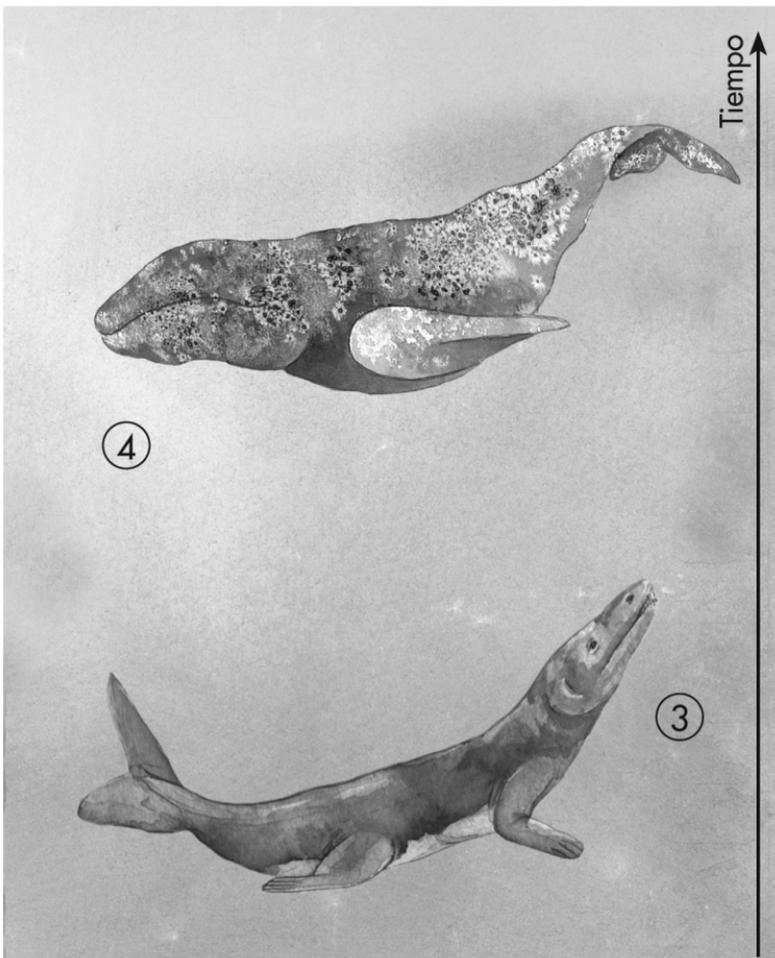


FIGURA 33. EL ANCESTRO DE LA BALLENA FUE UN MAMÍFERO TERRESTRE.



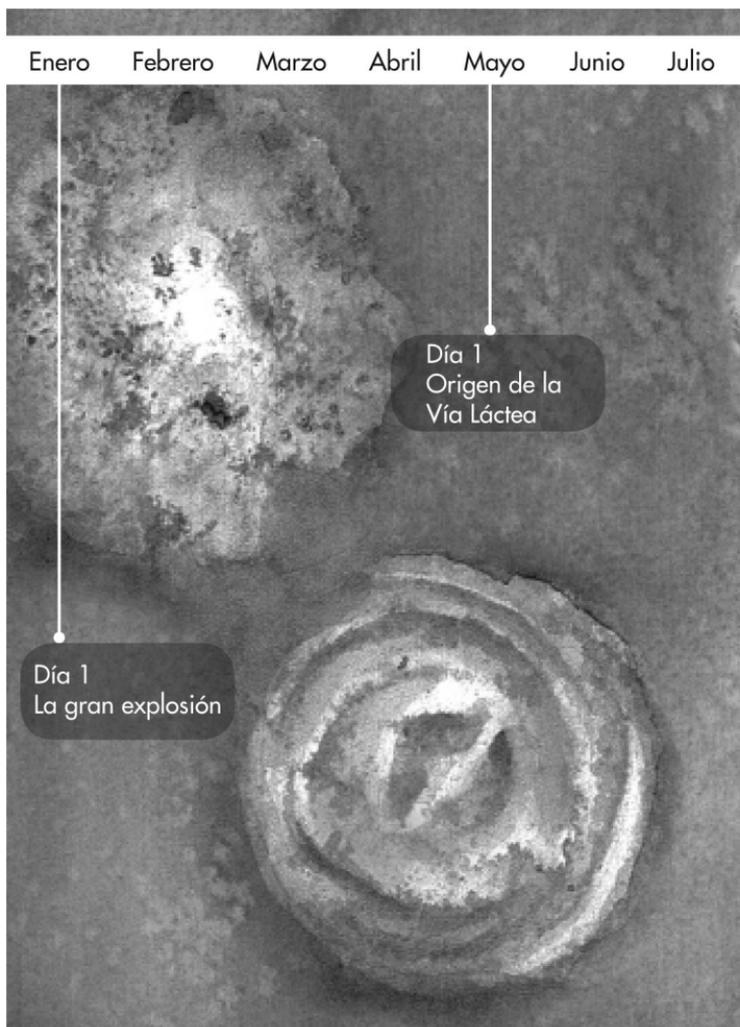


FIGURA 34. EL TIEMPO CÓSMICO, LOS 13800 MILLONES DE AÑOS TRANSCURRIDOS DESE LA GRAN EXPLOSIÓN, REPRESENTADOS EN UN AÑO.

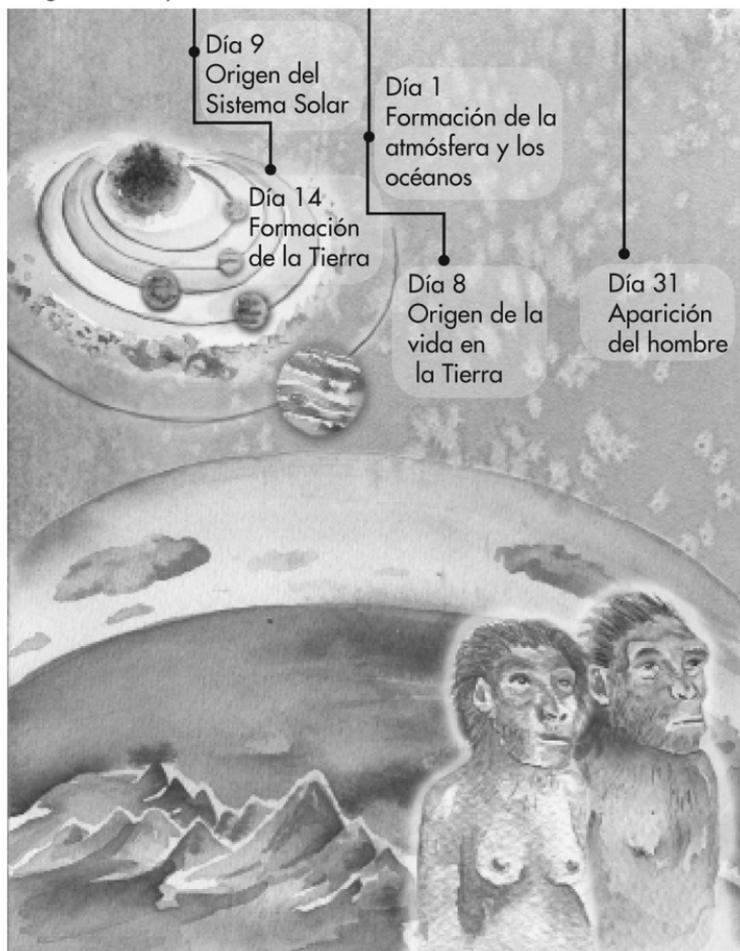
Agosto

Septiembre

Octubre

Noviembre

Diciembre



postura erecta, el dedo pulgar oponible más largo (lo cual permite construir y manipular instrumentos), la inteligencia y la habilidad para hablar mucho más desarrolladas, el uso, control y la modificación del entorno y, lo más importante, conciencia de uno mismo. Sabemos lo que somos y que moriremos algún día. Desde hace poco más de 10 000 años, particularmente con la invención de la agricultura, la domesticación de animales y la construcción de ciudades —lo que significa sociedades humanas crecientes y complejas—, pasamos de generación en generación no sólo nuestros genes, sino nuestros miedos y ambiciones, nuestras alegrías y tristezas, nuestros edificios y nuestras guerras, nuestras ropas y nuestra comida; en pocas palabras, y en diferentes lugares, nuestra cultura (nota 6).

No sólo somos hijos de las estrellas, sino también del tiempo.

El contexto

No habría vida posible si los seres vivos, desde el más sencillo hasta el más complicado, no estuviesen dotados del poder de *reconocer* lo que les rodea. A decir verdad, el reconocimiento de la molécula o de la célula vecina, del individuo vecino, es el preliminar obligatorio de toda actividad, el fenómeno primero de toda la animación del mundo.

Cuando un [átomo] de oxígeno encuentra dos [átomos] de hidrógeno para formar una molécula de agua, es necesario que los dos protagonistas hayan empezado por reconocerse como lo que son. Y los físicos han elucidado el mecanismo electrónico de este reconocimiento y de esta unión. Cuando la renina, enzima [y también proteína] formada por el riñón, encuentra cierta molécula circulando en la sangre, en angiotensinógeno, para transformarla en otra molécula activa sobre la tensión arterial, es necesario que, para empezar, la renina reconozca su blanco. Cuando se administra morfina a un hombre [y también a una mujer], aquélla llega hasta los receptores [...] del cerebro y, en cuanto reconoce estos receptores, se fija allí y empieza a actuar: todos [los medicamentos] tienen asimismo una conformación que reconoce los puntos de impacto en que va a ejercer su acción. Y los químicos explican cada vez mejor este reconocimiento selectivo de moléculas por el encuentro de dos estructuras físicamente capaces de adaptarse. Toda química es, para empezar, cuestión de reconocimiento.

Cada una de las células microscópicas que forman un ser vivo está dotada de la facultad de distinguir a sus semejantes, entre otras. Hasta los seres que sólo están hechos de una célula saben reconocer a sus congéneres. [...] El *sí mismo* es distinguido del *no-sí mismo*.

Este fenómeno es fundamental en las costumbres de la sociedad de células que forman un individuo. [...]

En muchos animales que viven en grupo, a veces vemos establecerse relaciones preferenciales, pequeñas coaliciones, subgrupos que son testimonio de un reconocimiento distintivo. La vista, el tacto, el olfato, el intercambio de sonidos y de ultrasonidos intervienen en todos esos fenómenos de reconocimiento, [...] reconocimiento que precede todos los fenómenos de la vida, en un orden natural viejo, ya de más de tres mil millones de años. [...]

El biólogo tiene razones complementarias para exigir la tolerancia hacia *el otro*. Sabe que la comunidad humana debe unirse porque está amenazada y que no tiene fuerzas unidas suficientes para tratar de defender su destino.

En efecto, si considera la evolución general del mundo vivo, con una mirada lo bastante apartada del hecho cotidiano, percibirá la historia humana como la historia de un combate contra fuerzas naturales. Concepto fundamental que define el destino humano. Lo que hoy aportan las ciencias de la vida es el temor de que los hombres y las mujeres no estén conscientes de la enorme dificultad de esta batalla.¹²

Las sociedades humanas

*Un ser sin memoria no puede
descubrir el pasado,
y uno sin expectación no puede
concebir un futuro.*

George Santayana

La historia de las sociedades humanas se inicia hace aproximadamente entre cinco y siete millones de años en África, lugar en el que los científicos han encontrado los restos humanos más antiguos del planeta. Con el vello más corto que sus parientes los primates, una capa de grasa debajo de la piel, el control de la respiración debajo del agua y la posibilidad de caminar



FIGURA 35. ESTE MANUSCRITO ASTRONÓMICO ES UNA VERSIÓN CAROLINA DEL SIGLO IX DE UN POEMA TITULADO *EL FENÓMENO*, DEL ESCRITOR GRIEGO ARATO, NACIDO EN ASIA MENOR HACIA EL AÑO 300 A. N. E. SE TRATA DE UN TEXTO ASTRONÓMICO QUE ENUMERA LAS CONSTELACIONES CELESTES, SUS POSICIONES RESPECTIVAS Y LA RELACIÓN CON LOS 12 SIGNOS ZODIACALES, ENTRE OTROS. ESTA ILUSTRACIÓN CORRESPONDE A LA CONSTELACIÓN DE ERIDANO. IMAGEN OBTENIDA DEL *CATALOGUE OF ILLUMINATED MANUSCRIPTS*, BRITISH LIBRARY. DOMINIO PÚBLICO.

erguidos, nuestros ancestros vivían en cuevas y construían herramientas rudimentarias y armas para cazar pequeños animales con los cuales alimentarse. Allí permanecieron hasta hace un millón de años, cuando empezaron a caminar, y caminaron cubriendo prácticamente todo el planeta (con excepción de las islas del Pacífico, que, como Hawái, son los lugares más apartados de los continentes; a ellas llegaron hace pocos miles de años ¡remando!).

Los arqueólogos nos dicen que los seres humanos actuales somos descendientes de los primeros *Homo sapiens*, que significa “hombre inteligente” u “hombre capaz de aprender”, los cuales aparecieron hace aproximadamente 120 000 años. Más particularmente, descendemos de los hombres de Cro-Magnon, cuyo nombre deriva del lugar, en lo que hoy es Francia, donde se han encontrado sus restos fósiles.

Hace 40 000 años estos individuos construyeron herramientas y armas, como arpones, lanzas y flechas, con los cuales podían cazar guardando una apreciable distancia con su presa. Así empezaron a cazar elefantes y rinocerontes. Con la posterior invención de cuerdas, y con ellas de redes, agregaron cada vez cantidades mayores de peces y aves a su dieta. Los restos de ropa, joyería

y esqueletos enterrados cuidadosamente nos indican nuevas preocupaciones sociales que no eran compartidas, hasta donde sabemos, por las sociedades animales: la conciencia de la muerte. Además, representaron el mundo en el que vivían a través de pinturas y grabados, muchos de los cuales se encuentran hoy en diferentes cuevas de Europa. Construyeron instrumentos musicales y seguramente poseían un lenguaje para comunicarse.

Así, la *cultura*, que no es otra cosa que la forma en que viven y se relacionan entre sí los integrantes de una determinada sociedad, se construyó con el intercambio de objetos y personas, con el lenguaje y con los mitos; es decir, con la capacidad de adquisición, conservación, transformación y transmisión de información. Estos procesos de transmisión se lograron mediante mecanismos de enseñanza y de aprendizaje. Así apareció, además de la memoria genética, una memoria educativa, que es la que guarda, transforma y transmite la cultura. Al inventarse la escritura se logra unir el lenguaje oral al manejo de símbolos, lo que fija de manera permanente la memoria cultural, la que no es genética.

La *antropología*, la forma científica de ver la cultura, desarrollada durante el siglo pasado,

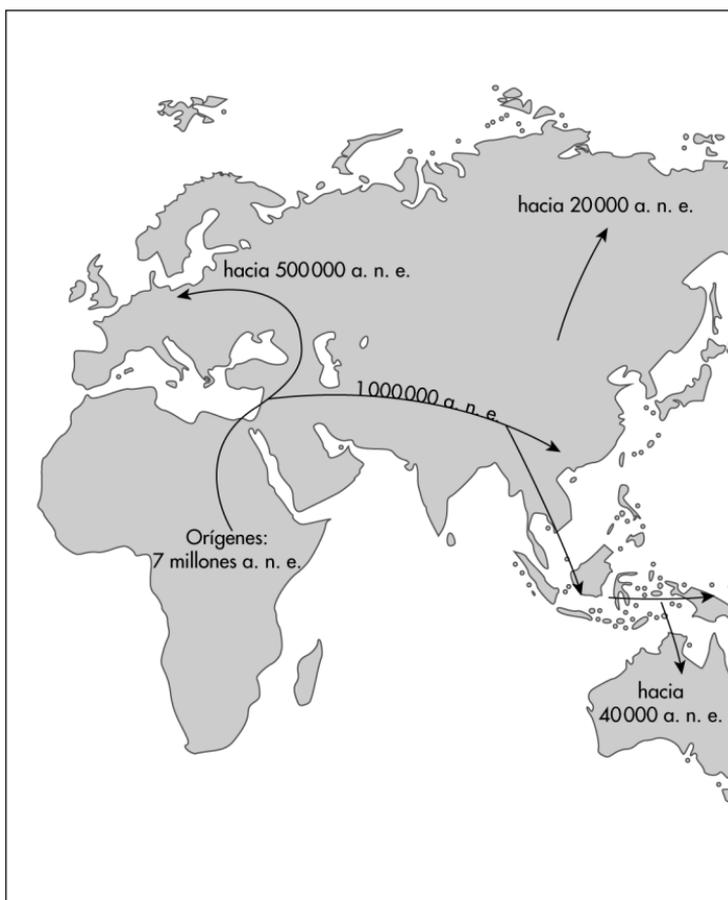
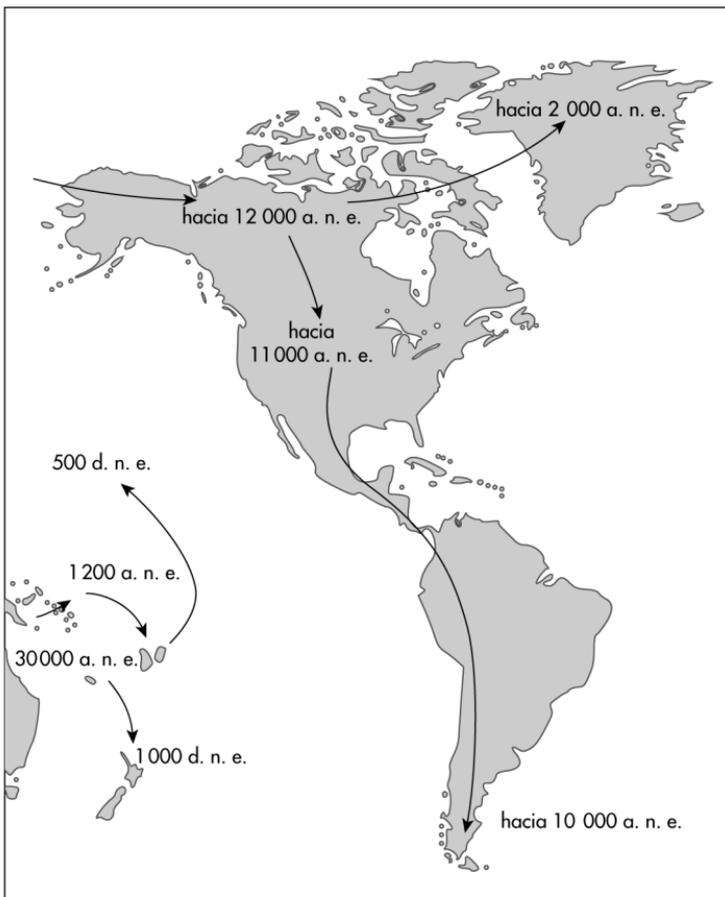


FIGURA 36. LA DISTRIBUCIÓN DE LOS HUMANOS A TRAVÉS DEL MUNDO.



se pregunta sobre los caminos que siguieron los diferentes pueblos humanos para lograr la cultura que han construido, así como la influencia que en ellos han tenido sus circunstancias geográficas.

El estudio de los lenguajes escritos a lo largo de la historia nos ha revelado muchas de las características culturales de las sociedades humanas. Éstos fueron inventados de manera independiente en Medio Oriente, China, Egipto y lo que hoy es México, durante los últimos 5 000 años. La memoria escrita permitió, particularmente después de la invención de la imprenta a mediados del siglo xv, distribuir socialmente el conocimiento, hacerlo accesible a gran parte de la población y con ello mejorar los procesos de aprendizaje.

Uno de esos lenguajes, pero también más que esto, son las *matemáticas*. Salvo notables y griegas excepciones, durante siglos los matemáticos no fueron especialistas, sino mercaderes, astrónomos, cartógrafos y físicos que las inventaban y usaban para resolver problemas prácticos y preguntas de su época. Sin embargo, a diferencia de otras ciencias donde las preguntas que se han hecho a lo largo de la historia han tenido respuesta, muchas de las interrogantes que se hacen los matemáticos continúan sin responderse.

Las primeras sociedades humanas, integradas por cerca de seis millones de individuos, eran nómadas cuando, hace aproximadamente 12 000 años, un descubrimiento fundamental cambió la historia de este planeta: la agricultura. El cultivo de plantas, la domesticación de animales y el almacenamiento de alimentos propiciaron el establecimiento de poblados y ciudades. Las sociedades humanas se fueron haciendo sedentarias. Con ello se organizaron mejor para desarrollar colectivamente diversas actividades, y se dio paso a la división del trabajo entre los integrantes de la comunidad. Aparecieron nuevas profesiones y más personas se pudieron dedicar a estudiar el mundo que los rodeaba, así como las maneras de transformarlo, lo que influyó en el mejoramiento de las condiciones de vida de muchos seres humanos. Esto provocó que el número de personas que habitaban el mundo aumentara considerablemente, y que vivieran durante más tiempo.

El crecimiento de la población le ha preocupado desde hace mucho a la humanidad. Los demógrafos se hacen las principales preguntas al respecto. Hoy, durante el tiempo que toma leer esta oración, se ha incrementado la población mundial en al menos 27 individuos. En la

segunda mitad del siglo pasado, cuando empezó a advertirse un gran crecimiento poblacional, se generaron muchas discusiones sobre las causas y las consecuencias de éste. En ese momento se había reunido información suficiente para mostrar que había muchos y muy grandes problemas sociales y ambientales, y se los atribuyó a la cantidad de habitantes que había en el mundo. Sin embargo, actualmente el consenso de muchos científicos sociales ha logrado aclarar que la mayoría de estos problemas no sólo son por la cantidad de personas que habitamos el planeta, sino que también obedecen a las condiciones de desarrollo social y económico de los diferentes países, a la desigualdad, a la pobreza y a la forma en que satisfacemos nuestras necesidades.

Tabla 2. Evolución de la población

	10 000 a. n. e.*	0	1750	1950	2012	2050**
Población (millones)	6	252	771	2 530	7 057	9 500
Esperanza de vida (años)	20	22	27	35	70	---
*a. n. e. significa "antes de nuestra era". Como es bien sabido, las culturas de origen cristiano tienen un calendario diferente de la cultura judía o de la musulmana. ** Estimado por la ONU.						

Las razones de la riqueza de las naciones es la pregunta sobre la que se construye la ciencia económica, aquella que acuñó un vocabulario con palabras nuestras de todos los días, como inversión, inflación o desempleo. La *economía* también se pregunta, y en ocasiones se responde, cómo utilizamos los recursos naturales, cómo producimos muchos de los productos que usamos, cómo y cuánto consumimos, y qué cantidad desechamos.

El antropólogo habla de lo que tiene ante los ojos: ya sean ciudades o campiñas, colonizadores o colonizados, ricos o pobres, indígenas o inmigrados, hombres o mujeres y, más aún que de todo ello, se ocupa de lo que los une o los opone, de todo lo que los vincula, así como de los efectos derivados de estos modos de relación. Todo esto constituye, en principio, el objeto de la antropología, de modo que, siempre en principio, si no tiene telarañas en los ojos, el antropólogo puede verse abocado a comparar situaciones que, pese a la existencia de diferencias evidentes, le parezcan ser susceptibles de comparación debido a un aire de familia imputable a la historia, a los actores que colocan sobre el escenario o a las instituciones que hacen intervenir.¹³

Finalmente, la conciencia de sí mismo es una de las características principales de los seres hu-

manos. Las preguntas que las diversas sociedades humanas se han hecho al respecto estuvieron durante mucho tiempo, y todavía lo están, centradas en las religiones. A estas preguntas se ha contestado con la fe, no con el conocimiento. Sigmund Freud, a finales del siglo XIX, contestó que los problemas centrales de la vida humana residían en sus dimensiones ocultas, en los recuerdos de los que hombres y mujeres no eran conscientes. Desde entonces, con más preguntas y no necesariamente con todas las respuestas, prácticamente la mayoría de los modelos que se han construido de la conciencia, desde los más centrados en la anatomía hasta los más dirigidos a las religiones, han adoptado la palabra griega *psique* —que significa “alma”— como emblema.

Los seres humanos y las sociedades que constituyen se miran a sí mismos a través de las ciencias y las tecnologías, buscando ser cada día menos ignorantes (véase nota 7).

La educación

En el mundo en el que van a vivir los jóvenes, nada podría tener más valor que la capacidad de construir nuestra propia vida a medida que vivimos: encontrar nosotros mismos qué es lo que nos satisface, conocer nuestros propios valores y nuestra propia mente, enfrentarnos a la incertidumbre con coraje e ingenio, y valorar lo que nos dicen los demás con un escepticismo inteligente y sano. Este marco de referencia mental, en ocasiones necesario para las sociedades sólo en pequeñas cantidades, es ahora una mercancía vital tanto para los individuos como para sus culturas. Sin una predisposición a enfrentarse a las dudas que les rodean y sin los recursos para hacerlo, la gente se retrotrae hacia la pasividad, la superficialidad o la hostilidad, posturas que van en contra de la propia capacidad para apreciarse a uno mismo. La preocupación fundamental de una educación contemporánea útil debe centrarse en la capacidad de las personas para aprender bien. Cualquier otra prioridad, por muy apreciada que sea, que socave el compromiso de fomentar la habilidad para el manejo del cambio o nuestro éxito en hacerlo, deberá ser relegada o suspendida¹⁴ (véase nota 8).

Epílogo

Una vez presentados los tres grandes temas de las ciencias, habría que incorporar una séptima característica de las mismas, además de la objetividad, la causalidad, la búsqueda de regularidades, la realización de experimentos, su carácter tentativo y sus limitaciones sociales.

Las ciencias son parsimoniosas

Habría que considerar una ambición de los seres humanos que disfrutamos y cultivamos las ciencias; es decir, la búsqueda de la mayor sencillez en sus explicaciones. Ante la inmensa complejidad del universo, natural y artificial, los científicos intentan explicarlo en los menos términos posibles. Se prefieren los modelos, las teorías o hipótesis que involucren a la mayor cantidad de fenómenos. Como ejemplo de ello, y de dos de los grandes temas de las ciencias, la materia y el tiempo, tenemos la famosa ecuación

de Einstein: $E = mc^2$; así como el siguiente texto de su autoría, en el que nos recuerda nuestra condición de integrantes de una sociedad humana, nuestro tercer gran tema.

La sencillez

Curiosa es nuestra situación de hijos de la Tierra. Estamos por una breve visita y no sabemos con qué fin, aunque a veces creemos presentirlo. Ante la vida cotidiana no es necesario reflexionar demasiado: estamos para los demás. Ante todo para aquellos de cuya sonrisa y bienestar depende nuestra felicidad; pero también para tantos desconocidos a cuyo destino nos vincula una simpatía.

Pienso mil veces al día que mi vida externa e interna se basa en el trabajo de otros hombres, vivos o muertos. Siento que debo esforzarme por dar en la misma medida en que he recibido y sigo recibiendo. Me siento inclinado a la sobriedad, oprimido muchas veces por la impresión de necesitar del trabajo de los otros. Pues no me parece que las diferencias de clase puedan justificarse: en última instancia reposan en la fuerza. [...]

Los ideales que iluminaron y colmaron mi vida desde siempre son: bondad, belleza y verdad. La vida me habría parecido vacía sin la sensación de participar de las opiniones de muchos, sin concentrarme en objetivos siempre inalcanzables tanto en el arte como en la investigación científica. Las banales metas de propiedad, éxito exterior y lujo me parecieron despreciables desde la juventud. [...]

La esencia de la búsqueda del conocimiento es lograr tanto un dominio lo mayor posible de los fenómenos experimentales, como una sencillez y economía en las hipótesis fundamentales.¹⁵

Hemos terminado, o tal vez no. El agnosticismo, según el diccionario, es una doctrina de pensamiento que suspende el juicio sobre algo hasta tener pruebas inequívocas de su existencia. La existencia del círculo en la figura 37 ¿es inequívoca?

Volvemos a empezar donde estábamos o estamos más allá.

¿Cómo ves?

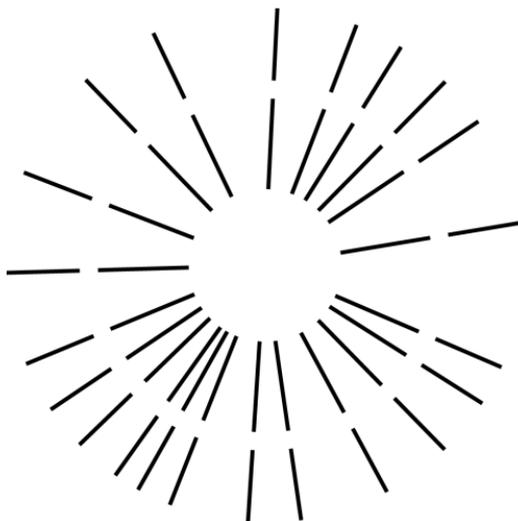


FIGURA 37.

1. Toxicidad

“La dosis es el veneno”, enunció hace casi 500 años el gran alquimista Paracelso, precursor de lo que hoy conocemos como química. Este enunciado sigue siendo válido hoy. Así, inclusive la más fundamental de las sustancias para la vida, el agua, en grandes cantidades es tóxica. Se han reportado casos de corredores que después de un intenso y agotador ejercicio han ingerido tanta agua que han caído inconscientes, lo que se conoce como *intoxicación acuosa*.

Para conocer la toxicidad de una sustancia es necesario matar. Una manera generalizada para conocer la toxicidad de cualquier producto es la que se conoce como *dosis letal media* (LD_{50} , por sus siglas en inglés). La LD_{50} indica la masa de una sustancia que mata a la mitad de las ratas a las que se les ha dado a probar, una semana después de que la ingirieron. Sus unidades son mg de producto/kg de rata, es decir, mg/kg.

En la siguiente tabla se indica la LD_{50} para varias sustancias, donde se puede ver que cuanto menor es el valor de LD_{50} , más tóxica es una sustancia, ya que se necesita menor cantidad de ésta para provocar la muerte.

Tabla 3.	
Sustancia	LD_{50} oral en ratas por kg
Acetona	7 400 mg
Ácido acético (que en forma de disolución acuosa se conoce como vinagre)	3 310 mg
Alcohol etílico	7 060 mg
Cadmio	225 mg
Cafeína (en el café, el chocolate)	130 mg
Cianuro de sodio	15 mg
Cloruro de sodio (la sal que sazona la comida)	3 750 mg
Yodo	14 000 mg
Nicotina (en los cigarros)	230 mg

2. Jean Perrin y el movimiento browniano

A finales del siglo XIX, a pesar del modelo atómico de Dalton y del éxito de la tabla periódica en la predicción de las propiedades de elementos

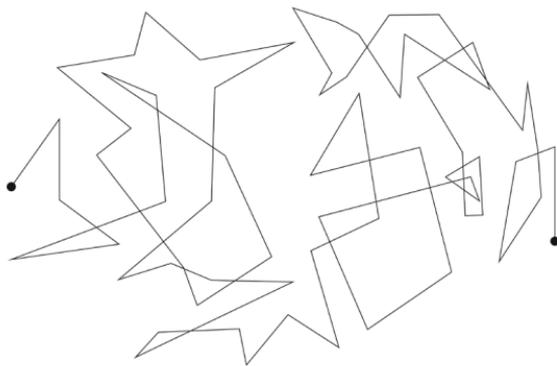


FIGURA 38. EL MOVIMIENTO BROWNIANO, DESCUBIERTO POR EL BIÓLOGO R. BROWN EN 1827, ES EL MOVIMIENTO ALEATORIO QUE SE OBSERVA EN DIFERENTES PARTÍCULAS MUY PEQUEÑAS INMERSAS EN UN FLUIDO.

desconocidos, varios físicos y químicos importantes, entre los que se encontraban Mach y Ostwald, no aceptaban la existencia de los átomos. Años atrás (1837), el destacado científico francés Dumas dijo: “Si estuviera en mis manos borraría la palabra *átomo* de la ciencia persuadido de que va más allá de la experiencia.” Sin embargo, el modelo atómico de la materia, extendido por las aportaciones de Boltzmann, permitía explicar convincentemente los experimentos electroquímicos de Arrhenius y los de presión osmótica de Van ‘t Hoff.

No fue sino hasta principios del siglo xx, con los experimentos que el francés Jean Perrin

hiciera sobre el movimiento browniano —y que Einstein explicara—, cuando la comunidad científica aceptó, fuera de dudas, que la materia está formada por átomos. Perrin además determinó de 13 maneras diferentes el número de Avogadro, todas consistentes entre sí, entonces demostró que los átomos se podían contar.

3. Isaac Newton

Uno de los científicos más importantes de la historia fue un alquimista. A esta disciplina, iniciada en Alejandría hace miles de años, se le simplifica enormemente al definirla como aquella que buscaba convertir los diferentes metales en oro. Pero es mucho más, aunque algunos pseudocientíficos se esconden en ella para sostener ideas insostenibles.

A pesar de que a muchos científicos les cuesta aceptarlo, relativamente recientes publicaciones sobre las obras científicas completas de Newton indican que él dedicó más tiempo al estudio de la alquimia que a las leyes de la física que enunció o que al cálculo que desarrolló.

Una de las evidentes carencias de la postura positivista es aislar a los científicos del entorno social en el que se desarrollaron y presentarlos

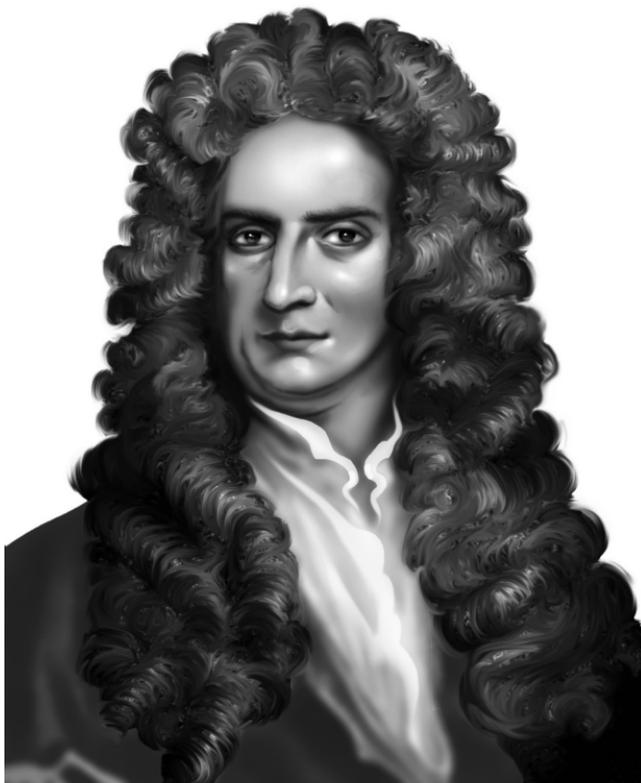


FIGURA 39. SIR ISAAC NEWTON.

a la posteridad como héroes inmaculados, “padres” de sus respectivas ciencias. Ni Newton fue el padre de la física, ni Lavoisier el padre de la química, ni Galileo el padre de la ciencia. Cada una de las ciencias es el resultado del trabajo, la discusión, el consenso de multitud de actores;

algunos, sí, más importantes que otros, pero ninguno indispensable. Cada individuo pertenece a su tiempo histórico. En el tiempo y lugar en el que vivió Newton, la alquimia era una actividad muy interesante y potencialmente productiva, por lo que fue prohibida por el Vaticano, y practicada —como lo hizo Newton— ¡a escondidas!

4. Instrumentos y descubrimientos

Los instrumentos científicos son fundamentales para la práctica de las ciencias, a pesar de que en muchos libros sobre las mismas se les ignora. Mientras que la mayoría estaría de acuerdo con que los telescopios, los termómetros, las balanzas o los microscopios son instrumentos científicos, hay casos, como el de algunas bacterias o el de los disolventes químicos, que no logran consensos. Recientemente su papel se ha venido destacando por los postpositivistas. Uno de ellos ha indicado: “Los instrumentos no están en el sótano intelectual; ocupan el mismo piso que nuestras mayores contribuciones teóricas para comprender el mundo.”

Por ejemplo, con el instrumento llamado tubo de rayos catódicos, el inglés Joseph John Thomson descubrió, a finales del siglo XIX, que los áto-

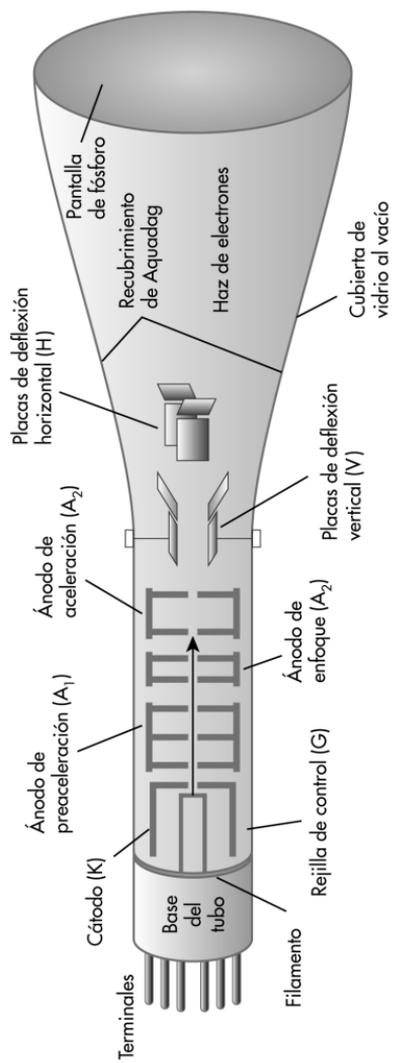


FIGURA 40. TUBO DE RAYOS CATÓDICOS.

mos contenían una partícula aún más diminuta, que fue bautizada como *electrón*.

Para que alguien se haga merecedor de haber descubierto algo, se tienen que cumplir las siguientes tres condiciones:

- Es necesaria la existencia de lo que se descubre.
- Se requiere cierto estado de conocimiento del descubridor.
- Se exige el reconocimiento social del descubrimiento.

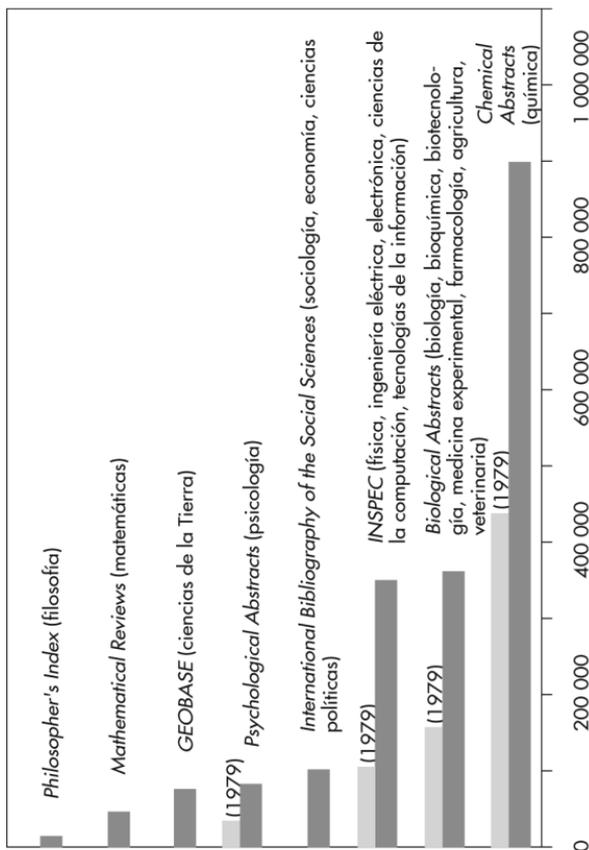
5. Publicaciones de las ciencias

Como se indica en la figura 8 de la página 46, el filtro del conocimiento nos lleva del conocimiento subjetivo y no confiable —derivado de los celos, la ambición o la locura— al conocimiento confiable y objetivo, que queda plasmado en los libros de texto de las diversas ciencias. Estos libros recogen la información probada y aceptada socialmente, proveniente de artículos originales publicados en revistas especializadas.

A continuación se muestra el número de publicaciones escritas por casi todos los científicos del mundo en el año 2006, recopiladas en las respectivas bases de datos de las diferentes ciencias. Como se puede ver, el número de publicaciones de las ciencias de la Tierra es menor que el de

las ciencias físicas o biológicas, mientras que las publicaciones de química son equivalentes a las de todas las otras ciencias ¡juntas!

Gráfica 1. Publicaciones científicas en 2006



6. Experimento de Urey-Miller

Darwin planteó que la evolución de los seres vivos resultaba de la interacción con el ambiente donde habitan y de los cambios que surgen, de manera natural e impredecible, en estos seres cuando se adaptan a dicho entorno. Esta poderosa idea ubicaría a los seres humanos entre los

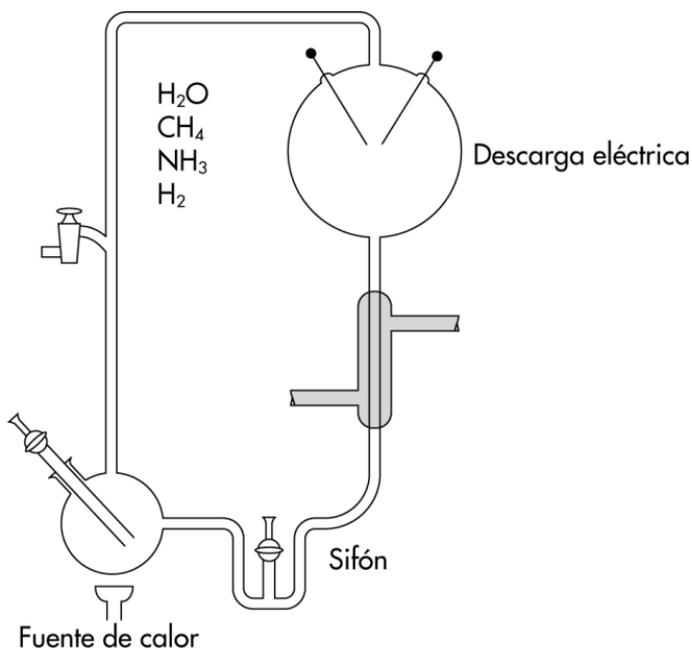


FIGURA 41. APARATO PARA EXPERIMENTO DE UREY-MILLER.

animales que habitan la Tierra, negando así su ascendencia divina, e indicaría el mecanismo que hace avanzar a la evolución.

Había que buscar el principio, y en 1924 el soviético Aleksander Ivanovich Oparin indicó que la composición química de la atmósfera primitiva era muy diferente de la actual, y que de sus componentes, influidos por las fuertes radiaciones que entonces llegaban a la superficie terrestre, era posible que se formaran las moléculas necesarias que sustentan la vida. Lo anterior fue demostrado experimentalmente por el estadounidense Stanley Miller en 1953 al aislar diversos aminoácidos, los constituyentes de las proteínas, empleando el aparato de la figura 41.

■ 7. Ciencias y tecnologías... ¿tecnociencias?

Ya desde el siglo pasado se reconoció que muchas de las actividades que realizaban los científicos podrían considerarse tecnológicas. Así se fue consensando el llamado *cuadrante de Pasteur*, que en un eje clasifica la investigación respecto a la búsqueda de conocimiento fundamental — como lo hace la astronomía o la física de partículas elementales— y en el otro cuadrante hace una clasificación respecto a su uso. Luis Pasteur,

el científico y tecnólogo del siglo XIX de origen francés, da su nombre al cuadrante porque en su actividad profesional cultivó ambos terrenos. Desarrolló la microbiología, identificó la isomería óptica y resolvió problemas de la industria francesa de alimentos de su tiempo, por ejemplo, a partir del proceso de pasteurización.

En el cuadrante se identifican cuatro categorías generales a través del nombre de un personaje famoso. En la actualidad las preguntas de las ciencias, que parecían diferentes de aquellas de las tecnologías, difícilmente pueden ser respondidas de forma aislada, por lo que muchos filósofos e historiadores de las ciencias y de las tecnologías ya las consideran integralmente en una sola actividad, que se conoce como *tecnociencias*.

Tabla 4. Cuadrante de Pasteur		
Busca conocimiento fundamental	Considera el uso	
	No	Sí
	Sí	Bohr Investigación pura
No		Edison Investigación aplicada

8. Genética vs. cultura

Genética	Cultura
La mayoría de las conductas son genéticas. Los genes del habla, la empatía y el altruismo evolucionaron cuando éramos caza-recolectores en las llanuras africanas.	Las pruebas de ese estilo de vida antiguo son puras conjeturas.
La prueba está en el cerebro, ya que ha desarrollado "módulos" para todas las habilidades humanas, ¡incluso para la experiencia religiosa!	Esas "estructuras" podrían ser simplemente proyecciones de la interpretación humana en el cerebro. La conducta no ha evolucionado genéticamente, se aprende.
Los criadores de animales saben que sólo son necesarias unas generaciones de apareamiento controlado para influir en conductas como la fiereza o la docilidad.	Puede que con perros sí, pero ¿con conductas humanas complejas como el talento musical o el humor? Esas se aprenden. De hecho, se sabe que el aprendizaje modifica la estructura física del cerebro. Demasiado para los genes.
Pero ¿unos padres inteligentes no transmiten los genes de un alto cociente intelectual? Los gemelos separados al nacer suelen ser increíblemente parecidos en inteligencia y personalidad, incluso si no se conocen. Esto demuestra que la genética influye en todo. ¡Incluso en los gustos musicales!	Sí, pero si todo fuera cosa de genes, sería de esperar que los gemelos fueran 100% iguales. Puede que las cifras respecto al cociente intelectual sean altas, pero son más que inexistentes en lo relativo a otros rasgos como la personalidad.

(continúa)

Pero los gemelos que se crían separados son más parecidos, incluso si no se conocen. Esto supone que los genes deben determinar nuestra personalidad.

Muchos estudios sobre gemelos son deficientes y parciales. Suelen limitarse a comparar gemelos separados al nacer. No “controlan” a la gente no emparentada del mismo entorno que los gemelos para comprobar que la edad, el género, la raza y el entorno cultural tampoco influyen en su personalidad. Todo es parcial.

Adaptado de David McCandless, *La información es bella*, Barcelona, RBA, 2010.

Apéndices

1. Algunas preguntas en busca de respuesta

El origen del universo. ¿Qué había antes de los 13 800 millones de años de su existencia? ¿Por qué no podemos hablar del tiempo antes de la gran explosión?

¿Cuándo empieza la vida? ¿Cuándo un ser está vivo? ¿En la fecundación, en el nacimiento? ¿Los virus cristalizados están vivos? ¿Hay vida extraterrestre?

¿Cómo pensamos? ¿Qué son las ideas? ¿Cómo las tenemos? ¿Cómo las olvidamos? ¿Los animales piensan? ¿Tienen conciencia de su existencia?

2. Algunas características de las ciencias

Los modelos

La actividad científica consiste, fundamentalmente, en la construcción y validación de modelos; modelar es construir modelos.

La palabra *modelo* es polisémica: se ha empleado y se emplea aún con sentidos diversos. Por un lado es “ejemplar”, es decir, indica aquellas cosas, actitudes o personas que se propone imitar. La valentía de un guerrero, la inteligencia de un sabio, la solidaridad de un médico, la velocidad de un corredor o la belleza de una mujer son ejemplos de modelos en este sentido. En el siguiente texto se emplea la palabra *modelo* en su otro y también generalizado sentido:

Los modelos (m) son representaciones internas o externas, basadas generalmente en analogías, que se construyen contextualizando cierta porción del mundo (M), con un objetivo específico.

En esta definición todas las palabras son importantes: las *representaciones* son fundamentalmente ideas, aunque no necesariamente, ya que también pueden ser objetos materiales. Las representaciones no son por sí mismas, y valga la redundancia, autoidentificantes. Éstas lo son de alguien, ya sea una persona o un grupo (generalmente este último), que las identifica como tales.

Una *analogía* está constituida por aquellos rasgos o propiedades que sabemos similares en (m) y (M).

“Que se construyen contextualizando” remite a un tiempo y lugar históricamente definido, lo que además enmarca la representación; “cierta porción del mundo” indica su carácter limitado, los modelos son, respecto al mundo, parciales. Generalmente son más sencillos, pero no por entero, de manera que se pueden derivar hipótesis (o predicciones) del mismo y someterlas a prueba. Los resultados de las pruebas dan nueva información sobre el modelo.

“Un objetivo específico” establece su finalidad, general, pero no necesariamente: el explicar, y sobre todo predecir. Hay que recordar que la explicación es una de las más significativas características de las ciencias, pero que en determinados casos, aun sin poder del todo explicar una buena parte de su prestigio, radica en predecir.

Los modelos pueden ser internos o externos. Los *modelos externos* son a los que tenemos acceso empírico y han sido construidos para comunicarse con otros individuos. Los modelos externos pueden ser, a su vez, simbólicos, experimentales o icónicos.

Los *modelos internos* (o mentales) son representaciones plasmadas en la memoria episódica (aquella de largo plazo, explícita y declarativa) y que fueron construidos por nosotros para dilu-

cidar, explicar o predecir una situación. Dichos modelos son los precursores de las conocidas “ideas previas” o concepciones alternativas, y en ocasiones pueden ser equivalentes. Son inestables, al ser generados en el momento y descartados cuando ya no son necesarios; cognitivamente serían modelos de trabajo “desechables”. Hoy sabemos que algunos animales tienen la capacidad de construirse mentalmente modelos internos.

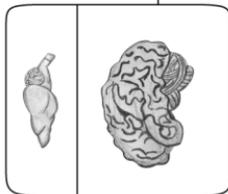
Los modelos externos son los modelos internos expresados a través de un lenguaje específico, como el de las matemáticas o el de la química. Hablamos entonces de modelos externos simbólicos y que son, cuando los símbolos corresponden a las matemáticas, aquellas ecuaciones construidas para describir precisamente la porción del mundo que se está modelando. Otro ejemplo de modelo externo simbólico es con el que los químicos representan elementos, compuestos y reacciones.

Los modelos externos también pueden ser experimentales, como las ratas macho Sprague-Dawley que se utilizan de manera estandarizada en las investigaciones biomédicas para modelar enfermedades o la acción de posibles remedios para las mismas. Modelos externos experimentales también lo son los aparatos,

La química crea su propio objeto.
M. Berthelot



Una experiencia no es la que le sucede a un hombre; es lo que un hombre hace con lo que sucede.
A. Huxley



Mundo real

Contrahe, encoje, suma y cambio

Modelos externos

Modelos internos

Recolección de datos y construcción

Si puedes rociarlos, entonces son reales.
I. Hacking

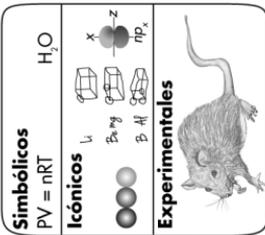


FIGURA 42. EL COMPLEJO Y DIVERSO "MUNDO REAL" DEL CUAL, A TRAVÉS DEL PROCESO DE MODELAJE (EN FLECHAS), SE CONSTRUYEN EN UN INICIO MODELOS INTERNOS Y POSTERIORMENTE MODELOS EXTERNOS.

como el famoso de Urey-Miller (sobre las condiciones originales de la atmósfera terrestre que permitieron la generación de aminoácidos) o el *tokamak* (en los que se estudian las reacciones de fisión que se producen en las estrellas); con ellos se realizan experimentos que simulan un determinado aspecto del mundo. Algunos de los modelos externos experimentales, en particular aquellos derivados de los experimentos químicos o nucleares, pueden modificar el mundo real.

Así, a partir de las preguntas sobre el mundo real, se deriva la construcción de un primer modelo: un modelo interno o mental. Esta actividad de modelaje privada se representa con una flecha que une ambos cuadros en la figura anterior y tiene dos puntas, porque asume que las preguntas dependen de la estructura mental del individuo que las realiza, y por otro lado, defiende la postura empirista de acuerdo con la cual la representación depende en su totalidad de los datos obtenidos a partir de la percepción del mundo. Hay que recordar que los modelos se construyen contextualizando una determinada porción del mundo con un objetivo específico. No hay ni reglas ni métodos para aprender a hacerlo, pero sin duda se requiere de dos condiciones:

- *conocimiento* (para saber hasta donde sea posible cómo es esa porción del mundo), e
- *imaginación y creatividad* (para diseñar virtualmente el modelo compatible con esa porción del mundo de acuerdo con el objetivo establecido).

El segundo paso en el modelaje consiste en expresar el modelo interno construyendo un modelo externo. La expresión es, comparada con la riqueza y diversidad del modelo interno, necesariamente limitada. El sujeto (S) que está modelando considera los aspectos más relevantes del modelo interno, recolecta datos, corrige, recomienza, afina y, por último, llega a una versión final del modelo externo. Aquí se promueve una primera discusión entre los diversos constructores del modelo. Es un proceso de ida y vuelta que se desarrolla generalmente contestando las pregunta ¿qué pasaría si? o ¿cómo explicar esto? De allí que la flecha que une ambos cuadros y que caracteriza el proceso del modelaje también sea bidireccional.

Finalmente, el modelo externo debe ser sometido a la prueba más importante, que es la del experimento real, siempre y cuando éste sea posible. El contraste y encaje entre el modelo externo y el mundo real, en el proceso de mode-

laje, implica la observación del modelo externo y la conducta del objeto, fenómeno o sistema de referencia. Es una observación pública (indicada con una flecha también bidireccional) una vez que como resultado de la misma se pueden realizar adecuaciones al modelo externo para que encaje de la mejor manera con el mundo real. En el encaje se prioriza la calidad de la explicación y de las predicciones hechas por el modelo. Aquí, dependiendo de la postura filosófica de la persona o la comunidad que construyó el modelo, se puede ser más o menos estricto. A un modelo externo le puede quedar bien a cierta realidad concreta, tal y como una camisa le puede quedar bien a una persona y mal a otra.

Así, si el modelo encaja satisfactoriamente con la porción del mundo (M) que se identificó previamente (objeto, fenómeno o sistema) de acuerdo con el objetivo establecido, una importante y última pregunta que deben hacerse los constructores del modelo (m) es si éste puede extenderse o no a otras porciones del mundo. Lo anterior sin olvidar que al final se puede tener más de un modelo (m1, m2, m3...) de diferente complejidad para la misma porción del mundo modelada.

Algunas predicciones derivadas de modelos usados en los grandes temas de materia, tiempo y sociedad

a) Si los modelos que explican el comportamiento de la materia indican que está formada por átomos separados entre sí, y éstos a su vez son prácticamente espacio vacío, la materia debe poder comprimirse.

b) Si las moléculas son agregados de átomos, así como las palabras son agregados de letras, debe haber moléculas diferentes para las mismas combinaciones de átomos.

c) De acuerdo con el modelo de placas tectónicas utilizado en la explicación de los volcanes y terremotos, éstas se siguen moviendo.

d) El DDT es un insecticida que mata a los mosquitos y se usa ampliamente, al menos desde 1950. De acuerdo con la teoría de la evolución, algunos mosquitos debieron haber mutado y debieron haber sobrevivido aquellos que se hicieron resistentes al DDT.

e) El aprendizaje es un proceso cultural y no genético.

f) La población humana seguirá creciendo a lo largo del siglo XXI.

Algunas respuestas basadas en observaciones y experimentos

a) Así es, ya desde el siglo pasado un grupo de químicos y físicos demostró que cuando aproximadamente 20 mililitros de agua en estado líquido (el agua no es un átomo, es una molécula, pero para el caso es lo mismo) se evaporaban, es decir, se convertían en gas, ocupaban un volumen mil veces mayor, es decir, un poco más de 20000 mililitros, que corresponden a 20 litros. Los gases se comprimen en líquidos y éstos a su vez en sólidos, que generalmente ocupan volúmenes cada vez menores. Por otro lado, los físicos han estimado que la compresión de la materia en una estrella de neutrones es tal que un mililitro o un centímetro cúbico pesa unos ¡500 millones de toneladas!

b) Efectivamente, igual que con tres letras: *r, i* y *o* se puede escribir *río* u *oír*, y con *a, e, c, n* y *r* se puede escribir *cenar, nacer, carne* y *renca*, con los mismos átomos se pueden construir moléculas completamente diferentes, llamadas *isómeros*.

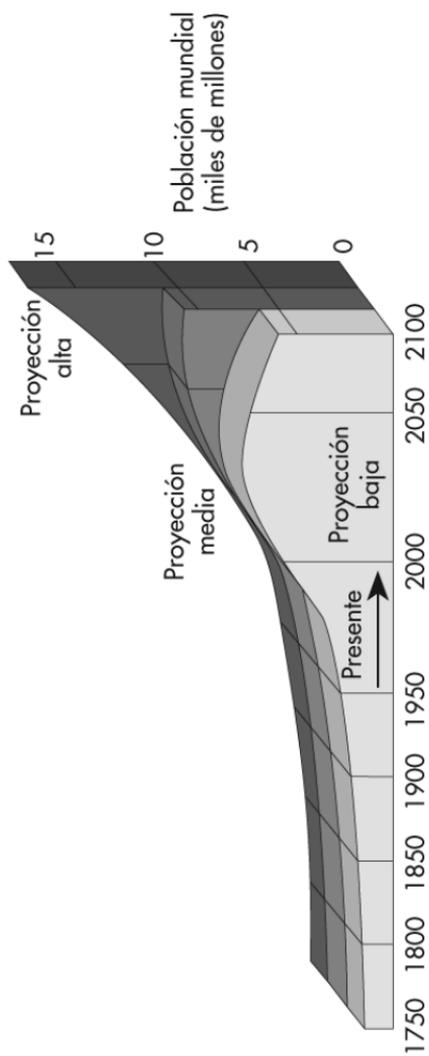
Éstos tienen propiedades completamente diferentes: algunos huelen, otros no; algunos son explosivos, otros no; algunos (como la talidomida) causan enfermedades, otros no.

c) El movimiento de las placas tectónicas se puede medir. Las placas en las que están América del Norte y del Sur se están separando de las que contienen a Europa, Asia y África a una velocidad de dos centímetros por año.

d) Efectivamente, hoy muchos mosquitos en todo el mundo son inmunes al DDT. Algo parecido pasa con las infecciones producidas por bacterias, que requieren el uso de nuevos antibióticos para controlarlas, ya que muchas bacterias son inmunes a la penicilina.

e) Una de las respuestas más interesantes en este terreno se deriva del trabajo del premio nobel Konrad Lorenz sobre el aprendizaje de los patos por “impresión”, es decir, aquel que se obtiene en un tiempo muy corto en los primeros días de vida: los patos y otros animales se relacionan específicamente y de manera casi irreversible con el primer objeto grande en movimiento que ven después de romper el cascarón.

Gráfica 2. Crecimiento de la población



f) Para responder esta pregunta se han construido tres modelos. El primero considera que las familias tendrán dos hijos; el segundo que tendrán menos; y el tercero que tendrán más. Así, las poblaciones esperadas para cada modelo son aproximadamente 11 000 millones, 6 000 millones y 16 000 millones de personas.

3. Otras características, o mejor dicho, y perdonando la ligereza, “anticaracterísticas” de las ciencias

Las ciencias *no* son democráticas

El conocimiento científico, como la mayoría de los saberes, no es democrático. Si estuviera sujeto a votación, la Tierra sería plana y estaría inmóvil con el Sol girando alrededor de ella; las moscas nacerían de la suciedad; no existiría el vacío y la materia sería continua.¹⁶

Las ciencias no dependen de la cantidad de dinero de una sociedad

El hecho de que ya tengamos muy buena investigación, pero aún carezcamos de una visión de la realidad que nos permita desarrollar la ciencia, no parece depender de un mero detalle de presupuesto. Como dice Marcel Roche

(1971): “El aporte de plata peruana y mexicana al imperio español, indica que la inyección de dinero al oscurantismo no produce ciencia.” Un hecho más actual y a mano es que las enormes acumulaciones de petrodólares no impiden que algunos países islámicos continúen arrancándole el clítoris a millones de mujeres, vedándoles el acceso a la educación y privándolas de otros derechos humanos.¹⁷

Las ciencias no tienen más autoridad que el propio conocimiento

Si hoy un investigador quiere convencer a sus colegas de que existe tal o cual enzima, partícula subatómica, galaxia o documento histórico, no insiste con su palabra, no recurre a la vehemencia de sus declaraciones ni al peso institucional, sino que simplemente expone sus puntos de vista y evidencias... y se aparta.¹⁷

Lo que contrasta con:

De modo que para decidir si esa investigación que permite Ignacio [de Loyola] es parte de la ciencia, oigamos sus propias palabras: “Debemos estar siempre dispuestos a creer que lo que aparece blanco es realmente negro, si la jerarquía de la Iglesia así lo decide.”¹⁷

Las ciencias no se construyen por decreto de un día para otro

Para crecer, las ciencias requieren del cultivo cuidadoso de muchas otras actividades. En tiempos como los que hoy nos toca vivir, donde como siempre es más fácil destruir que construir, en ello estriba su fragilidad.

[...] los investigadores latinoamericanos publican sus artículos en las mejores revistas del mundo [...] y logran todo tipo de distinciones, incluido el famoso Premio Nobel. Para equipararse, nuestros industriales deberían fabricar coches, aviones, fotocopiadoras y cámaras fotográficas de calidad tal que pudieran competir en el mercado internacional con los Mercedes Benz, Boeing, Xerox y Nikon. La historia y la sociología de la ciencia demuestran que, casi sin excepción, todo investigador ha sido formado por otro investigador y que las comunidades científicas de los países del primer mundo derivan de algún semillero fértil [...] México, Brasil, Chile, Argentina y otros países del tercer mundo han tenido la capacidad de producir semilleros de ese tipo.¹⁷

Lo anterior, cuando han tenido las condiciones materiales y el tiempo suficiente para hacerlo.

Así, contrariamente a la idea romántica de la ciencia positivista y que se sigue enseñando en

la mayoría de las aulas, lo que hoy se desarrolla en muchos países industrializados no son las ciencias, sino la tecnociencia, caracterizada por los filósofos de la siguiente manera:

- Las tecnociencias, como las ciencias, también se enseñan públicamente, pero, a diferencia de estas últimas, el conocimiento y la práctica tecnocientíficos tienden a privatizarse.
- Las tecnociencias no sólo son un instrumento de dominio y transformación de la naturaleza, sino también de las sociedades.
- Las tecnociencias se insertan en un nuevo sistema de producción, al que podemos denominar posindustrial (sociedad del conocimiento y de la información).
- Las tecnociencias no se reducen a la razón pura (episteme), sino que son, además, una modalidad de la razón práctica, puesto que transforman el mundo conforme a criterios, métodos, acciones y objetos discutibles racionalmente.

Las ciencias no son ni la anciana ni la joven de la portada

Cayeron muchas manzanas de los árboles, delante de muchas personas, en otros tantos países, antes de que Newton se preguntara por qué esto era así. Aquella manzana no era ni mejor

ni peor que otra, ni más roja ni más sabrosa. Fue diferente. Newton vio en aquella manzana la fuerza de la gravedad. Esa manzana era y es, como nuestra portada, como las ciencias, como la materia y el tiempo, como nosotros mismos... ¡una tremenda paradoja!

—Le debemos la emancipación a la química —siguió diciendo—. Todo cuanto existe es un cambio de concentración de los iones de hidrógeno en las células superficiales del cerebro. Al mirarme, en realidad experimenta usted un cambio de equilibrio sódico potásico en las membranas de los neurones. Así que basta mandar en las honduras cerebrales unas moléculas bien elegidas para que se colme un sueño. Además, usted ya está muy bien enterado de ello —terminó diciendo en voz baja. Y sacó de un cajón un puñado de píldoras de color, parecidas a unos bombones. [...]

Los narcóticos no separan al hombre del mundo, sólo modifican su relación con el mismo. Los alucinógenos enturbian y velan todo el mundo. Ya se convenció usted mismo de ello. En cambio, los maskones falsifican el mundo.

—Maskones, maskones... —repetí—, creo conocer esa palabra. ¡Ah, ya veo! Se trata de una masa concentrada bajo la corteza de la Luna, unos minerales muy densos, pero ¿qué tienen en común?...

—Nada en absoluto, por cuanto esa palabra cobró otro sentido. Maskones viene de máscara. Al introducir en el

cerebro los adecuados maskones sintetizados, es posible velar un determinado objeto del mundo exterior con unas imágenes ficticias hasta el extremo que el individuo enmaskonado ya no sabe lo que es real ni lo que es ilusorio. [...]¹⁸

¿Cómo ves?

Bibliografía

- ¹ Boorstin, D. J., *Los descubridores*, Barcelona, Crítica, 1986.
- ² Boorstin, D. J., *Los creadores*, Barcelona, Crítica, 1994.
- ³ Zajonc, A., *Atrapando la luz. Historia de la luz y de la mente*, Santiago de Chile, Andrés Bello, 1993.
- ⁴ “Narración escrita por un testigo ocular de la demostración de las propiedades anestésicas del éter en 1850”, en F. R. Moulton y J. J. Schiffers, *Autobiografía de la ciencia*, México, Fondo de Cultura Económica, 1986.
- ⁵ Chamizo, J. A., *Cómo acercarse a la química*, México, Esfinge, 2006.
- ⁶ Malthus, T., “Ensayo sobre el principio de la población”, en F. R. Moulton y J. J. Schiffers, *Autobiografía de la ciencia*, México, Fondo de Cultura Económica, 1986.
- ⁷ Chamizo, J. A., “Sobre el experimento químico”, en *La Gaceta del Fondo de Cultura Económica*, núm. 486, junio de 2011.

- ⁸ Davies, P., *Superfuerza*, Barcelona, Salvat, 1985.
- ⁹ Pérez Tamayo, R., *Cómo acercarse a la ciencia*, México, Conaculta/Noriega, 1989.
- ¹⁰ Bunge, M., *A la caza de la realidad. La controversia sobre el realismo*, Barcelona, Gedisa, 2008.
- ¹¹ Sagan, C., *El cerebro de Broca. Reflexiones sobre el apasionante mundo de la ciencia*, México, Grijalbo, 1974.
- ¹² Hamburger, J., *La miel y la cicuta. Sobre la diversidad de los seres vivos*, México, Fondo de Cultura Económica, 1986.
- ¹³ Augé, M., *El tiempo en ruinas*, Barcelona, Gedisa, 2008.
- ¹⁴ Claxton, G., *Educación de mentes curiosas*, Madrid, Visor, 1994.
- ¹⁵ Einstein, A., *Mi visión del mundo*, Barcelona, Tusquets, 1980.
- ¹⁶ Chamizo, J. A., "Editorial", en *¿Cómo ves?*, año 1, núm. 9, agosto de 1999.
- ¹⁷ Cerejido, M., *Por qué no tenemos ciencia*, México, Siglo XXI, 1997.
- ¹⁸ Lem, S., *Congreso de futurología*, Madrid, Alianza Editorial, 2005.

Lecturas recomendadas

Además de las referencias, si quieres saber más acerca de lo aquí presentado, puedes consultar los siguientes libros:

Bachelard, G., *La formación del espíritu científico*, México, Siglo XXI, 2000.

Bernal, J. D., *La ciencia en nuestro tiempo*, México, UNAM/Nueva Imagen, 1981.

Chalmers, A. F., *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*, México, Siglo XXI, 1995.

Chamizo, J. A., *De la paradoja a la metáfora*, México, Siglo XXI, 2013.

Hacking, I., *Representar e intervenir*, México, Paidós, 1998.

Russell, B., *La perspectiva científica*, México, Ariel, 1982.

¿Cómo ves? Las ciencias, editado por la Dirección General de Divulgación de la Ciencia y la Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial de la UNAM, se terminó de imprimir el 8 de noviembre de 2014 en los talleres de Offset Rebosán, S. A. de C. V., ubicados en Acueducto 115, col. San Lorenzo Huipulco, Del. Tlalpan, C. P. 14370, México, D. F.

La edición estuvo al cuidado de Rosanela Álvarez, Paula Buzo y Kenia Salgado. En la impresión de interiores se usó papel Bond de 90 g y en los forros cartulina Couché de 250 g en offset. En su composición se usaron tipos Times New Roman, ITC Veljovic, Arial y Óptima de 7, 9, 12 y 16 puntos. El tiraje fue de 2000 ejemplares.

