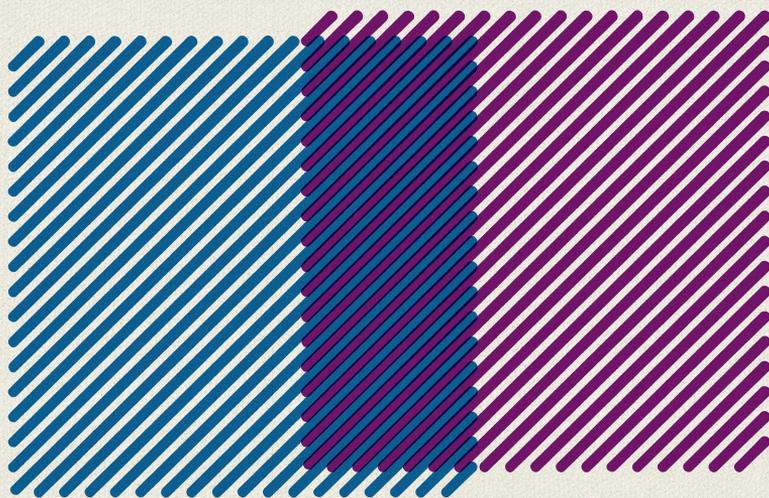


COLECCIÓN ENTRECruzADOS

# De las cosas de la naturaleza y de la naturaleza de las cosas

(de la ciencia a la metafísica)



**Javier Montserrat**

**Mario Lipsitz**

EDICIONES **UNGS**



Universidad  
Nacional de  
General  
Sarmiento



**De las cosas de la naturaleza  
y de la naturaleza de las cosas**  
(de la ciencia a la metafísica)

---

Montserrat, Javier

De las cosas de la naturaleza y de la naturaleza de las cosas : de la ciencia a la metafísica / Javier Montserrat ; Mario Lipsitz. - 1a ed. - Los Polvorines : Universidad Nacional de General Sarmiento, 2018.

336 p. ; 24 x 17 cm. - (Entrecruzados ; 1)

ISBN 978-987-630-332-3

1. Big Bang. 2. Filosofía. I. Lipsitz, Mario II. Título

CDD 570.1

---

## EDICIONES UNGS

© Universidad Nacional de General Sarmiento, 2018

J. M. Gutiérrez 1150, Los Polvorines (B1613GSX)

Prov. de Buenos Aires, Argentina

Tel.: (54 11) 4469-7507

ediciones@ungs.edu.ar

www.ungs.edu.ar/ediciones

Diseño gráfico de interior y tapas: Franco Perticaro

Corrección: Virginia Avendaño



Licencia Creative Commons 4.0

Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada (by-nc-nd)



Libro  
Universitario  
Argentino

COLECCIÓN ENTRECruzADOS

# De las cosas de la naturaleza y de la naturaleza de las cosas

(de la ciencia a la metafísica)

**Javier Montserrat**

**Mario Lipsitz**

EDICIONES **UNGS**



Universidad  
Nacional de  
General  
Sarmiento



*A mis mujeres:  
Gabriela, Mariana y Clara  
(en estricto orden de aparición).  
Javier*

*A Lici, Paul y Dimi.  
Mario*



*“...como el mundo se repite alrededor de vueltas eternas. Sobre la misma playa, el mar primordial repite incansablemente las mismas palabras y arroja a los mismos seres asombrados de vivir”.*  
Albert Camus. *El hombre rebelde*.

*“Debemos cultivar la filosofía no por las respuestas definitivas que demos a sus preguntas, pues por regla general es imposible corroborar su verdad; la filosofía debe cultivarse por las preguntas en sí mismas, porque estas amplían nuestra concepción de lo posible, enriquecen nuestra imaginación intelectual y minan la seguridad dogmática que impide a nuestra mente abrirse a la especulación”.*  
Bertrand Russell. *Los problemas de la filosofía*.

*“Si Dios existe, somos la mano ganadora de un ludópata”.*  
J. M. M.



## Índice

11	●	Agradecimientos
13	●	-1. Prefacio (a manera de pequeña justificación)
17	●	01. El Big Bang
41	●	02. De las primeras estrellas al resto de la tabla periódica, y de ahí a la aparición de nuestro sistema solar
61	●	03. La sopa primordial
95	●	04. LUCA, nuestro primer ancestro
121	●	05. La explosión de la vida
157	●	06. Lo humano de lo humano
187	●	07. El problema del origen del universo: hacia un escenario de lo posible
221	●	08. De la física a la metafísica
311	●	09. A manera de epílogo



## Agradecimientos

Quisiera en primer lugar manifestar mi gratitud a Mario Lipsitz, quien con mucha generosidad y entusiasmo aceptó el desafío de escribir un texto entre un filósofo y un químico. Mario, he disfrutado mucho de nuestras charlas.

Dado que este libro revela algunas dudas y cuestionamientos que me han acompañado a lo largo de mi vida, quiero agradecer a todos mis maestros, quienes me enseñaron el oficio de pensar y contribuyeron a que crecieran y se desarrollaran esas dudas. También debo dar las gracias a todos mis alumnos, de pregrado, grado y posgrado, que hacen que ese oficio de cuestionar trate de mantenerse vivo.

En términos personales me gustaría agradecer a mis amigos (Pablo, Eugenio y Flavio), que con sus marchas en la montaña me ayudan a volver a lo más sencillo. A Horacio, que leyó con paciencia borradores tempranos de esta aventura y siempre me alentó. A Helena Ceretti por sus constructivos comentarios sobre la primera parte de este libro. A Andrés Espinosa, Gabriela Laster, Virginia Avendaño y, muy especialmente, Franco Perticaro, de Ediciones UNGS, por sus trabajos de edición del texto y los gráficos. A Mariana, que me ayudó en la corrección de estilo del prefacio y del capítulo 9. Finalmente, a mis hijas Mariana y Clara, y a mi mujer, Gabriela, que son el combustible de mi vida.

Javier Montserrat

Javier Montserrat, antiguo habitante, como yo, del pasillo de la planta superior del Instituto de Ciencias de la Universidad Nacional de General Sarmiento (UNGS) –cuya arquitectura nada inocente, que pone codo a codo Química, Filosofía, Sociología, Física, Economía, Matemáticas, etcétera, probablemente estaba a la espera de un pronto triunfo del ecumenismo disciplinar– fue el que concibió este libro. Su invitación a participar en él me halagó y sorprendió. El sentimiento de halago se explica porque la propuesta me era hecha por un reconocido investigador en su campo. La sorpresa fue en cambio doble: sorpresa ante el inesperado movimiento de mi colega que, cruzando espontáneamente el pasillo, llegó a plantear en nuestro viejo Instituto de Ciencias la *interdisciplina*, viejo sueño estatutario de nuestra universidad; sorpresa, por fin, porque al invitarme a participar invitaba a un investigador en temas más afines a la metafísica que a la física o a la química. Lo que, junto con mi ignorancia en cuestiones científicas, explica mi abordaje tan tangencial como, en cierto sentido, “radical” del asunto: la metafísica es la raíz

del árbol cuyo tronco es la física, y las ramas, las diversas otras ciencias, escribía Descartes.

Agradezco a Javier y festejo su idea del libro, el movimiento inesperado y la invitación. Todo fue en beneficio del gran gusto que me ha procurado participar en su proyecto.

Agradezco también a mis colegas Rosa Belvedresi y Patricia Knorr por la lectura atenta que, interrumpiendo sus ocupaciones, han hecho de mi texto.

Mario Lipsitz

-1

# **Prefacio**

(a manera de pequeña justificación)





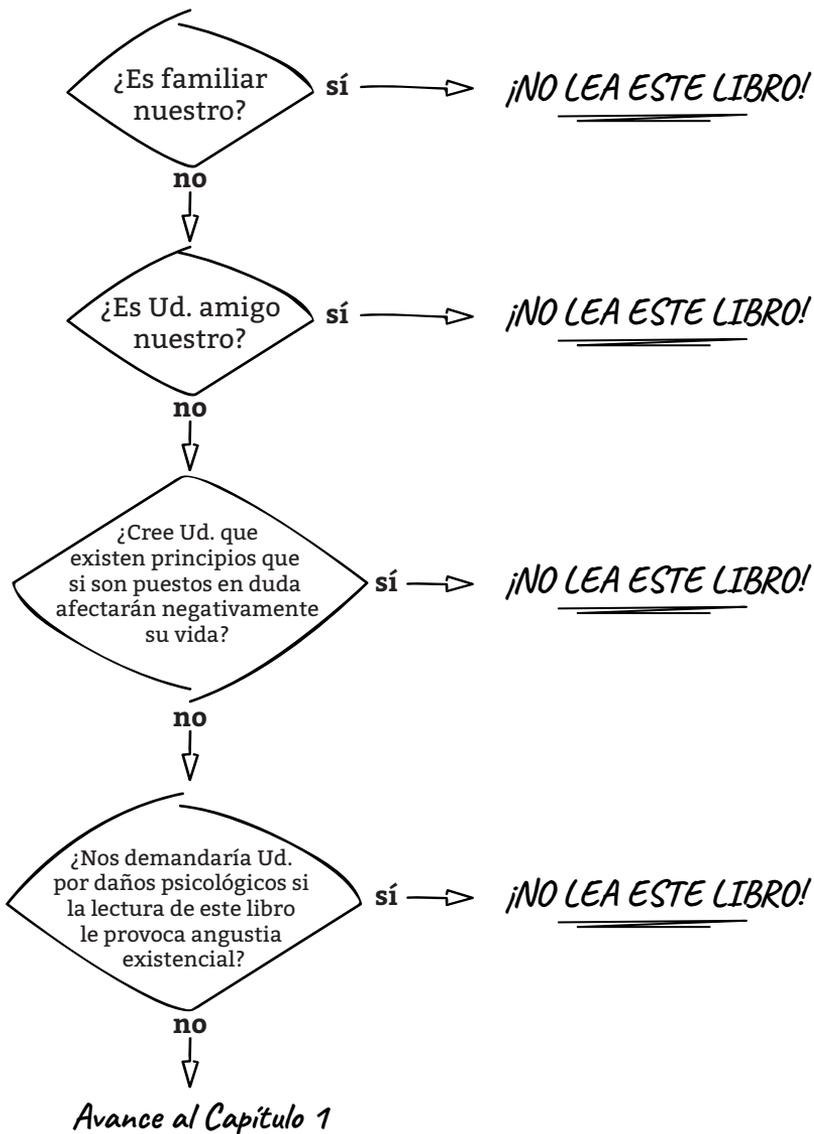
## Advertencia

Debe decirse primero que nos hemos lanzado a la escritura de este libro únicamente por placer y curiosidad. En nada viene a saldar deudas de nuestras vidas académicas, a solventar alguna cuota del contrato universal que, imponiéndosele al investigador, hoy le exige una producción regulada por rigurosos estándares de impersonalidad y de asepsia (que permiten su medida y su puesta en equivalencia). Hemos querido escribir un libro en primera persona. Es cierto que la travesura de espontaneidad que hemos cometido parecerá, a primera vista, muy limitada: es la paradoja de quien en su transgresión hace precisamente lo que se esperaba de él, escribir un libro. Pero la anomalía que justifica nuestro entusiasmo se encuentra dentro de él. Basta con arrojar un vistazo al libro para constatar una singularidad: lo que podría entenderse como dos historias *paralelas* de aquello que deba ser llamado “la realidad”, sucesivamente expuestas y perfectamente incomunicadas entre sí. En una, el científico intenta, con el lenguaje más simple y claro del que dispone, volver al grano cuasi inmaterial, previo a la masa, al tiempo y al espacio, a partir del que todo comienza a suceder: espacio, tiempo, materia, astros y finalmente vivientes; es la historia actual de la naturaleza, en ella el viviente y finalmente el hombre surgen como el último jalón, como emergentes naturales de una naturaleza natural. En la otra historia, el filósofo –generosamente invitado por el científico a reflexionar sobre esta odisea–, también buscando sus palabras más claras en las arcas de la farragosa jerga de la que dispone, cuenta la historia de la relación entre el viviente y la naturaleza. O, lo que es lo mismo, cuenta *una* historia del conocimiento. Pero en esta segunda historia, es la naturaleza y no el viviente lo que surge y no deja de surgir, cambiando constantemente su significado, y lo hace siempre como una naturaleza *humana* y (casi) nada natural. Así es como, en su marcha autista, los autores, escuchándose de soslayo, instruyéndose mutuamente, anticipándose el uno al otro, sospechándose, entusiasmándose, cumplen de a poco el milagro programado de hablar de lo mismo: la creación, la naturaleza, el tiempo, el espacio, la materia, la causalidad, la vida y finalmente el hombre. Y entran en contacto en el último capítulo del libro: allí el soslayo se hace diálogo, cuestionamiento, acuerdo, desacuerdo y, por sobre todo, simpatía por la experiencia compartida por ambos ante lo humano, lo misterioso y lo insondable.

Las inquietudes filosóficas del científico y las inquietudes científicas del profesor de Filosofía fueron el impulso de estas páginas. Fueron escritas pensando en un lector imaginario: muy vagamente instruido en ciencia como el filósofo; vagamente iniciado en filosofía como el científico y, finalmente, curioso como ambos. Esperamos encontrarlo.

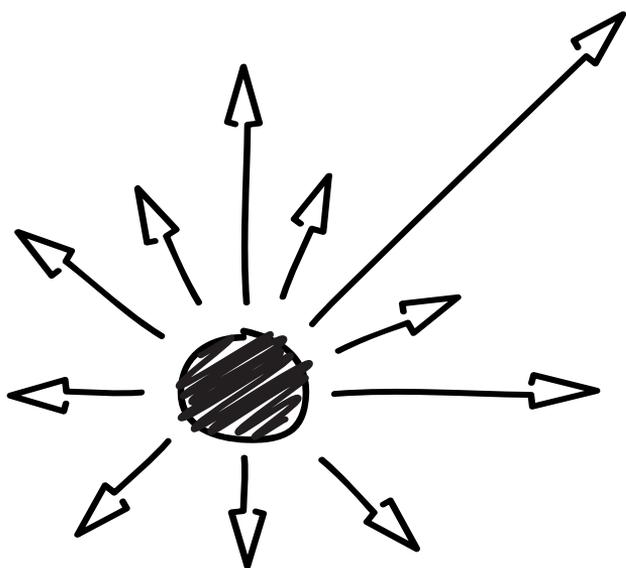
Javier y Mario, Los Polvorines, febrero de 2017

**PD:** Estimado lector, sea usted tan amable de someterse al siguiente cuestionario, por razones de seguridad e higiene:



# 01

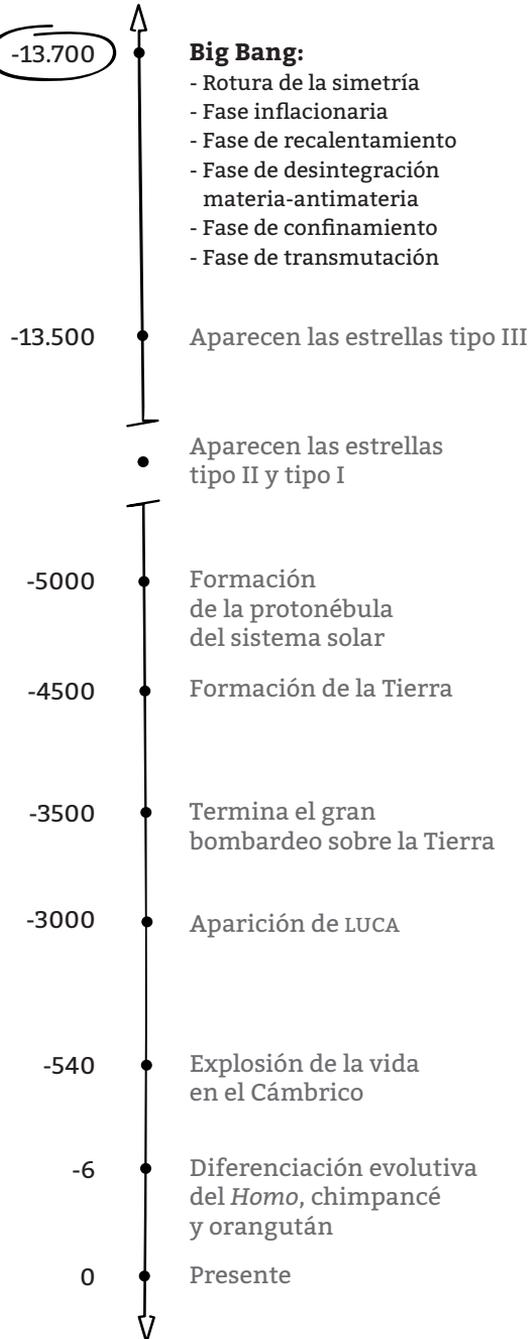
## El Big Bang



# Capítulo 1

Ud. está aquí

→ -13.700



**Tiempo**  
en millones de años

## A manera de introducción

*¿Qué es la astrobiología?, ¿qué estudia la astrobiología?, ¿es una disciplina o una multidisciplina?*

La astrobiología es un campo de la ciencia tan reciente, que su objeto de estudio, es decir, a qué se dedica y cómo es su práctica, seguramente es desconocido para la mayoría de los lectores.<sup>1</sup> La astrobiología estudia el fenómeno de la aparición de la vida en el universo y el conjunto de condiciones necesarias para que esto ocurra. Por supuesto, como hasta el presente el único lugar del universo donde estamos seguros de que hay vida es la Tierra, la mayor parte de los esfuerzos están dirigidos a tratar de entender el proceso de evolución del universo y la aparición de la vida en nuestro planeta. Así, la astrobiología reconoce que hay una línea temporal de complejidad creciente, y propone que la aparición de los seres vivos complejos, como por ejemplo el *Homo sapiens*, tuvo como necesarios una serie de pasos previos para alcanzar este desarrollo. Es decir, lo que esta disciplina propone es que el desarrollo de la vida no solo requiere de un proceso evolutivo en el sentido darwiniano de ese término, sino que además, para que la evolución biológica pueda desarrollarse, debe darse previamente una *evolución cósmica*, en el sentido de la construcción de objetos físicos (átomos, moléculas, estrellas), que siguieron una línea de aparición en el tiempo y que permitieron que en algún lugar se establecieran *las condiciones adecuadas* para que la vida se desarrollara.

Se podrán imaginar que, con un objeto de estudio tan ambicioso, el camino que ha llevado al establecimiento de un campo de investigación para esta disciplina ha sido tortuoso. Comenzó como una preocupación académica hace aproximadamente 50 años, se consolidó impulsado por las necesidades tecnológicas de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio de los Estados Unidos (NASA) de desarrollar sondas que pudieran realizar experimentos para verificar si había vida en Marte, y floreció durante la década de los noventa impulsada por esta misma agencia espacial.<sup>2</sup> Esta disciplina incluso ha tenido un cierto recorrido en América Latina.<sup>3</sup>

---

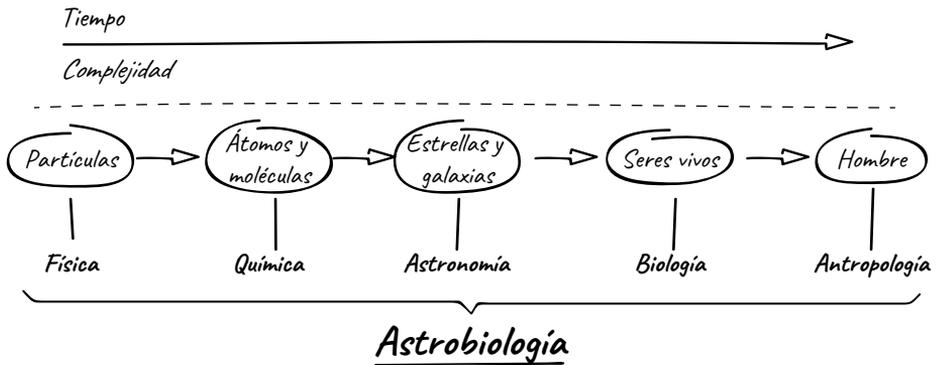
**1** No existe carrera de grado en Astrobiología, solo se dictan algunos programas de doctorado. Ver por ejemplo Universidad de Washington (<http://depts.washington.edu/astrobio/certificate/>); Universidad de Colorado (<http://lasp.colorado.edu/life/>).

**2** Ver página web del NASA Astrobiology Institute (NAI) en: <http://astrobiology.nasa.gov/nai/>

**3** Para una descripción de la evolución del concepto de astrobiología y sus antecedentes en América Latina ver G. A. Lamarchand, G. Tancredo (eds.). *Astrobiología: del Big-Bang a las civilizaciones*, cap. 2, p. 23. Montevideo: UNESCO, 2010.

La astrobiología, es decir, *la comprensión del fenómeno de la aparición de la vida*, necesariamente es una disciplina integradora, que intenta poner en diálogo los aspectos particulares de esa *flecha de complejidad creciente* que es abarcada por distintas disciplinas en distintos puntos. La figura 1 presenta esa doble realidad, la de una línea temporal, que coincide con una línea de complejidad creciente en el universo, y cómo hasta ahora esos *distintos aspectos de la complejidad de la realidad* han sido estudiados desde perspectivas particulares, asociados a objetos disciplinares con recortes claros. Con la expresión de *flecha de complejidad creciente* quiero indicar que en esta historia del desarrollo del universo la realidad física, es decir, aquella que podemos experimentar y medir, se ha vuelto cada vez más compleja. El diccionario de la Real Academia Española define *complejo* como aquello “que se compone de elementos diversos”, y yo agregaría para nuestra definición de complejidad en el contexto de la evolución del universo que esos *diversos elementos* pasan a tener entre sí *mayor cantidad de interacciones*.

**Figura 1.** La astrobiología como una disciplina integradora



Fuente: elaboración propia.

Sin meternos en una discusión filosófica sobre cómo la ciencia occidental ha progresado,<sup>4</sup> es bastante claro que ese avance ha sido posible gracias a la división de la realidad y su profundización en campos particulares. La astrobiología, por la complejidad de su objeto de estudio, ha necesitado en cierta forma hacer un camino inverso al integrar varias disciplinas. No es la primera vez que esto ocurre en la historia de la ciencia, antes ya había pasado con la ecología, o lo que se denomina en términos más generales ciencias ambientales, que hoy integra aspectos de la física, la química, la geología, la climatología y la biología.

<sup>4</sup> Para una discusión detallada sobre una crítica del método científico ver: Gregorio Klimovsky. *Las desventuras del conocimiento científico*. Buenos Aires: AZ Editora, 4ª ed., 1999.

De la misma forma, la astrobiología hoy pivota sobre conocimientos disciplinares específicos de física, química, biología, astronomía, paleontología, antropología y de otras disciplinas, y los alumnos admitidos en programas de posgrado en Astrobiología tienen títulos de grado en alguna de estas disciplinas. Pero lo que se les exige a esos estudiantes es algo más que el conocimiento de su especialidad: se les exige a esos estudiantes que pongan su propia disciplina en diálogo con otras, de manera de poder apreciar esa línea de complejidad creciente tanto en su propia disciplina como al mismo tiempo desde un punto de observación más general. ¡Qué desafío más maravilloso para una universidad que siempre impulsó el estudio integrado de los problemas!

## Alguna evidencia: la ley de Hubble

*¿El universo tiene un comienzo y por lo tanto tiene una edad? Si hubo un comienzo del universo ¿cómo se produjo?, ¿qué partículas aparecieron en el inicio del universo?, ¿cómo podemos explicar todo lo que apareció después?*

Creo que todos hemos escuchado en algún momento de nuestras vidas que el universo comenzó con el Big Bang, y que este hecho singular fue algo parecido a una “explosión”. Bueno, eso nos lo podemos imaginar porque seguramente hemos usado en alguna Navidad o Año Nuevo algo de pirotecnia, y entonces sabemos qué es una explosión. Cuando hacemos estallar un petardo los fragmentos del *elemento explosivo* salen volando desde el punto de la explosión hacia el espacio circundante. Podríamos intentar extrapolar esta imagen al origen del universo y pensar que hubo una explosión provocada por *algún tipo de energía*, y que esa energía hizo que alguna porción de materia saliera *volando* por el espacio. Ahora, ¿esta extrapolación sería acertada, en el sentido de cercana a la verdad? Porque de ser así, hay algunas ideas de nuestra extrapolación que no explicitamos y que deberíamos verificar. En el caso de nuestro petardo navideño, el espacio preexistía (cuando explota un elemento de pirotecnia los pedazos salen volando por el espacio que ya existe), y hay un centro de la explosión (ubicado donde antes estaba el elemento explosivo). Pero si hablamos de una explosión durante el origen del universo, ¿existía el espacio antes del inicio del Big Bang?, y por lo tanto ¿hubo un centro del Big Bang? Las preguntas son inquietantes no solo por su propio valor sino porque encierran una cuestión de carácter superior: ¿las explicaciones en las ciencias naturales responden siempre al sentido común?, quiero decir, ¿lo que ocurre en un tipo de eventos (explosión de un elemento pirotécnico) se puede extrapolar a situaciones de contextos diferentes? Si entendemos por sentido común la experiencia que tenemos de lo cotidiano, veremos que en muchos casos (y por suerte, para diversión de los científicos) debo decirles que el universo es muy loco y que suele hacer gambetas interesantes a eso que denominamos *sentido común*.

Nuestra historia comienza, arbitrariamente (porque al autor se le ocurrió arrancar de aquí ignorando la evidencia previa),<sup>5</sup> con el trabajo de un gran astrónomo: Edwin Hubble. Su nombre tal vez les suene familiar por el telescopio orbital de la NASA, que ha permitido obtener increíbles fotos de partes lejanas del universo. Edwin trabajaba observando el corrimiento hacia el rojo de una serie de estrellas denominadas cefeidas variables, y encontró que el corrimiento hacia el rojo en su espectro de emisión dependía de la distancia. Típico enunciado en un lenguaje científico duro, ascético, sin vueltas, casi zen. ¿De qué se trata?, ¿qué quiere decir esto y qué importancia tiene?

En primer lugar, ¿corrimiento hacia el rojo de una estrella? Todos hemos visto las estrellas de noche y no son rojas sino azules. Las estrellas emiten luz, que es radiación electromagnética, y esa luz puede descomponerse en distintos componentes, cada uno asociado a diferentes frecuencias, de la misma forma que se descompone la luz del sol por la acción de las gotas de agua al formarse un arcoíris. Ese arcoíris de una estrella obtenido en un observatorio astronómico es lo que se denomina *espectro de emisión de una estrella*. El espectro de emisión depende entre otras cosas de qué tipo de átomos y en qué cantidad están presentes en esa estrella. A su vez, el espectro de emisión de un átomo es una característica de ese tipo de átomo, y las frecuencias que tiene asociadas solo dependen de su tipo. Lo que encontró Hubble fue que esas frecuencias no estaban donde debían estar sino que estaban *corridas* hacia valores más bajos (más cercanos al rojo), y que el corrimiento dependía de la distancia a la que se encuentra (o encontraba, luego hablaremos de esto) esa estrella. Ahora, ¿por qué hay un corrimiento en el espectro de emisión de una estrella? La respuesta a esa pregunta originalmente la desarrolló otro importante físico, Christian Andreas Doppler.<sup>6</sup> Seguramente han tenido la experiencia de escuchar la sirena de una ambulancia en la calle, o el bocinazo de un auto acercándose y alejándose de nuestra posición. Si escuchamos con atención, lo que ocurre en ese caso es que el tono (con mayor precisión: la frecuencia) de la sirena o la bocina es más agudo cuando el auto se acerca hacia nosotros y más grave cuando se aleja. Esto se debe a que esa propiedad del sonido, el tono, o en términos generales, la frecuencia, si bien para quien la emite (la ambulancia o el auto) es siempre la misma, para un observador que está parado en la calle varía (por ejemplo, nosotros papando moscas en la vereda). La frecuencia que escuchamos, que se denomina frecuencia aparente, depende no solo de la frecuencia a la que se emite el tono original de la sirena o la bocina en reposo, sino de la velocidad del auto, y si se acerca o aleja de nosotros. Genial ¿no?

Bueno, pero no nos vayamos por las ramas, ¿qué tiene que ver esto con el corrimiento hacia el rojo de nuestro pobre Edwin Hubble? Como la luz es una onda,

---

5 Ver por ejemplo: a) B. Luque, F. Ballesteros, A. Márquez, M. González, A. Agea, L. Lara. *Astrobiología. Un puente entre el Big Bang y la vida*, p. 19. Madrid: Akal, 2009; b) Wikipedia, "Paradoja de Olbers".

6 Material adicional: Wikipedia, "Efecto Doppler".

al igual que el sonido, solo que es electromagnética en su naturaleza, experimenta el efecto Doppler. Edwin encontró que *la cantidad de efecto Doppler experimentado* (y que me perdonen los físicos) tiene algunas características interesantes: todas las estrellas observadas se desplazan hacia el rojo (se alejan de nosotros como cuando la sirena se vuelve más grave) y el corrimiento hacia el rojo depende en forma lineal (es decir, directamente) de la distancia entre la estrella y quien la observa. De hecho, la formulación matemática de esta observación experimental dice lo siguiente:

$$Z = (H_0/c) \times D$$

donde:

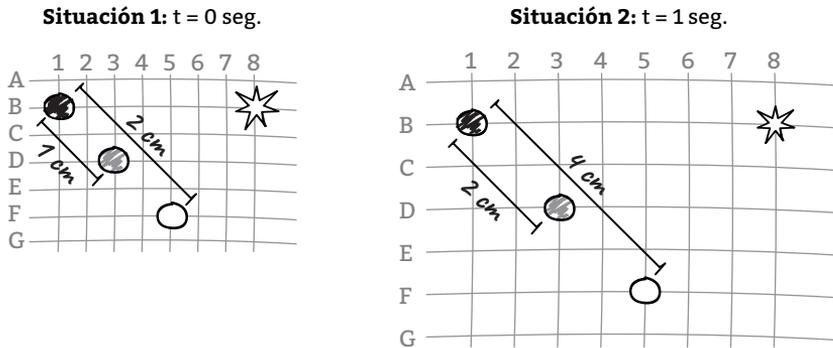
- Z:** es el corrimiento hacia el rojo (como un número adimensional)
- c:** es la velocidad de la luz (aprox. 300.000 km/segundo)
- H<sub>0</sub>:** es la constante de Hubble (aprox. 70 km/segundo / Megaparsec)
- D:** es la distancia entre el observador y la estrella

Como H<sub>0</sub> y c son constantes, lo que esta ecuación quiere decir es que el corrimiento hacia el rojo depende de la distancia a la que la estrella se encuentre. ¿Y esto para qué sirve? Si se puede obtener por otro método un valor preciso de H<sub>0</sub>, y medimos Z, podemos calcular la distancia a la estrella en cuestión. Por otro lado, si conocemos con precisión por un método independiente la distancia a una estrella y determinamos la velocidad a la cual se aleja de nosotros, podremos volver la película hacia atrás y calcular cuándo esa otra estrella estaba en el mismo punto del espacio que nosotros, es decir, el momento en el que ocurrió el Big Bang. Utilizando esta idea, los últimos cálculos realizados indican una edad aproximada para el universo de 13.700 millones de años (1,37 x 10<sup>11</sup> años, que es un uno seguido de once ceros).

Ahora bien, Hubble había encontrado otra cosa interesante y era que todas las galaxias observadas (con excepción de Andrómeda) emitían con corrimiento hacia el rojo, lo cual quería decir que todas las galaxias (con excepción de Andrómeda) se alejan de la Tierra y que la velocidad a la que se alejan depende directamente de la distancia a la que se encontraban de la Tierra, relación conocida como velocidad-distancia. Qué cosa rara, ¿por qué deberían *todas* las galaxias alejarse? Qué descubrimiento notable: en nuestra analogía petardística, eso querría decir que ¡la Tierra está en el centro de la explosión del Big Bang! Claro que no, porque la otra cosa interesante que encontró fue que el hecho de que las estrellas (las galaxias, para ser más precisos) se alejan unas de las otras con una velocidad que aumenta al aumentar la distancia entre las galaxias, se cumple para cualquier par de galaxias tomadas al azar, y no solo cuando se toma como referencia la Tierra. ¡Qué momento!, ¿cómo puedo imaginarme una explosión en la que los fragmentos de *petardo* se alejan unos de otros a una velocidad proporcional a su distancia, y en la que no hay un *centro de la explosión*? ¿Qué representación podemos hacer-

nos de una explosión así? La representación, simplificada para el caso de un plano (es decir, dos dimensiones en lugar de tres) se muestra en la figura 2.

**Figura 2.** Expansión de un plano sin centro de expansión (Big Bang en el plano)



Fuente: elaboración propia.

Imaginemos que tenemos tres puntos alineados sobre una cuadrícula, uno negro, uno gris y uno blanco, como los representados en la figura 2. Supongamos que el círculo gris está a una distancia de 1 cm del negro y del blanco. Lo que nos dice la relación velocidad-distancia de Hubble es que si los círculos fueran galaxias y nos situáramos sobre el círculo negro (sería la Galaxia Negra) deberíamos observar que la velocidad a la cual se aleja el círculo blanco es el doble de la velocidad con la cual se aleja el círculo gris de nuestro punto de referencia (el círculo negro). Ahora hay un problema, porque la relación velocidad-distancia de Hubble nos dice que si nos paramos en el círculo gris y miramos el negro y el blanco, como están a la misma distancia del gris, la velocidad con la cual se alejan del gris debería ser la misma. Una posible solución para nuestro problema sería que el círculo gris estuviera estático (quieto) en un punto, y que el blanco y el negro se alejaran con la misma velocidad (por ejemplo, 1 cm/s), pero en direcciones opuestas. El problema es que el círculo gris no está estático, eso lo sabemos por la determinación de su posición respecto de otros puntos (por ejemplo la estrella situada en B8). ¿Entonces?, ¿cuál es la alternativa? La respuesta es la que se representa en la figura 2 al pasar de la situación 1 (por ejemplo, a tiempo cero) a la 2 (por ejemplo, un segundo después), y que implica que agrandemos todos los cuadrados de la rejilla. ¿Cómo que agrandamos todos los cuadrados de la rejilla?, ¿qué quiere decir esto? Lo que significa es que *estamos creando espacio*. Sí, como lo acabas de leer, en el universo se está creando espacio, el universo se expande y crea espacio entre las galaxias. Una analogía que podríamos imaginar, y de hecho podríamos realizar experimentalmente, es inflar un poco un

globo y con un marcador dibujar un cuadrículado, inflar un poco más el globo y observar qué ocurre con el cuadrículado: por supuesto, el tamaño de las cuadrículas se agranda. ¿Qué importancia tiene esto en términos de la teoría del Big Bang? Lo que significa es que el espacio no es una condición preexistente al Big Bang sino que nace con él. Inquietante idea ¿no?: el espacio comenzó a existir en un momento determinado y se está generando espacio en este mismo instante.

## Más evidencia: la radiación de fondo del universo

Hay otra evidencia experimental importante que respalda la teoría del Big Bang, que podríamos describir metafóricamente así: si esa explosión inicial fue tan intensa, todavía deberíamos poder escuchar su Bang. Ralph Alpher y Robert Herman, colaboradores de George Gamow,<sup>7</sup> quien probablemente fue el primero en darle una forma integrada a la teoría del Big Bang, postularon que luego de la explosión inicial y cuando aparecieron los primeros átomos neutros, una gran cantidad de fotones fueron liberados de la interacción con la materia (liberen al fotón...) y por lo tanto *escaparon*, es decir empezaron a viajar por el universo, porque el universo se hizo *transparente* a la radiación electromagnética.<sup>8</sup> Ahora, todos esos fotones, es decir partículas que componen la luz, ¿adónde fueron a parar? Porque si todavía estuvieran por ahí, el cielo nocturno debería ser mucho más luminoso de lo que es actualmente. Alpher y Herman calcularon que como consecuencia de la expansión del universo los fotones deberían haber disminuido su energía de forma tal que su longitud de onda (que es una medida de la energía) estuviera en la zona de las microondas, lo cual sería suficiente para calentar el espacio exterior a unos 5 K, que vienen a ser -268 °C. La otra condición que debería cumplir este Bang es que debería aparecer en cualquier dirección del universo, porque los fotones originales salieron *disparados* en todas las direcciones. La idea de la existencia de una radiación *de fondo* (porque aparece en todas las direcciones) en la zona de las microondas siguió siendo una postulación teórica hasta que en 1964 los físicos Arno Penzias y Robert Wilson, trabajando en una antena de la empresa Bell ubicada en Holmdel, Nueva Jersey, que intentaban usar como radiotelescopio,<sup>9</sup> tuvieron un problema. No lograban limpiar una extraña señal en la frecuencia de las microondas, que pensaron que podría estar originada por la caca de las palomas sobre la antena. Pero como la señal permanecía aún después de cepillar la antena

7 G. Gamow. "Expanding Universe and the Origin of Elements". *Phys. Rev.* 70, 572, 1946.

8 Esta etapa se denomina "fase de desacople" y la describiremos más adelante.

9 Un radiotelescopio es un instrumento utilizado para "captar" radiación electromagnética proveniente del espacio. La historia de Gamow, Alpher, Herman, Penzias, Wilson es una hermosa historia de olvido, casualidad y encuentros fortuitos digna de una telenovela. Para una muy buena descripción, ver B. Luque, F. Ballesteros, A. Márquez, M. González, A. Agea, L. Lara. *Astrobiología: un puente entre el Big Bang y la vida*, p. 86. Buenos Aires: Akal, 2009.

escrupulosamente, se convencieron de que estaban en presencia de un fenómeno astronómico, que terminó siendo el primer registro de la radiación de fondo de microondas, es decir el Bang con el que nuestro universo comenzó.

Hay un par más de aspectos interesantes respecto del Big Bang. El primero tiene que ver con la afirmación de que gracias al estudio de la radiación de fondo podemos saber que el universo *no está girando sobre sí mismo*. ¿Qué importancia podría tener esto?: pues que todos los cuerpos celestes conocidos, satélites, planetas, cometas, galaxias, tienen movimientos de rotación. El universo no lo tiene, porque si no tendríamos que observar un *efecto Doppler* (acuérdense del punto anterior) sobre la radiación de fondo del universo.

La segunda cuestión interesante es que si bien la radiación de fondo se distribuye homogéneamente en todas las direcciones (los físicos dirían isotrópicamente), el universo original del cual escaparon los fotones no era perfectamente homogéneo sino que tenía zonas que tenían un poco más de densidad que otras (una millonésima más, casi nada), y estas *inhomogeneidades primordiales* de masa fueron las que permitieron que zonas levemente más densas funcionaran como semillas a partir de las cuales se empezó a juntar la materia. De esta forma el universo dejó de tener materia distribuida uniformemente, como si fuera un gran ladrillo, para pasar a tener un aspecto corpuscular, es decir con pequeños cuerpos separados por vacío. Los físicos especularon que los fotones que escaparon de las zonas más densas debieron gastar más energía, y tal vez ese mayor gasto podría observarse sobre la radiación de fondo, todavía. Esa pequeña inhomogeneidad es la que el satélite COBE ha logrado registrar,<sup>10</sup> aportando otra evidencia experimental más al Big Bang.<sup>11</sup>

## **¿Pero cómo fue el Big Bang? Desde los bosones de Higgs al núcleo de hidrógeno y helio (¡los primeros tres minutos!)**

*¿Entonces hubo un comienzo de todo?, ¿cómo era el universo justo antes del comienzo?, ¿qué desencadenó el Big Bang? - ¿Cómo se generó la materia en el universo?*

En la sección anterior les había presentado algunas ideas sencillas sobre la teoría del Big Bang. Esta teoría es la mejor explicación que tenemos hasta el momento sobre el inicio del universo, y está avalada por evidencia experimental como la radiación de fondo del universo. Ahora, evidentemente, desde esa *explosión ini-*

---

<sup>10</sup> Ver las imágenes y página web de la NASA en [http://www.nasa.gov/topics/universe/features/cobe\\_20th.html](http://www.nasa.gov/topics/universe/features/cobe_20th.html) (consultada el 20-09-2016).

<sup>11</sup> Para una breve explicación de la teoría del Big Bang y la anisotropía del fondo de microondas ver la presentación de la NASA "Wilkinson Microwave Anisotropy Probe" en <http://map.gsfc.nasa.gov/> (consultada el 20-09-2016).



La figura 3 intenta representar este viaje desde nuestro propio cuerpo, como expresión de la complejidad máxima de la vida, hasta la partícula más sencilla que sostiene la existencia de la realidad material, el quark. En ese viaje, la cantidad de veces que hemos achicado nuestro objeto de estudio ha sido de  $10^{51}$  veces, que es un número extraordinariamente grande.

Entonces podríamos pensar que en un nivel de simplificación máxima la realidad está formada, al menos por lo que sabemos hasta ahora, por quarks, electrones y fotones. Esa combinación mágica es la que se encontraba contenida en los primeros instantes de la explosión inicial del Big Bang: electrones, quarks y fotones. En realidad, estas partículas comenzaron a existir un poco después del comienzo. Intentemos ir un poco más atrás, un poco más cerca del comienzo. Vayamos al instante inicial, ¿qué es lo que existía?, ¿había algo o no había nada? Los físicos nos dicen que la descripción más primitiva del universo que pueden darnos es la de un tiempo conocido como tiempo de Planck ( $10^{-43}$  segundos). En ese instante el tamaño del universo era millones de veces más pequeño que el de un átomo de hidrógeno (el más pequeño que existe), tenía una temperatura increíblemente alta  $10^{32}^{\circ}\text{C}$  (es decir un 10 seguido de 32 ceros), y no tenía una geometría como la actual, euclidiana (un espacio tridimensional descrito por tres ejes perpendiculares x, y, z, en el que nos rascamos la oreja izquierda con la mano izquierda), sino que estaba *plegado sobre sí mismo*. Esto quiere decir que si moviéramos la mano izquierda hacia la izquierda  $10^{-20}$  cm podríamos tocarnos la oreja derecha. En este estado del universo no había casi nada, no había partículas, sino un tipo de energía que denominaremos *energía unificada* (las cuatro energías hoy conocidas: electromagnética, gravitatoria, nuclear fuerte y nuclear débil convergían en un mismo tipo de energía a  $10^{32}^{\circ}\text{C}$ ). Los astrofísicos denominan a este momento *falso vacío*, lo único que había en el falso vacío es un *campo de partículas* denominado *bosones de Higgs*. ¿Qué es un campo de partículas? En física tenemos un campo de fuerzas, por ejemplo, la fuerza de gravedad, cuando esta fuerza tiene distintos valores en el espacio, de forma tal que una partícula, por ejemplo una gotita de agua, se mueve de un punto de *potencial alto* hacia un punto de *potencial bajo* de ese campo (razón por la cual llueve de arriba hacia abajo y no al revés). Los campos de partículas aparecen en el contexto de la *teoría cuántica de campos* (tcc). Respecto de las partículas, lo que dice la tcc es que existen campos de partículas en el espacio; podemos imaginar esos campos de partículas como pequeñísimas cajas tridimensionales, una al lado de la otra, que ocupan todo el espacio, y en los que cada una de las cajas puede tener dos valores: vacío (cero) o lleno (uno). ¿Cómo se hace para que aparezca una partícula en la caja? Se inyecta en ese lugar del espacio la cantidad de energía suficiente como para hacer aparecer un par partícula/antipartícula, truco maravilloso de la física, posible gracias a  $E=m.c^2$  (¿reconocen la ecuación más popular de la teoría de la relatividad de Einstein?). Ahora bien, en nuestro universo no existen infinitos campos de partículas, sino que existen solo algunos determinados. Quiero decir con esto que por más que inyecte la energía que se me ocurra en el espacio no voy a poder crear una partícula con 3,14 veces la

masa y  $\frac{1}{2}$  vez de la carga de un protón: las partículas, al igual que la energía, están cuantizadas, existen solo con algunos valores discretos de sus propiedades.

Antes del Big Bang existía un campo de partículas denominadas *bosones de Higgs*. Ese campo tenía una particularidad: su valor de energía era máximo cuando no había ninguna partícula en él (estaban todas las cajas vacías), que era la situación en tiempos previos a  $10^{-43}$  segundo. Es decir, en el momento cero del universo, el campo de bosones no tenía partículas, su valor de energía era máximo, y tenía una propiedad adicional: era completamente simétrico, es decir, en ese universo pequeñísimo, en cualquier dirección que uno viajara el campo de bosones estaba vacío. Por alguna razón que desconocemos, ese falso vacío que se encontraba en equilibrio experimentó una miniexpansión, de forma que a los  $10^{-37}$  segundos el universo pasó de  $10^{32}^{\circ}\text{C}$  a  $10^{27}^{\circ}\text{C}$ , es decir, se enfrió.

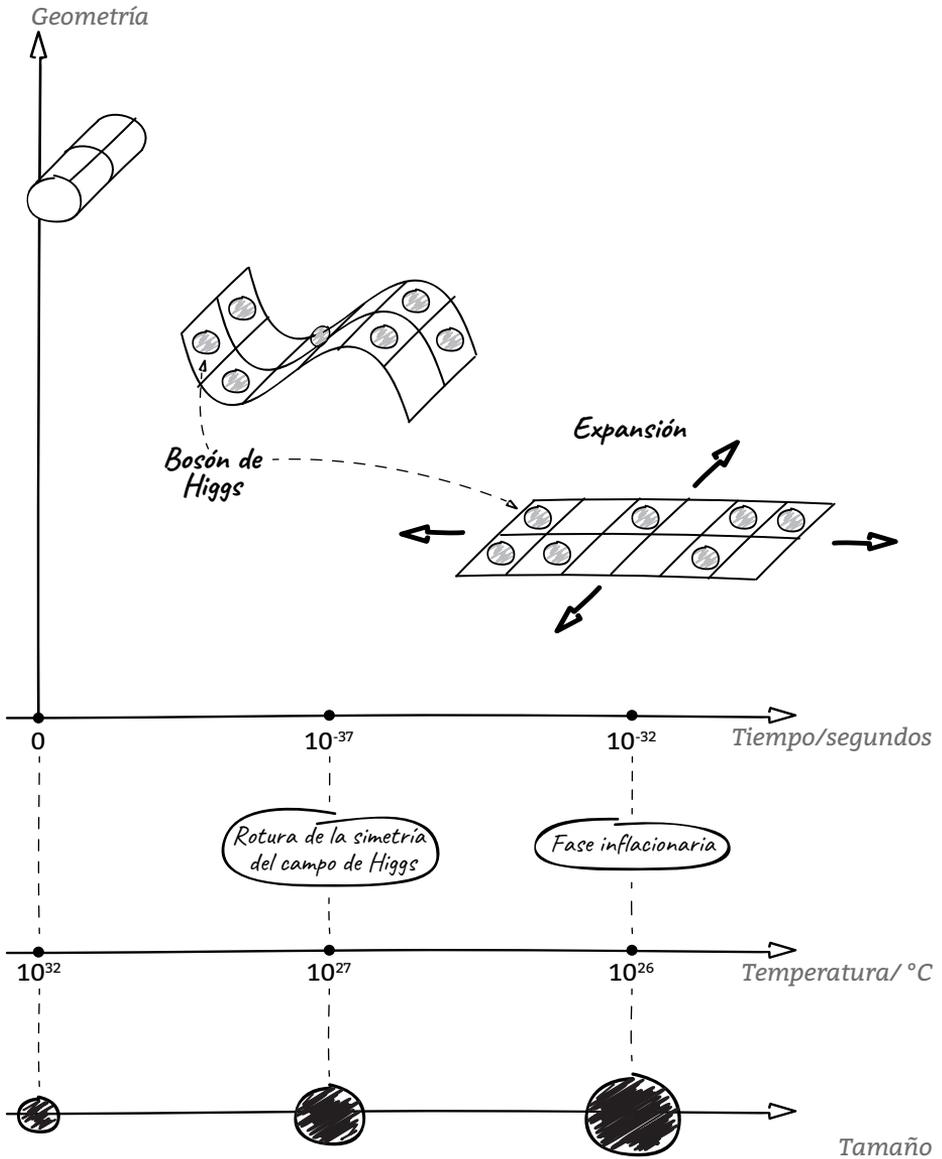
Esa miniexpansión del universo primigenio volvió al campo de Higgs inestable, al encontrarse con un exceso de energía, lo que produjo la ruptura de la simetría del campo. Esto quiere decir que para liberar la energía en exceso en el campo empezaron a aparecer partículas denominadas bosones de Higgs, porque la forma de sacarse la energía en exceso fue con  $E=m.c^2$ , es decir transformando la energía en partículas (materia). Pero imagínense, empezaron a aparecer partículas en ese universo infinitamente pequeño (no existía espacio por fuera de él) y empezaron a empujar, como empujaría la aparición súbita de cientos de pasajeros en un vagón de tren. En un momento dado había tantos bosones de Higgs que hicieron la presión suficiente como para que el espacio se *desenrollara*, el espacio se alisó y comenzó a expandirse tridimensionalmente (figura 4). Este es el momento inicial del Big Bang, ¡la explosión inicial! En tan solo  $10^{-32}$  segundos el universo (y por lo tanto el espacio) aumentó  $10^{30}$  veces, es decir pasó de ser algo millones de veces más chico que un átomo a tener el tamaño de una manzana en un instante, instante que se denomina *fase inflacionaria*<sup>12</sup> y que es el comienzo de dos magnitudes fundamentales: el TIEMPO y el ESPACIO (recuerden esta denominación de fase inflacionaria porque volveremos sobre ella más adelante).

---

12 A. H. Guth. "The Inflationary Universe: A Possible Solution to the Horizon and Flatness Problems". *Phys. Rev. D*23, 347, 1981.



Figura 4. Etapa inflacionaria en una representación bidimensional (el eje del tamaño solo indica al aumento de este)



Fuente: elaboración propia.

La idea de un universo que se desarrolla es bastante loca. ¿Qué significa que el universo se desarrolla? Tal vez nos ayude a pensar el problema sacar una dimensión al espacio tridimensional y pasar a un plano, es decir a dos dimensiones (figura 4). Imaginemos que el universo era un campo de bosones de Higgs que podemos representar haciendo una serie de casilleros en una hoja en blanco (háganlo como ejercicio). Enrollen ahora la hoja sobre sí misma de forma que se transforme en un tubo lo más delgado posible. En el caso de nuestro universo en dos dimensiones lo que existiría en el plano sería prácticamente una línea correspondiente a la hoja plegada. Ahora imaginen que aparecen bosones de Higgs en el campo porque hubo una pequeña variación de la temperatura (podemos imaginarlos como pequeñas figuritas de lata planas que caben en cada uno de los cuadraditos que representan el campo de partículas en la figura 4). ¿Qué van a provocar estas figuritas de lata dura?: que el campo se desenrolle. La aparición de partículas (nuestras figuritas) obliga a la hoja de papel a desenrollarse y expandirse para poder acomodar esas figuritas en sus casilleros: esto es la fase inflacionaria del Big Bang. Durante este proceso, que se dio entre 0 y  $10^{-37}$  segundos, además de producirse la avalancha de bosones de Higgs el universo comenzó a enfriarse, y creció de una manera increíble considerando su tamaño inicial.

Luego, con el *universo desenrollándose* ocurrió algo maravilloso, los bosones de Higgs comenzaron a transformarse en otras partículas elementales y gran cantidad de energía. La física cuántica afirma que cuando uno genera partículas en el espacio siempre aparecen en pares partícula/antipartícula; ambas tienen la misma masa pero signo opuesto. En el caso de que la partícula no tenga carga, ella misma constituye el par partícula/antipartícula. Así, en la fase siguiente a la inflacionaria, que se conoce como *fase de recalentamiento*, la energía de la desintegración de los bosones de Higgs permitió que apareciera todo un conjunto de partículas conocido como *fermiones*, que tienen dos grandes familias, los quarks y los leptones (figura 5).

La figura 5 nos presenta una pequeña descripción de los fermiones que se formaron por la energía producida a partir del campo de los bosones de Higgs. Es interesante destacar que los físicos miden la masa de las partículas elementales usando unidades de energía sobre la velocidad de la luz al cuadrado. Qué contradicción, plantearíamos los químicos, que nos movemos en un mundo donde masa y energía están bien diferenciadas, pero la verdad es que para las partículas elementales la idea de expresar la masa en unidades de energía/ $c^2$  (electronvolts = eV, figura 5) tiene mucho sentido. Si uno inyecta en una porción del espacio esa cantidad de energía, lo que va a aparecer es un par de partículas, que en realidad es un par partícula/antipartícula. En primer lugar, que aparezca una partícula en el espacio al inyectar energía podría sorprendernos, pero no olvidemos la famosa relación descubierta por Einstein:  $E=mc^2$ , que nos dice que a partir de la materia podemos obtener energía, y por supuesto la inversa también es válida: a partir de la energía podemos obtener masa.

**Figura 5.** Algunas propiedades de los fermiones

*Energía* → *leptones* + *quarks*  
(partícula / antipartícula) (partícula / antipartícula)

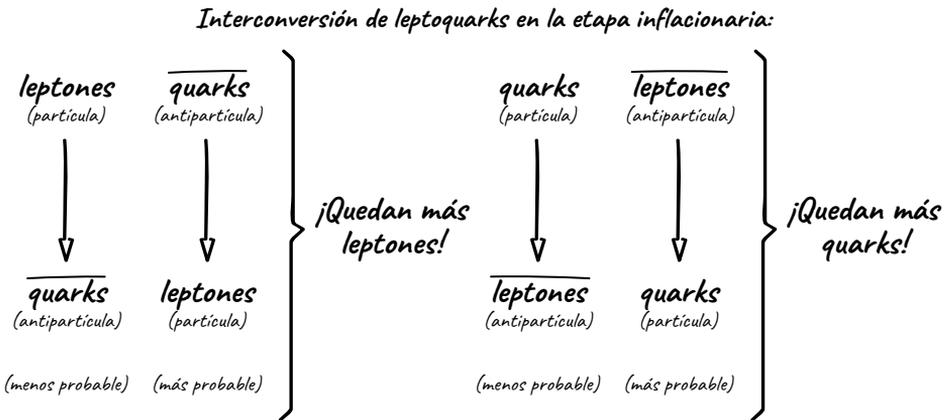
<i>Fermiones</i>	{	<i>Quarks</i>	<i>masa</i> →	13 MeV	1.24 GeV	172.5 GeV
			<i>carga</i> →	2/3	2/3	2/3
			<i>spin</i> →	1/2	1/2	1/2
				<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top
				6 MeV	95 MeV	4.2 GeV
				-1/3	-1/3	-1/3
	1/2	1/2	1/2			
		<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom		
{	<i>Leptones</i>		<2eV	<0.19 MeV	<18.2 MeV	
			0	0	0	
			1/2	1/2	1/2	
			<b>V<sub>e</sub></b> electrón neutrino	<b>V<sub>μ</sub></b> muon neutrino	<b>V<sub>T</sub></b> tau neutrino	
			0.511 MeV	106 MeV	1.78 GeV	
			-1	-1	-1	
	1/2	1/2	1/2			
		<b>e</b> electrón	<b>μ</b> muon	<b>T</b> tau		

Fuente: elaboración propia.

Ahora, nuevamente: ¿por qué digo que si inyectamos energía en el espacio, por ejemplo 0,511 MeV aparecen *un par* de partículas? Porque lo que aparece es un par partícula/antipartícula (materia/antimateria). Para el caso de inyectar 0,511 MeV en el espacio lo que aparece es un electrón (e, figura 5) y su antipartícula, el positrón (e<sup>+</sup>), que tiene signo opuesto, razón por la cual cuando se encuentran un electrón y un positrón se aniquilan mutuamente, dando carga cero; la carga negativa del electrón compensa la del positrón, y se libera energía (0,511 MeV). Ahora bien, si las partículas y antipartículas se aniquilan mutuamente, ¿cómo es que hoy estamos acá, formados por partículas, y no desaparecimos en un gran holocausto partícula/antipartícula hace 13.700 millones de años? La respuesta es interesante y tiene que ver con las condiciones de la *etapa de recalentamiento* del Big Bang. En ese momento del universo, que va desde los 10<sup>-32</sup> hasta 10<sup>-15</sup> segundos (piensen que es millones de veces menos de lo que dura el pestañear de un ojo), la temperatura del universo estaba entre los 10<sup>26</sup> °C y los 10<sup>18</sup> °C, y en ese rango de temperatura la energía es tan alta como para que las dos familias de fermiones, los leptones y los quarks, estuvieran íntimamente relacionadas y pudiera ocurrir una serie de interconversiones. Estas conversiones ocurrieron entre las partículas de una familia y las antipartículas de la otra; de hecho, en ese período todos los leptones y quarks pertenecían a una única familia

denominada *leptoquarks*. Enfatizo que esto solo era posible por la gran energía que había en el universo en ese momento. Fue entonces, en ese brevísimo instante inicial del universo, cuando se dieron una serie de transformaciones entre partículas, representadas en la figura 6 (las antipartículas se simbolizan con una raya superior), y que fueron fundamentales para que la materia venciera a la antimateria.

**Figura 6.** Las conversiones materia-antimateria en la etapa de recalentamiento



Fuente: elaboración propia.

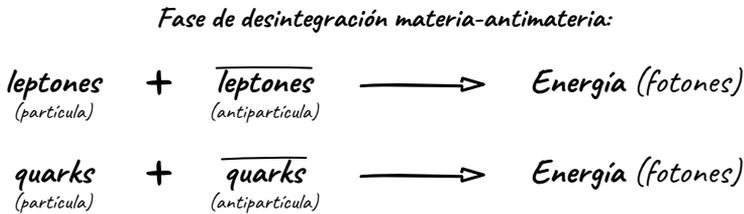
O sea que durante la etapa de recalentamiento terminó generándose por interconversión dentro de la familia de los leptoquarks un mayor número de leptones y quarks que sus correspondientes antipartículas, produciendo un balance a favor de la materia sobre la antimateria. Este hecho fue fundamental para que hoy, lector, estés leyendo este libro: fue la primera batalla librada por la existencia.

### ¡Uy, pero qué casualidad...! (1)

Si las interconversiones entre leptoquarks y antileptoquarks no hubiesen sido asimétricas, como lo indican las interconversiones con diferente probabilidad representadas en la figura 6, entonces, *hoy no estaríamos acá...*

Lo que siguió a la *etapa de recalentamiento* fue la gran batalla conocida como la *etapa de desintegración materia-antimateria* (figura 7), en la que leptones y anti-leptones y quarks y antiquarks se aniquilaron mutuamente, liberando una gran cantidad de energía en la forma de fotones.

**Figura 7.** Transformaciones de la etapa de desintegración materia-antimateria

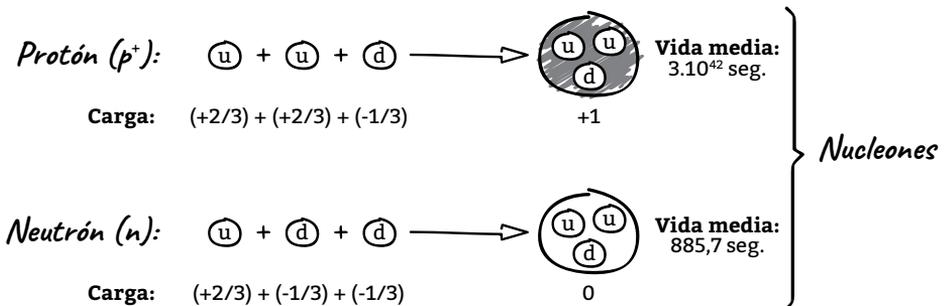


Fuente: elaboración propia.

Así es que luego de esta etapa, como existía un exceso de materia frente a la antimateria, el universo quedó compuesto de leptones, quarks y fotones, estos últimos resultado de la energía liberada durante la gran desintegración.

En este punto el universo siguió enfriándose porque continuó expandiéndose vertiginosamente, y cuando alcanzó una temperatura aproximada de  $10^{13}$  °C comenzó la denominada *etapa de confinamiento*. La energía del universo disminuyó lo suficiente como para que empezaran a operar las fuerzas de atracción entre los quarks (fuerzas nucleares fuertes), que hicieron que estas partículas dejaran de estar libres y se reagruparan en paquetes de tres, que dieron origen, entre otras partículas, a los neutrones (n) y los protones ( $p^+$ ), pertenecientes a la familia de los nucleones, proceso que representamos en la figura 8. Los protones están formados por dos quarks *up* (u) y un quark *down* (d), de forma que su carga queda determinada por la suma de la carga de esos tres quarks ( $+2/3 + 2/3 - 1/3 = +1$ ), mientras que los neutrones están formados por un quark u y dos quarks d y por lo tanto su carga es:  $+2/3 - 1/3 - 1/3 = 0$ .

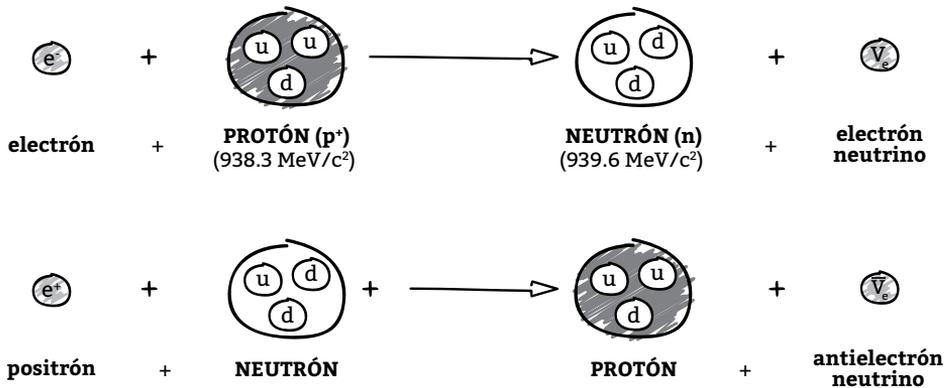
**Figura 8.** Formación de los nucleones a partir de los quarks



Fuente: elaboración propia.

Pero nuestra historia continúa: estamos aproximadamente a un tiempo de 0.01 segundos desde el comienzo de todo, con una temperatura de  $10^{11}^{\circ}\text{C}$ , que equivale a una energía de 10 MeV. Este valor es importante, porque es mucho menor que la masa del protón ( $938,3 \text{ MeV}/c^2$ ) y el neutrón ( $939,6 \text{ MeV}/c^2$ ), pero todavía mayor que la masa de los electrones ( $0,511 \text{ MeV}/c^2$ ) y sus antipartículas, los positrones, de forma tal que la energía del medio solo permitía formar pares partícula/antipartícula livianas, como el electrón y el positrón. En este período la energía del medio permitió que ocurriera una serie de transformaciones entre los nucleones (figura 9). Por ejemplo, si un protón que tiene una carga +1 choca con un electrón que tiene una carga -1, experimenta la transformación de uno de sus quarks de  $u$  a  $d$ , emitiendo un leptón que se llama electrón neutrino (figura 9). De forma similar, cuando un positrón con carga +1 choca contra un neutrón transforma uno de sus quarks de  $d$  en  $u$ , emitiendo un antielectrón neutrino. Como consecuencia de estas transformaciones entre los nucleones, las poblaciones de los protones y neutrones quedaron igualadas; por eso se denomina a esta etapa *fase de transmutación protón-neutrón*.

**Figura 9.** Transformaciones de la fase de transmutación protón-neutrón



Fuente: elaboración propia.

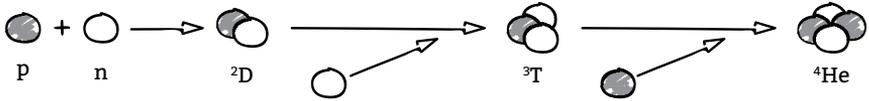
Sigue transcurriendo nuestra historia (muy rápido por cierto) y sigue transcurriendo el tiempo desde el Big Bang. Llegamos así a los 0.1 segundos del comienzo, la temperatura sigue bajando y alcanza los  $3.10^{10}^{\circ}\text{C}$ , lo que nos da una energía ambiente de 1 MeV, que es inferior a la diferencia de masa entre el neutrón y el protón, que es de solo  $1.3 \text{ MeV}/c^2$ . Este hecho es importante porque entonces las transmutaciones entre protones y neutrones ya no ocurren con la misma probabilidad, como en la etapa de transmutación protón-neutrón. Al ser el protón una partícula menos energética ( $938,3 \text{ MeV}$ ) que el neutrón ( $939,6 \text{ MeV}$ ), y al ser el tiempo de vida

media del protón ( $3 \cdot 10^{42}$  s, figura 8) mucho mayor que el del neutrón (885.7 s, figura 8), esto hace que muchos neutrones comiencen a transformarse en protones. Así, a los 14 segundos del comienzo, la temperatura ya había bajado a  $3 \cdot 10^9$  °C, y los nucleones estaban compuestos por un 17% de neutrones y un 83% de protones. Por otro lado, la energía del medio no alcanzaba para formar más pares electrón/positrón, por lo que solo quedaban los electrones remanentes de la batalla entre materia y antimateria.

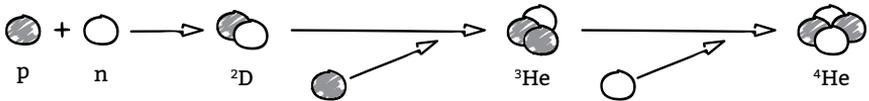
Así, empezaron a ocurrir las primeras reacciones de fusión de nucleones para dar núcleos atómicos. Esto fue una gran bendición, porque estabilizó la población de neutrones en un 13%, ya que los neutrones cuando están formando núcleos atómicos con protones tienen tiempos de vida media (propiedad relacionada con el tiempo de existencia de una partícula) muchísimo más largos. Entonces los primeros núcleos atómicos que aparecieron fueron los de hidrógeno (H: un solo  $p^+$ ), los de deuterio (D:  $1 p^+ + 1 n$ ) y helio (He:  $2 p^+ + 2 n$ ), como consecuencia de la colisión de los nucleones en un universo que todavía tenía una densidad muy alta (figura 10). Los protones y neutrones comenzaron a *juntarse* formando núcleos atómicos de helio (He, figura 10), gracias a la existencia de la *fuerza nuclear débil* y merced a que esta era mayor que la energía del medio. Se han planteado dos mecanismos para la formación de estos núcleos atómicos.

**Figura 10.** Formación de los primeros núcleos atómicos

*Mecanismo A*



*Mecanismo B*



Fuente: elaboración propia.

En ambos mecanismos planteados para explicar los primeros núcleos atómicos, un protón colisiona con un neutrón y las fuerzas nucleares atractivas permiten que ambos nucleones sigan existiendo como una pareja. Esta pareja ahora puede tener dos alternativas: o colisiona con un neutrón para formar un núcleo de tritio ( ${}^3T$ , mecanismo A, figura 10), o colisiona con un protón para formar un núcleo de un isótopo de helio conocido como helio 3 ( ${}^3He$ , mecanismo B, figura 10). Luego, según el mecanismo A, el tritio choca con otro protón para dar el núcleo de helio ( ${}^4He$ , figura 10), mientras que en el mecanismo B, el  ${}^3He$  colisiona con un neutrón

para dar  ${}^4\text{He}$ . El resultado final de ambos mecanismos es que llegamos a núcleos de helio, que se caracterizan por tener dos neutrones y dos protones. Ya avanzamos un paso en la línea de complejidad creciente: recuerden que los protones y los neutrones están formados por tripletes de quarks, o sea que el núcleo de helio que se acaba de formar es un arreglo en cuatro partículas formadas a su vez por tres subpartículas.

### ¡Uy, pero qué casualidad...! (2)

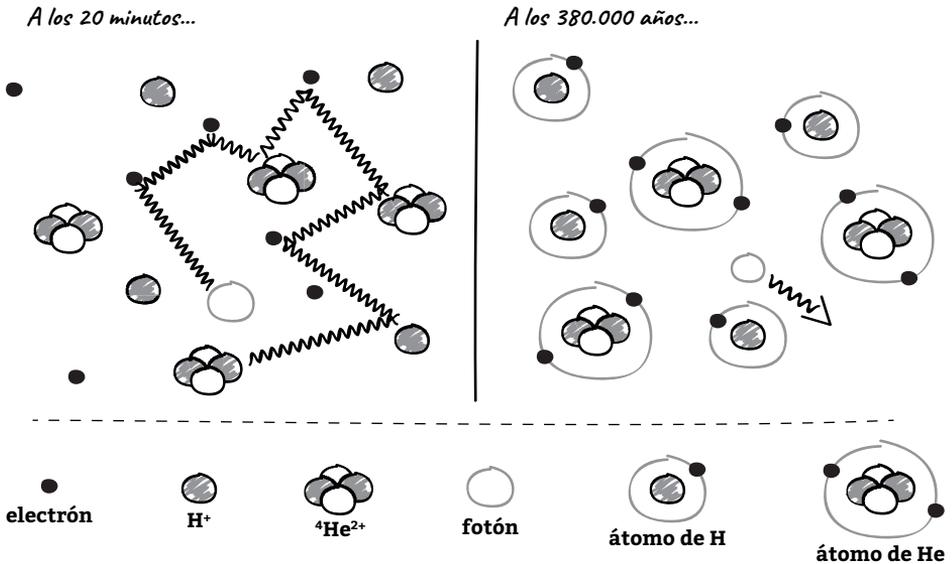
Si a los 14 segundos del comienzo la temperatura no hubiese bajado a  $3.10^9\text{ }^\circ\text{C}$ , todos los neutrones se habrían transformado en protones, con lo que probablemente no se habrían originado los átomos más pesados y entonces *hoy no estaríamos acá...*

## Los primeros átomos

Estamos situados en un punto de nuestra historia que es aproximadamente a los 20 minutos del comienzo (piensen que lo que les conté hasta aquí ocurrió casi en tiempo real con este relato). En este instante el universo estaba constituido por núcleos de hidrógeno y helio, y en menor medida deuterio, berilio y tritio, electrones y una gran cantidad de fotones, que todavía tenían una alta energía y estaban rebotando entre los núcleos atómicos impidiendo que los electrones se les asociaran. El universo era un plasma de iones positivos (núcleos atómicos) y partículas negativas (electrones), donde los fotones *rebotaban* constantemente entre ellos. Es decir, los fotones impedían que los núcleos atómicos y los electrones se asociaran, y al mismo tiempo quedaban atrapados por los rebotes contra ellos como si fuera una mesa de billar. Nada pasó en los siguientes minutos, ni días ni años, excepto que el universo se siguió expandiendo rápidamente, y al hacerlo la energía de los fotones disminuyó hasta que llegamos aproximadamente a los 380.000 años del comienzo de nuestro relato. En este punto, el universo se ha enfriado hasta alcanzar una temperatura de unos  $3000\text{ }^\circ\text{C}$ , y la energía de los fotones ya no es tan grande como para mantener a los núcleos y electrones separados. Entonces ocurrió algo maravilloso, el universo se volvió transparente, es decir, los fotones se liberaron de la interacción con la materia, y los núcleos de H y He se asociaron con los electrones para formar los primeros átomos neutros (figura 11): es el momento denominado *último desacople*.<sup>13</sup>

**13** Los fotones liberados aquí son los que se van a observar 13.300 millones de años después como radiación de fondo.

**Figura 11.** Formación de los primeros átomos de hidrógeno y helio



Fuente: elaboración propia.

Y llegamos entonces a un punto de nuestra historia en el que ya se han formado átomos neutros, el universo está constituido por un 25% de He y un 75% de H, los fotones se han liberado y siguen perdiendo energía. Es hora del siguiente paso de complejidad, las primeras estrellas y el resto de la tabla periódica.

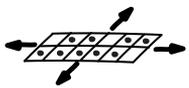
## Lecturas sugeridas

Víctor Massuh. *La flecha del tiempo*. Buenos Aires: Sudamericana, 1990.

B. Luque, F. Ballesteros, A. Márquez, M. González, A. Agea, L. Lara. *Astrobiología. Un puente entre el Big Bang y la vida*. Madrid: Akal, 2009.

K. W. Plaxco, M. Gross. *Astrobiology*. Baltimore: The John Hopkins University Press, 2006.

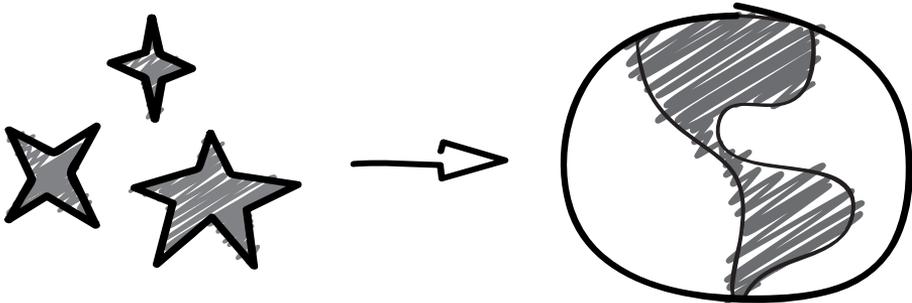
## Resumen del capítulo 1

	Tiempo /seg.	Temperatura /°C	Comentario	Cap. 1
	0	$10^{32}$	Campo de Higgs vacío	26
↓				
	$10^{-32}$	$10^{26}$	Aparición de los bosones de Higgs	30
↓				
<i>Leptones y quarks</i>	$10^{-32}$	$10^{26}$	Los bosones de Higgs se desintegran y dan origen a los leptosquarks	32
↓				
<i>Materia &gt; antimateria</i>	$10^{-15}$	$10^{18}$	La transformación materia-anti-materia es asimétrica	33
↓				
<i>Formación de nucleones</i>	$10^{-10}$	$10^{13}$	Aparecen la fuerza nuclear fuerte, los protones y los neutrones	34
↓				
<i>Formación de átomos de H y He</i>	$1,2^{13}$	$3.10^3$	Aparecen la fuerza electromagnética y los primeros átomos	36

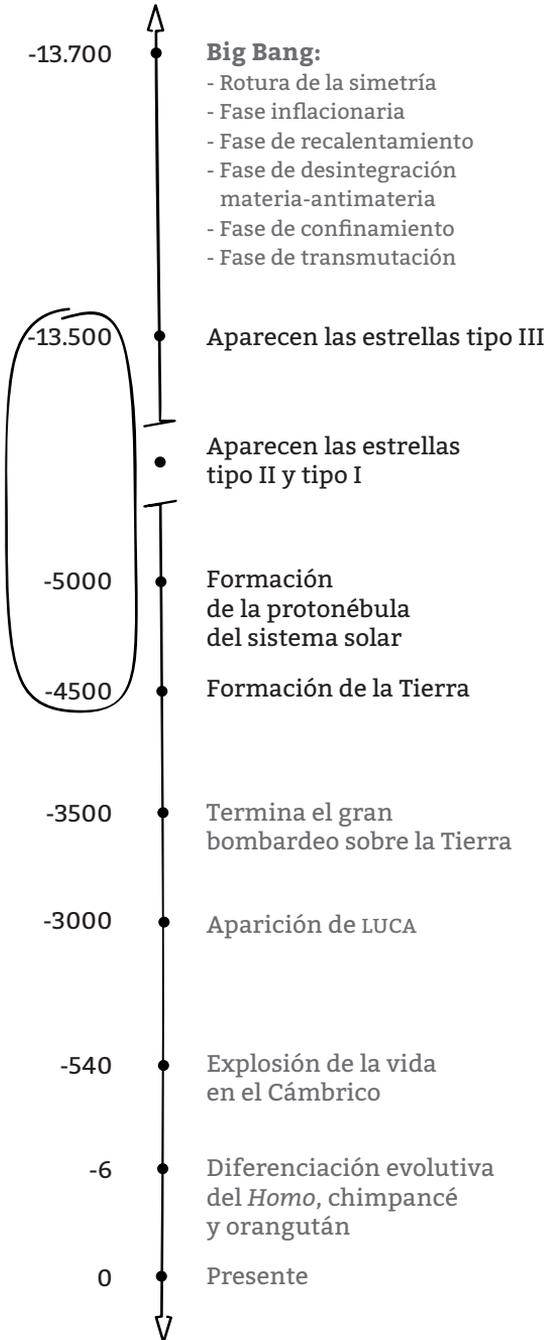


# 02

**De las primeras estrellas al  
resto de la tabla periódica,  
y de ahí a la aparición de  
nuestro sistema solar**



**Capítulo 2** →  
*Ud. está aquí*



**Tiempo**  
en millones de años

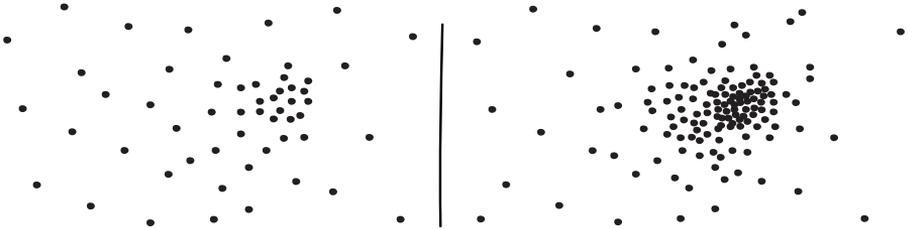
*La historia continúa con la fuerza de gravedad. - La creación de nuestro sistema solar. - La estructura de la Tierra: las condiciones geológicas, hidrológicas y atmosféricas que permitieron el desarrollo de la vida.*

## **La historia continúa con la fuerza de gravedad**

Estamos aproximadamente 380.000 años después del inicio del Big Bang, los fotones se han desacoplado y estamos en presencia de átomos neutros de hidrógeno (H) y helio (He), lo cual tiene importantes consecuencias sobre el tipo de fuerzas que empezaron a operar entre las partículas. Al quedar la materia neutra (sin carga eléctrica), hizo su entrada en escena la fuerza de gravedad. Esta fuerza, que actúa entre partículas con masa, va a ser la que va a moldear la forma del universo durante los próximos millones de años. La fuerza de gravedad es la que va a luchar contra la expansión del universo para dar el siguiente paso en la construcción de la complejidad. Así, la nube formada por átomos de hidrógeno y helio no se va a disipar en el espacio, sino que va a tender a aglomerarse, creando toda una complejidad articulada de estructuras astronómicas, como son las estrellas, las galaxias y los cúmulos de galaxias.

Pero volviendo a nuestro relato, estábamos en un punto en el que el espacio se había enfriado a unos 10 K (-263 °C), lo cual permitió un hecho maravilloso: la primera reacción química. Dos átomos de H se combinaron para formar una molécula de hidrógeno ( $H_2$ , los químicos describimos este hecho como la formación de un enlace entre dos átomos de hidrógeno). Esto ocurrió porque la energía de la molécula de  $H_2$  es menor que la de dos átomos de H por separado, por lo que el  $H_2$  representa un estado energético de mayor estabilidad que los átomos de hidrógeno por separado. Este gas interestelar (formado ahora por 75% de  $H_2$  y 25% de He) no estaba distribuido en el espacio con total homogeneidad, había zonas con un poco más de materia, es decir, el gas interestelar tenía un poco más de densidad, por lo cual la fuerza de gravedad comenzó a atraer al resto del gas a su alrededor, y empezaron a aparecer pequeñas zonas del universo con mayor cantidad de masa, y a aumentar entonces el grado de inhomogeneidad del universo (figura 12).

**Figura 12.** Representación del proceso de aumento de la densidad del gas interestelar por acción de la fuerza de gravedad

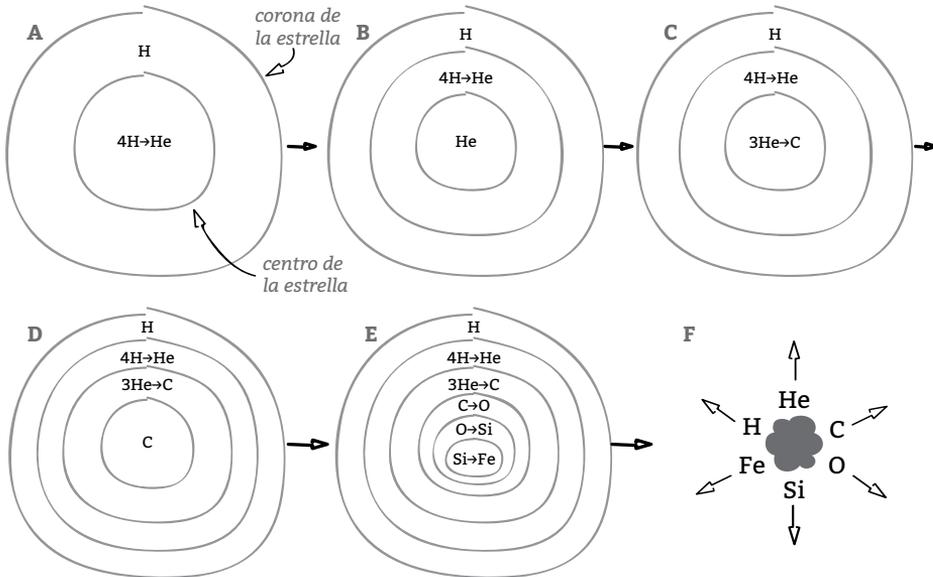


Fuente: elaboración propia.

Cuando la cantidad de gas que se condensó en diferentes puntos del espacio alcanzó una masa equivalente a 10.000 veces la de nuestro Sol, empezó lo que se denomina *colapso gravitatorio* de esa masa de gas. Lo que esto quiere decir es que el gas interestelar comenzó a condensarse sobre su centro. Ese proceso no fue sencillo, durante su transcurso empezaron a *desgajarse* pequeños fragmentos, que permitieron más tarde la aparición de *protoestrellas* más pequeñas, que a su vez continuaron con su propio colapso gravitatorio. Esto llevó millones de años, hasta que al llegar aproximadamente a entre los 200 y los 500 millones de años contados desde el comienzo del Big Bang, la descomunal presión y temperatura que alcanzaron los núcleos de estas enormes estrellas masivas hicieron que las moléculas de hidrógeno  $H_2$  se rompieran, nuevamente, en dos átomos de hidrógeno. Luego, la energía de esa gran masa de gas permitió que los átomos de H y He perdieran sus electrones, y por lo tanto quedaran los núcleos atómicos desnudos, alcanzándose entonces las condiciones para que fuera espontáneo el proceso de fusión de núcleos de hidrógeno (H), que formaban un nuevo núcleo de helio (He, figura 13<sup>a</sup>), liberando al mismo tiempo grandes cantidades de energía. La fusión de átomos livianos, en particular del H al He, liberó grandes cantidades de energía, porque el núcleo de He tiene una mayor energía de unión nuclear por nucleón, es decir, es más estable que el núcleo de H, y la energía en exceso fue liberada en el proceso de la fusión (figura 13F). Esa energía liberada funcionó como una fuerza equilibradora que contribuyó a contrarrestar el colapso gravitatorio de las estrellas sobre su núcleo. Cuando la densidad de He fue muy grande en el centro de estas estrellas masivas, sus núcleos empezaron a interferir con las colisiones de H, impidiendo que siguiera la formación del helio, cuya reacción de formación comenzó a desarrollarse entonces en la corona de las estrellas (figura 13B). Al detenerse la reacción nuclear de formación del helio, las estrellas se contrajeron, lo que permitió aumentar la temperatura del núcleo hasta que se alcanzaran las condiciones para que tres núcleos de He colisionaran y se fusionaran en un núcleo de carbono (C, figura 13C). Nuevamente, cuando la densidad de

C en el núcleo fue muy alta, esto envenenó el proceso de fusión, que se desplazó, como en el caso anterior, hacia la corona exterior. Las estrellas masivas volvieron a comprimirse de forma que se fueron alcanzando sucesivamente las condiciones de temperatura necesarias para que la nucleosíntesis de átomos más pesados como el oxígeno (O), el neón (Ne), el silicio (Si) y el hierro (Fe, figura 13E) fuera posible. Estas estrellas se transformaron entonces en auténticas *fábricas atómicas*, y generaron toda la serie de elementos desde el H al Fe de la tabla periódica. La explicación de porqué la nucleosíntesis en esta primera etapa llegó hasta el Fe puede entenderse con la ayuda de la figura 13F. En esta figura puede observarse que si hacemos fusiones nucleares desde el H al Fe nos movemos en la dirección de núcleos atómicos con mayor energía de unión por nucleón, y por lo tanto vamos en la dirección de núcleos más estables. Desde el Fe hacia la derecha en el gráfico de la figura 13F, la energía en función del número de nucleones comienza a disminuir, lo que quiere decir que el resto de los elementos más pesados son más inestables en términos nucleares y que por lo tanto las condiciones de su síntesis serán más extremas.

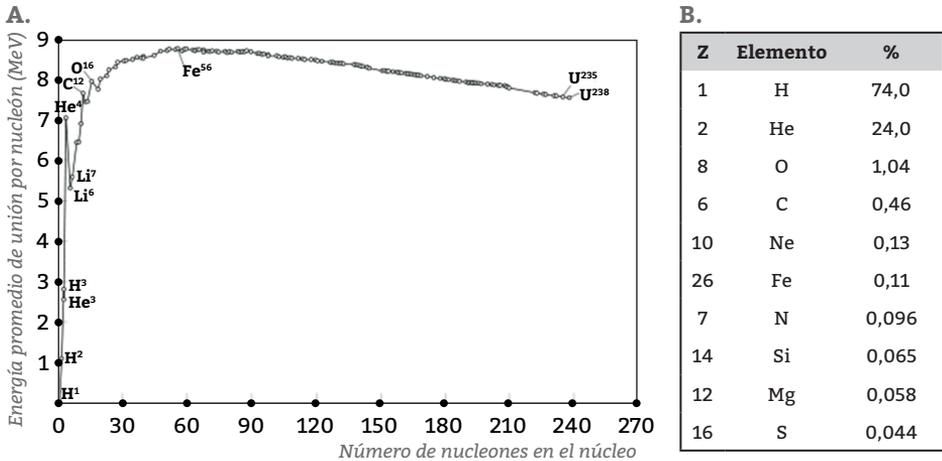
**Figura 13a.** Representación del proceso de nucleosíntesis en una estrella.



Nota: **A-E:** proceso de nucleosíntesis sucesiva de átomos cada vez más pesados.

Fuente: elaboración propia.

**Figura 13b.** Representación del proceso de nucleosíntesis en una estrella.

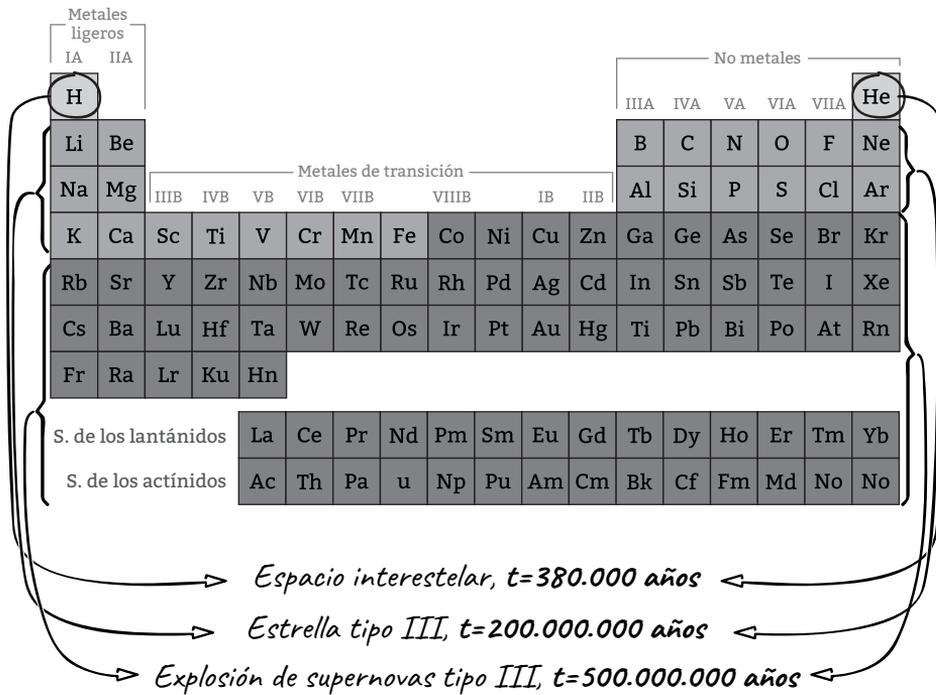


Nota: **A:** gráfico de energía de unión por nucleón en función del número de nucleones. **B:** Abundancia relativa de los diferentes elementos producto de la nucleosíntesis en el universo.

Fuente: elaboración propia.

El ciclo de síntesis del resto de los elementos más pesados que el hierro que existen en la naturaleza se produjo sobre el final de la vida de las estrellas de tipo III. Cuando el silicio (Si) se fusionó en Fe en el corazón de las estrellas ya no fue posible seguir adelante con otras fusiones, porque el núcleo de Fe es el más estable que se puede generar en el núcleo de una estrella. Entonces, el núcleo comenzó a enfriarse produciendo un colapso de la corona de la estrella. Cuando los átomos livianos chocaron contra el duro núcleo de la estrella experimentaron un *efecto rebote* que los expulsó nuevamente hacia la corona, encontrándose en su camino con otros átomos livianos que seguían colapsando hacia el núcleo. Este choque de una contracorriente de átomos, unos en dirección al núcleo y otros alejándose de él, liberó una gran cantidad de energía cinética que permitió que se desarrollara toda una serie de fusiones nucleares que generaron todos los elementos naturales pesados de la tabla periódica. Así, nuestras estrellas tipo III explotaron como supernovas, y en esa explosión fecundaron el espacio inerte con toda la paleta de elementos (átomos de distinto tipo) de la tabla periódica, produciendo un polvo rico en muchos elementos fundamentales para una serie de procesos que ocurrirían millones de años más tarde. De todas maneras, el espacio seguía estando lleno fundamentalmente de H (74%) de He (24%), como se ve en la figura 13b. B, pero ahora había casi un 1,5% en masa de una serie de elementos que van a ser fundamentales para la continuidad de nuestra historia, como: C (carbono), O (oxígeno), N (nitrógeno), P (fósforo), S (azufre), Si (silicio), Mg (magnesio), Na (sodio), K (potasio) y Fe (hierro).

**Figura 14.** Temporalidad de la aparición de los elementos de la tabla periódica por nucleosíntesis



Fuente: elaboración propia.

De esta forma todos los elementos de la tabla periódica (figura 14) tienen asociados tres momentos de nacimiento diferentes, el H y el He a los 380.000 años del Big Bang, como resultado de las primeras fusiones nucleares entre nucleones (figura 14 en gris claro). Para los elementos desde el litio (Li) al Fe: en el núcleo y la corona de las estrellas masivas tipo III hace 13.500 millones de años (figura 14); y para los elementos más pesados que el Fe en la explosión de las estrellas tipo III en supernovas, hace aproximadamente 13.200 millones de años.

La explosión de las estrellas masivas tipo III, al transformarse en supernovas fecundó, como dijimos antes, el espacio con toda una cantidad de elementos diferentes. Este gas, mezcla ahora de H y He pero además con una suspensión de otros elementos (y veremos también que de compuestos), volvió a comprimirse como consecuencia de su fuerza de gravedad, dando origen nuevamente a las condiciones para que se alcanzara la fusión de H en He. Pero estas nuevas estrellas, denominadas estrellas tipo II, eran más chicas que las tipo III, como consecuencia de la menor densidad del gas que las formó, y además contenían en su composición,

junto con el H y el He, cantidades significativas del resto de los elementos de la tabla periódica. Paralelamente al nacimiento de estas estrellas tipo II continuó el proceso de organización de estas en galaxias, dirigidas gravitacionalmente por la existencia de grandes agujeros negros centrales, alrededor de los cuales comenzaron a girar enorme cantidad de estrellas.

Entonces el proceso de transformación de las estrellas tipo II en supernovas, con la consiguiente fecundación del espacio con los diferentes elementos de la tabla periódica volvió a repetirse, y el universo quedó preparado para la aparición de las estrellas tipo I, a cuyo tipo pertenece nuestro Sol, y cuya creación, y la del resto del sistema solar es materia de nuestra próxima sección.

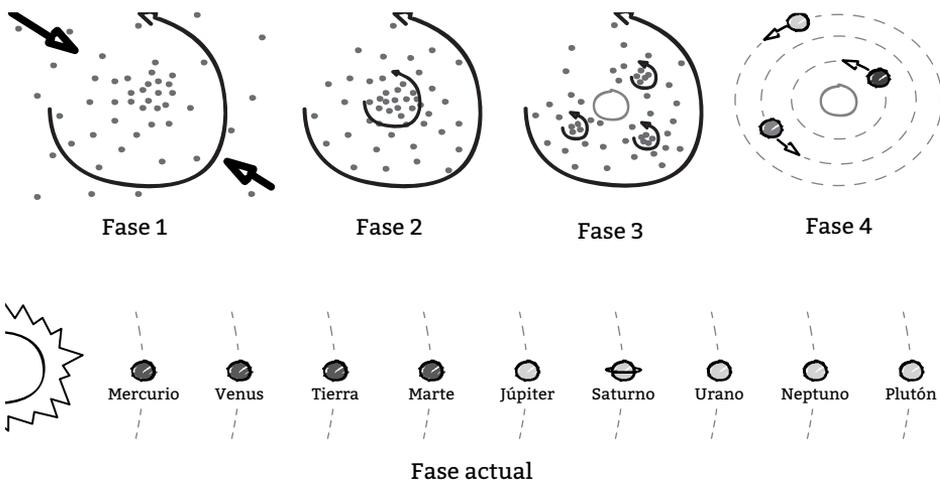
## **La creación de nuestro sistema solar**

En este punto la historia se vuelve más local, no porque no nos interese lo que ocurre en el resto del universo, sino simplemente porque es sobre lo local que tenemos más información, y además este rincón del universo es el que habitamos.

Nos habíamos quedado en la explosión de una supernova tipo II y la consiguiente dispersión en el espacio de todos los elementos de la tabla periódica. En esa gran nube interestelar compuesta esencialmente de hidrógeno y helio en un 98% comenzaron a ocurrir una serie de reacciones que dieron origen a distintos tipos de compuestos. Por la abundancia relativa del hidrógeno, se formaron cantidades importantes de compuestos moleculares binarios entre hidrógeno y los elementos más pesados, generando agua ( $H_2O$ ), metano ( $CH_4$ ), amoníaco ( $NH_3$ ), y sulfuro de hidrógeno ( $SH_2$ ), todos ellos compuestos binarios entre el hidrógeno y otros elementos producidos en la explosión de la supernova tipo II. Además, el oxígeno formado reaccionó con otros dos elementos, en particular con el silicio (Si) y el aluminio (Al), lo que dio origen a compuestos sólidos con una estructura extendida (los químicos los llamamos sólidos covalentes extendidos), los silicatos ( $SiO_2$ )<sub>n</sub> y los aluminatos ( $Al_2O_3$ )<sub>n</sub>, que formaron pequeñísimos granos de polvo interestelar, junto con corpúsculos de hierro metálico ( $Fe^{\circ}$ )<sub>(s)</sub> un sólido también muy abundante. Sobre toda esa rica mezcla de átomos, compuestos moleculares y sólidos covalentes extendidos empezó a actuar la fuerza de gravedad, que es la gran modeladora en el proceso de formación del sistema solar (y en realidad de todos los cuerpos estelares). Probablemente, la nube interestelar que dio origen a nuestro sistema solar se haya visto perturbada en algún momento por la explosión de alguna supernova cercana, y los vientos interestelares producto de esa explosión hayan desestabilizado nuestra nube estelar (como el viento que empuja hojas de un árbol en la superficie de un charco), ayudando a la fuerza de gravedad en el proceso de contracción de la nube. Esa gran nube estelar empezó a colapsar hacia su centro como consecuencia de la fuerza de gravedad mutua de todos sus componentes (fase 1, figura 15). Entonces, todas las partículas empezaron a moverse, y por lo tanto a desarrollar una velocidad hacia el centro

de la nube, y en ese proceso para conservar una propiedad física que se conoce como cantidad de movimiento, la nube empezó a girar alrededor de sí misma (fase 2, figura 15). Al empezar a girar se formó un núcleo central esférico, el protosol, y un anillo prácticamente plano alrededor de él. Como en el proceso de contracción de la nube la energía gravitacional (el potencial gravitacional) se transformó en energía cinética, la temperatura del centro comenzó a elevarse. El protosol conservó la gran mayoría de la masa original de la nube estelar (aproximadamente el 99%), atrapando un núcleo metálico, principalmente compuesto por hierro y un poco de níquel, pero logrando capturar también la inmensa mayoría del hidrógeno y el helio. El resto de la masa de la nube estelar (el restante 1%) se ubicó en el disco protoplanetario, hecho literalmente con la materia que no había sido tomada por el protosol. En el disco, la materia se ordenó de acuerdo a su densidad, encontrándose más cerca del protosol los componentes más densos, como por ejemplo corpúsculos de hierro y níquel metálicos y los gránulos de silicatos y aluminatos, y a distancias mayores los componentes con menor densidad, como pequeños gránulos (cubitos) de agua, amoníaco y metano sólidos. Entonces, sobre el protosol siguió actuando la fuerza de gravedad hasta que la presión y la temperatura fueron tales que se alcanzaron las condiciones de fusión de hidrógeno en helio, y en consecuencia se encendió y nació nuestro Sol (hace aproximadamente 5000 millones de años), al iniciar la reacción nuclear de transformación de hidrógeno en helio que ya habíamos visto en los primeros minutos del Big Bang.

**Figura 15.** Fases de la formación de nuestro sistema solar a partir de una nube protoplanetaria



Fuente: elaboración propia.

### ¡Uy, pero qué casualidad...! (3)

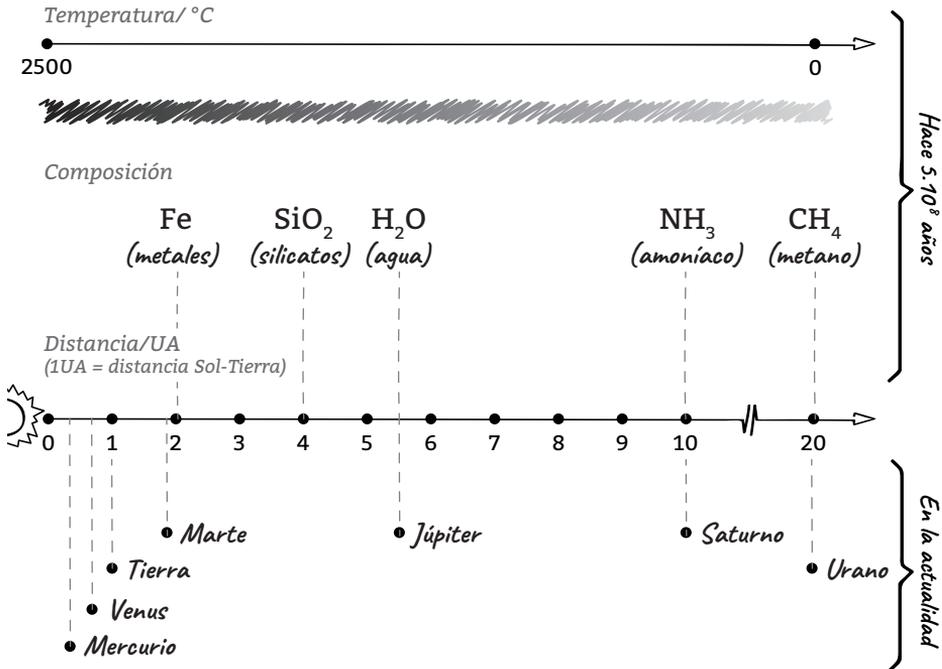
Si la Tierra no tuviera una excentricidad de su órbita relativamente baja (es decir: su órbita se parece más a una circunferencia que a una elipse), las variaciones de temperatura entre los puntos más cercanos (muy alta temperatura) y lejanos (muy baja temperatura) hubiesen dificultado mucho el desarrollo de la vida.

Mientras, la historia continuaba, y en el disco protoplanetario aparecieron pequeñas inhomogeneidades en la distribución de la materia que hicieron que surgieran pequeños *remolinos locales* (fase 3, figura 15), que produjeron el fenómeno de *acreción* del polvo estelar. Es decir, esos minúsculos fragmentos de polvo interestelar empezaron a chocar unos con otros, aumentando sucesivamente su masa, hasta alcanzar primero las dimensiones de pequeñas rocas, que continuaron luego juntándose hasta alcanzar el tamaño de protoplanetas. Esto explica por qué todos los planetas tienen órbitas que están en el mismo plano (el plano ecuatorial del Sol) y giran todos alrededor del Sol en el mismo sentido, además de tener todos el mismo sentido de rotación alrededor de su eje. La acreción también explica la diferente composición de los planetas de nuestro sistema solar. Los elementos con mayor densidad (hierro, silicatos, aluminatos) quedaron más cerca del Sol y por eso los planetas que se formaron en esa zona resultaron ser mayoritariamente rocosos (Mercurio, Venus, la Tierra y Marte, figura 16), mientras que los que se formaron en la zona externa del disco protoplanetario resultaron ser masivamente gaseosos (Júpiter, Saturno, Urano, figura 16). Por supuesto, además de un gradiente en la composición de los planetas a medida que estaban más lejos del Sol, también había un gradiente de temperatura (figura 16), lo que hizo que en los planetas más externos, los compuestos que en la Tierra existían en estado líquido (como el agua) o gaseoso (como el amoníaco) estuvieran presentes en esos planetas en estado sólido.

La acreción continuó por algunos centenares de millones de años, aumentando el tamaño de los protoplanetas. Como recién mencionamos, estos protoplanetas tenían una composición de acuerdo a su posición en el disco estelar. Es decir, los protoplanetas más cercanos al Sol (los futuros Mercurio, Venus, Tierra y Marte), tenían núcleos metálicos y alrededor de ellos una cobertura de silicatos y aluminatos fundidos. En este punto, además de los protoplanetas había en el sistema solar gran cantidad de objetos de tamaños considerables que surcaban el espacio en órbitas cercanas a los protoplanetas, y en muchos casos experimentaron la fuerza de gravedad de los protoplanetas más grandes, literalmente bombardeándolos (fase 4, figura 15). Esos objetos estelares fueron de dos tipos: cometas y asteroides. Los primeros estaban constituidos esencialmente por agua sólida y en menor medida por amoníaco, metano y nitrógeno, y en el caso de los asteroides, por un núcleo sólido de hierro y minerales. Durante esta etapa de bombardeo de los protoplanetas en formación las condiciones de su superficie resultaron extre-

mas. En particular la Tierra sufrió el impacto de cometas y asteroides de tamaños superiores a los centenares de kilómetros, que desarrollaron explosiones equivalentes a decenas de miles de bombas nucleares explotando al mismo tiempo, que literalmente volatilizaron todo lo que se encontraba sobre su superficie.

**Figura 16.** Ubicación de los diferentes compuestos químicos en el disco protoplanetario previo a la aparición de los planetas



Fuente: elaboración propia.

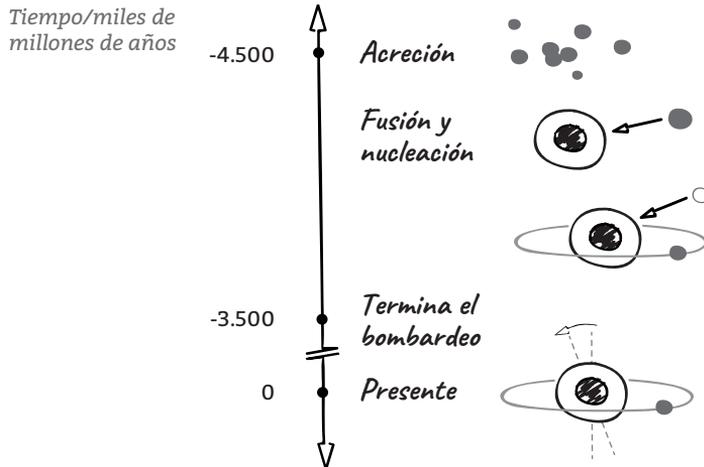
#### ¡Uy, pero qué casualidad...! (4)

Si no hubiésemos tenido la suerte de tener un planeta masivo como Júpiter en nuestro sistema solar, que funcionó como una *aspiradora gravitacional* de cometas y meteoritos, limpiando el espacio de basura, el período de bombardeo meteórico sobre la Tierra hubiera sido mucho más largo y probablemente hubiera sido muy difícil desarrollar la vida.

Con el impacto de los meteoritos, la Tierra permaneció fundida como una gran esfera incandescente durante mucho tiempo, lo que permitió que los componen-

tes más densos (hierro y níquel) migraran hacia el interior de la esfera, mientras que los silicatos permanecieron como una capa fundida por afuera (fusión y nucleación, figura 17). En algún momento entre 4600 y 4400 millones de años atrás, la Tierra sufrió la colisión de un planetóide que no pudo ser atrapado por el arquero gravitacional del sistema solar, Júpiter. Este choque provocó que se desprendiera una gran masa de material fundido, que empezó a orbitar alrededor de la Tierra, transformándose en nuestro único satélite, la Luna (figura 17). Con el tiempo la frecuencia de los bombardeos de meteoritos fue disminuyendo, para lo cual fue muy importante la atracción gravitacional de Júpiter. Al no sufrir más impactos masivos, la corteza de la Tierra se fue enfriando y endureciendo, mientras experimentaba el impacto de asteroides, compuestos esencialmente por agua, lo que explica por qué este compuesto cubre el 75% de la superficie terrestre (¡el agua de la Tierra tiene un origen extraterrestre!). Luego, en un momento que podríamos situar entre 3500 y 3800 millones de años atrás, finalizó el *gran bombardeo* meteórico sobre la Tierra, lo que permitió alcanzar un período de *estabilidad estructural* (figura 17), entendiéndose por esto que se conservaron mayoritariamente algunas características del planeta sin sufrir procesos catastróficos de esterilización total.

**Figura 17.** Etapas en la formación de la Tierra



Fuente: elaboración propia.

### ¡Uy, pero qué casualidad...! (5)

Si la Tierra no tuviera un satélite de masa importante (relación masa de la Luna : masa de la Tierra = 1 : 83) no podría estabilizar el movimiento de precesión de su eje como ocurre en la actualidad, lo que haría que las diferencias entre las temperaturas medias del invierno y el verano superaran la diferencia entre el punto de fusión y de ebullición del agua, estableciendo en la práctica un proceso de esterilización por temperatura, que hubiera complicado notablemente el desarrollo de la vida.

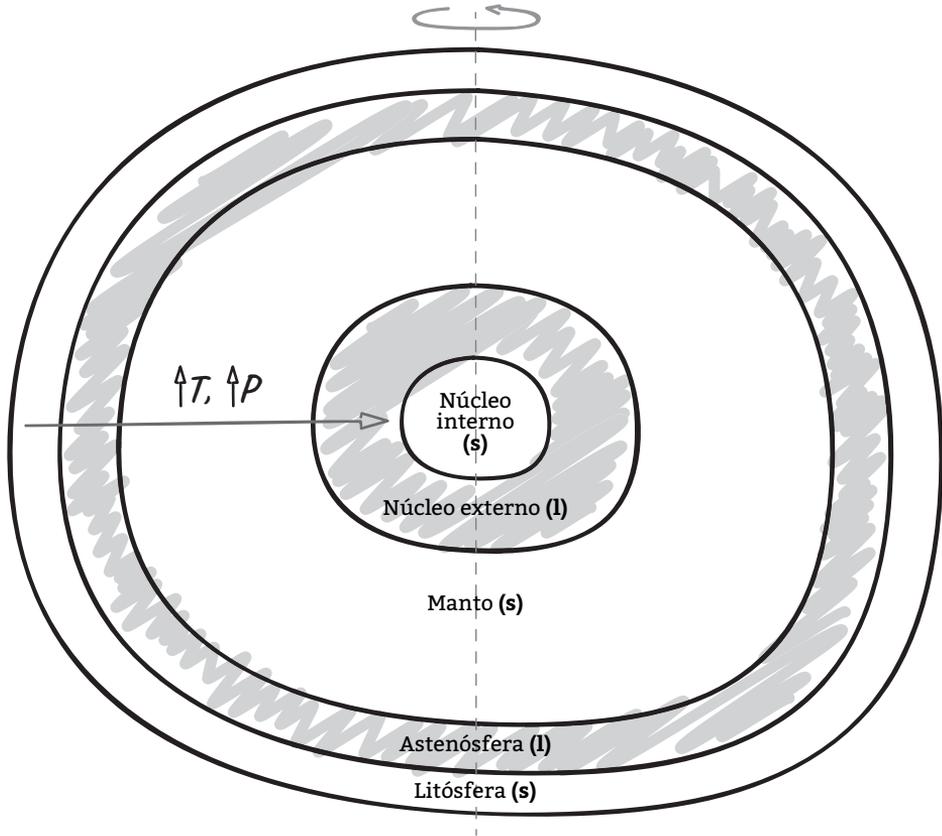
## La estructura de la Tierra: las condiciones geológicas, hidrológicas y atmosféricas que permitieron el desarrollo de la vida

La figura 17 nos mostraba las etapas de formación de la Tierra a partir de la acreción del material original de nuestro protosistema solar. Como ya les había contado, la composición química de la Tierra no es casual, sino que es el resultado de su posición en el disco de acreción. De esta forma, hace aproximadamente unos 4600 Ma, la Tierra surgió del disco de acreción como una bola incandescente con todo su material fundido. Esa bola giraba sobre su propio eje, y los elementos que la constituyeron empezaron a separarse según sus diferentes densidades. De esta forma, el hierro metálico ( $\text{Fe}^0$ ) con una alta densidad ( $7,5 \text{ g/cm}^3$ ) migró hacia el centro del planeta, mientras que los silicatos y óxidos metálicos con una densidad en promedio menor ( $3,5 \text{ g/cm}^3$ ) se ubicaron sobre el hierro. Como también les comenté en la sección anterior, cuando esta separación se estaba llevando a cabo ocurrió el choque de un pequeño planetóide (aproximadamente del tamaño de Marte) contra la Tierra. Este choque *volatilizó* gran parte del material externo de la Tierra (los silicatos) sin afectar su núcleo férreo. El material volatilizado quedó orbitando la Tierra, hasta que comenzó a actuar la fuerza de gravedad y lo contrajo en una masa que terminó siendo la Luna. La razón por la cual la Luna no tiene núcleo de hierro es porque precisamente fue el resultado de la volatilización del material externo de la Tierra.

Luego de este gran choque catastrófico, en los siguientes 100 Ma la Tierra comenzó a enfriarse de forma que empezó a tener una superficie rocosa (litósfera) que recibió el impacto de cometas que fundamentalmente trajeron el agua a la Tierra. A partir de este punto podemos considerar que la estructura en capas de nuestro planeta se estabilizó y quedó constituida como se indica en la figura 18. Lo interesante de esta estructura es que tiene una serie de capas líquidas y sólidas alternadas. Tomando como profundidad cero la corteza terrestre ( $P = 0 \text{ km}$ ), entre los 6378 km y los 5100 km encontramos un núcleo sólido de hierro metálico. Una cuestión a tener en cuenta para entender el estado de agregación de cada capa

es la presión (P) y la temperatura (T) de cada una de ellas. La P y la T aumentan al ir aumentando la profundidad. El aumento de P favorece los estados sólidos, mientras que el aumento de T favorece el estado líquido. Entre los 5100 km y los 2890 km encontramos el manto externo, que es hierro fundido.

**Figura 18.** Estructura de capas de la Tierra



Fuente: elaboración propia.

El manto externo también está constituido por  $\text{Fe}^0$  pero en este caso en estado líquido (si bien la temperatura es alta la presión no es la suficiente como para solidificarlo). El movimiento de giro del núcleo interno y externo, y la naturaleza magnética del hierro, tienen un importante efecto que es producir el campo magnético de la Tierra (magnetósfera). La magnetósfera resulta fundamental para repeler los denominados *vientos solares*, que son corrientes de partículas cargadas

que provienen de nuestro Sol y que se acercan a la atmósfera de la Tierra. Sin la magnetósfera estas partículas cargadas tendrían una interacción mucho más significativa con nuestra atmósfera, y desencadenarían toda una serie de reacciones en fase gaseosa que podrían complicar el desarrollo de la vida.

Sobre el núcleo externo entre los 2890 km y los 200 km encontramos el manto, que es sólido y está fundamentalmente formado por silicatos y óxidos metálicos. Por encima del manto y con un espesor de unos 100 km encontramos la astenósfera, que si bien no es completamente líquida es una mezcla de silicatos y óxidos fundidos en un estado plástico y fluido. Finalmente, los últimos 100 km sobre la astenósfera están constituidos por la litósfera, que es la capa de roca sólida (basaltos fundamentalmente en el fondo del mar y granito en tierra descubierta) que nos soporta.

La interacción entre estas dos últimas capas, la litósfera y la astenósfera, es sumamente interesante y genera una dinámica sin la cual difícilmente se hubiera desarrollado la vida. Una cuestión importante es que no debemos imaginarnos la litósfera como una superficie continua, como si fuera la cáscara de un huevo. La litósfera está formada por placas (es como una cáscara de huevo fracturada), y las diferentes placas se desplazan unas respecto de las otras. Esto es lo que se denomina *tectónica de placas*.

**Figura 19.** Movimiento de tectónica de placas

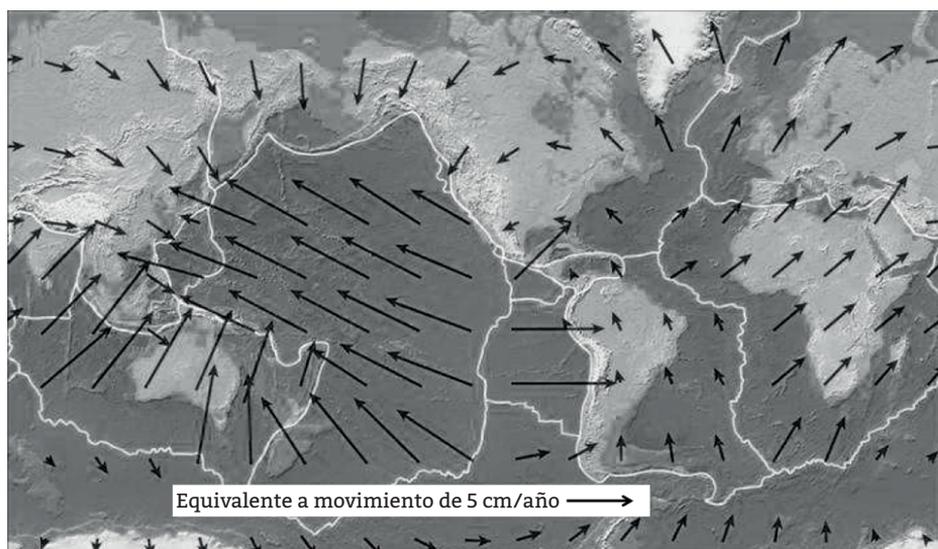


Figura armada como una modificación de la figura presentada en: <https://spotlight.unavco.org/how-gps-and-tectonics/gps-and-tectonics.html> (consultada en febrero de 2018).

La figura 19 nos muestra el movimiento relativo de las distintas placas de la litósfera. El largo de las flechas indica la magnitud de la velocidad de desplazamiento y el sentido de la dirección de la placa. Por ejemplo, la placa de Nazca impacta casi perpendicularmente con la placa Sudamericana (figura 19), y como consecuencia de ese choque resulta un hecho natural importante, la actividad volcánica (figura 20).

**Figura 20.** El volcán Puyehue (Chile) en actividad, visto desde el cerro Otto (Bariloche, Argentina, enero de 2012)

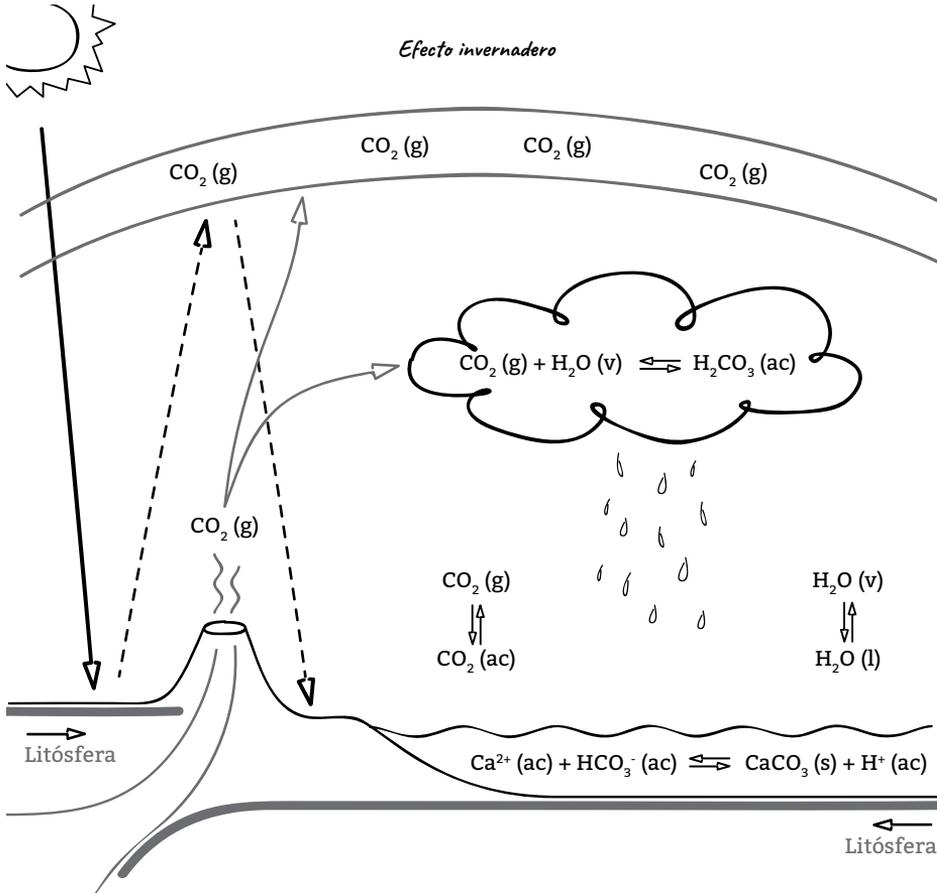


Foto: Javier Montserrat.

El vulcanismo es importante porque está íntimamente relacionado con el mecanismo de control de la temperatura sobre la superficie terrestre. Es fundamental que la variación de temperatura sobre la superficie terrestre se mantenga acotada en un rango relativamente estrecho, de forma que permita el desarrollo de la vida. Además, ese rango de temperatura debe ser compatible con el estado líquido del agua, el solvente más abundante en nuestro planeta. Una parte de este mecanismo de control de la temperatura es conocido como *efecto invernadero* (figura 21). El efecto invernadero es producido por la acción conjunta de una serie de moléculas en la atmósfera, entre las que puede mencionarse al metano ( $\text{CH}_4$ ), el agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), probablemente esta última con una prensa negativa más marcada. Precisamente el dióxido de carbono natural, presente en la atmósfera, es inyectado a través de los volcanes (estamos hablando del

período de la historia de la Tierra en que el hombre no existía). Los volcanes a su vez son el resultado del choque de placas (figura 19), con lo que podemos concluir que las condiciones climáticas de la Tierra, aptas para el desarrollo de la vida, en buena medida son consecuencia de la estructura geológica del planeta.

**Figura 21.** La influencia de la actividad volcánica en el ciclo del carbono y en la regulación de la temperatura



Fuente: elaboración propia.

Ahora bien, ¿en qué consiste el efecto invernadero? El dióxido de carbono llega a la atmósfera desde los volcanes. Cuando el Sol calienta la superficie de la Tierra, la radiación electromagnética que compone la luz natural puede atravesar esa capa

de gases (entre los que está el  $\text{CO}_2$ ) en la atmósfera. La luz que impacta la superficie de la Tierra la calienta (creo que todos hemos experimentado este efecto al pisar baldosas de terraza o un patio en el verano) y entonces la Tierra emite hacia el espacio calor en la forma de radiación electromagnética de una longitud de onda larga (flecha de la figura 21 desde la Tierra hacia la atmósfera). Pero esa radiación electromagnética emitida hacia la atmósfera ahora puede ser absorbida por las moléculas de  $\text{CO}_2$ , y es devuelta hacia la Tierra (flecha descendente de la figura 21), de forma que estas moléculas hacen una especie de *techo de vidrio* para que el calor emitido por la superficie no se escape hacia el espacio.

Entonces, el aumento del  $\text{CO}_2$  atmosférico tiende a incrementar la temperatura general de la Tierra, pero a su vez este proceso tiene un mecanismo de autorregulación. Cuando la temperatura aumenta demasiado, también aumenta la evaporación del agua de los océanos (figura 21), aumentando entonces la humedad en la atmósfera. De esta forma, en las nubes el  $\text{CO}_2(\text{g})$  reacciona con el agua transformándose en ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{ac})$ ), que acompaña al agua cuando esta precipita en forma de lluvia, disminuyendo por lo tanto el contenido de este gas en la atmósfera. Una vez que el ácido carbónico alcanza los océanos y lagos reacciona con las rocas calcáreas (que contienen formas de óxido de calcio) para dar carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3(\text{s})$ ), una sal muy insoluble en agua y el constituyente fundamental de las denominadas rocas calcáreas, quedando entonces *inmovilizado*. Este mecanismo es un regulador natural del contenido de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera asociado al ciclo del agua, y por lo tanto funciona como si fuera el termostato de un aire acondicionado.

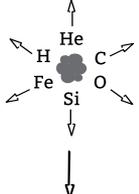
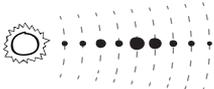
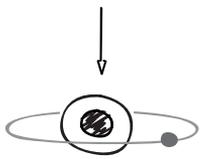
Entonces, el  $\text{CO}_2$  originado por el vulcanismo, producto del movimiento de las placas tectónicas que resulta de la constitución *en capas* de la estructura de la Tierra, juega un rol fundamental en la regulación de la temperatura de la superficie del planeta, mecanismo sin el cual no hubiese sido posible el desarrollo de la vida. Pero además, vamos a ver más adelante que el  $\text{CO}_2$  jugó un papel importantísimo en dos eventos secuenciales que marcaron definitivamente la historia de la Tierra. En el primero, el dióxido de carbono va a ser la materia prima a partir de la cual se construirán las moléculas que permitieron el desarrollo de la vida; y en el segundo evento veremos cómo nuevamente el efecto invernadero jugará un papel muy importante en la aparición del oxígeno atmosférico. Pero esto será materia de los próximos capítulos.

## **Lecturas sugeridas**

G. Zubay. *Origins of Life on the Earth and in the Cosmos*, 2ª edición. San Diego: Harcourt Academic Press, 2000.

B. Luque, F. Ballesteros, A. Márquez, M. González, A. Agea, L. Lara. *Astrobiología. Un puente entre el Big Bang y la vida*. Madrid: Akal, 2009.

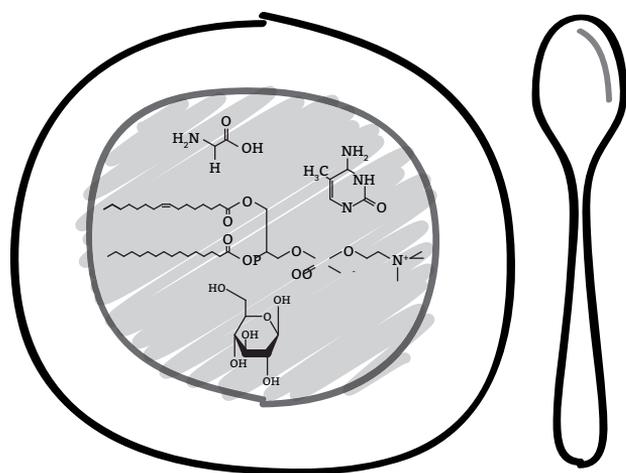
## Resumen del capítulo 2

	Tiempo/Ma	Comentario	Cap. 2
	-13.500	Aparición de todos los elementos por la fusión nuclear y la explosión estelar	43
	-5000	Formación del sistema solar a partir del disco de acreción	48
	-4700	La Tierra adopta una estructura geológica estable y dinámica (tectónica de placas)	53



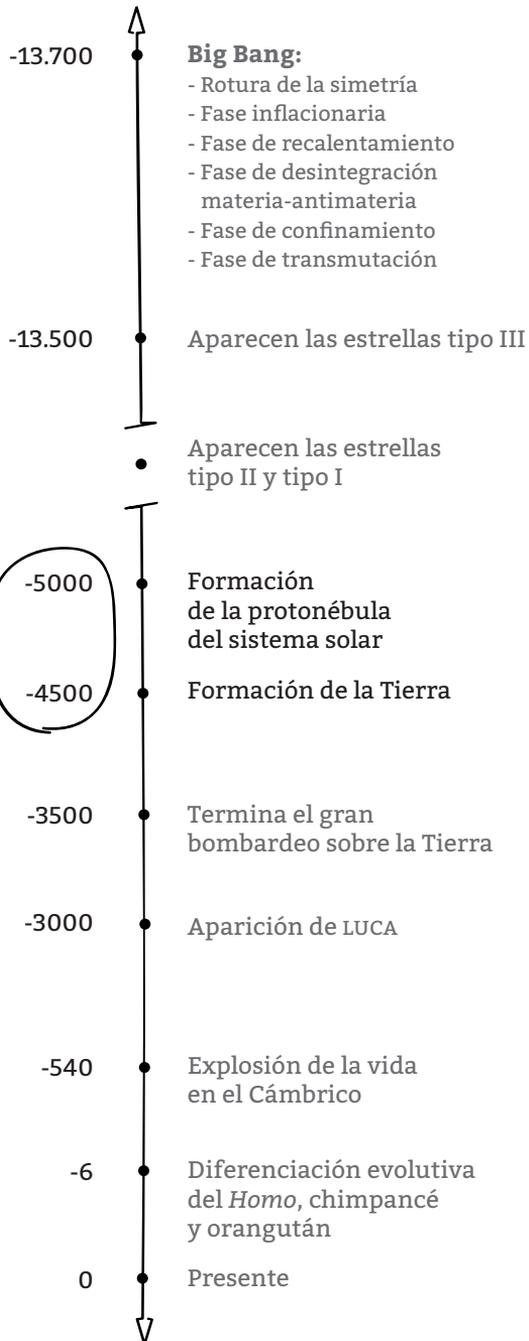
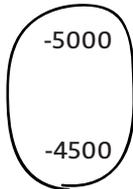
# 03

## La sopa primordial



**Capítulo 3**

*Ud. está aquí*



**Tiempo**  
en millones de años

*Preparando la sopa primordial. - ¿Hacemos la sopa de carbono o de silicio? - ¿A la sopa le agregamos agua? - La vida a partir del carbono y el agua. - Cocinando las otras tres familias. - Potenciales fuentes alternativas de moléculas orgánicas. - ¿Pero qué demonios son los polímeros naturales? - Pero, entonces, ¿cómo ocurrieron las polimerizaciones?*

## **Preparando la sopa primordial**

Podemos comenzar esta parte de nuestra historia situándonos en algún punto entre los 3500 y los 4000 millones de años atrás. En ese momento terminó, gracias a la asistencia de Júpiter, el *gran bombardeo* sobre la Tierra, es decir el impacto de meteoritos y planetoides. Durante ese período catastrófico fue imposible que se desarrollara la vida, porque esos impactos fueron procesos que elevaron tanto la temperatura de la Tierra que esterilizaron cualquier intento biológico, por evaporación de los océanos y derretimiento de parte de la corteza terrestre. Lo que se supone es que sobre el final del *gran bombardeo* llegaron más frecuentemente a la Tierra cometas masivos que traían agua, lo que terminó dándole a la Tierra un carácter especial dentro del sistema solar: el de tener agua en sus tres estados físicos: vapor, sólido y mayoritariamente líquido.

La pregunta que podríamos hacernos en este punto es la siguiente: perfecto, estamos en un planeta rocoso, que tiene océanos de agua pero que está completamente deshabitado. ¿Cómo demonios en 3500 millones de años pasamos de un lugar solo con rocas y agua a este planeta lleno de miles de especies de microorganismos, plantas y animales? ¿Puede explicarse la aparición de los seres vivos a través de una serie de pasos sucesivos y racionales? Esta parte de la historia es una de las cuestiones sobre las que todavía sabemos relativamente poco. Paradójicamente, conocemos más de los momentos previos a este punto que de las etapas preliminares a la aparición de la vida, y la razón es que no tenemos ninguna evidencia directa, algo que haya sobrevivido hasta nuestros días, y por lo tanto tenemos que intentar reconstruir esa historia haciendo experimentos. Ahora, volviendo a la pregunta original: ¿cómo podemos explicar la aparición de la vida a partir de lo inanimado?, ¿es siquiera concebible filosóficamente la pregunta? Permítame hacer algunas consideraciones preliminares. La primera es una hipótesis que podría enunciarse de esta forma: *en un escenario de infinitas posibilidades solo aquello que tiene una probabilidad de ocurrencia cero no puede ocurrir*. Esto puede replantearse para nuestro problema de la siguiente manera: *en un escenario*

*de infinitas posibilidades el surgimiento de estructuras complejas autoorganizadas tiene una posibilidad distinta de cero.* Más adelante explicaré qué quiero decir con un escenario de infinitas posibilidades (teoría del multiverso). La segunda consideración es que la aparición de la vida necesita condiciones iniciales específicas, que suponen que se pueda formar una *sopa primordial*, es decir, un conjunto de moléculas a partir de las cuales puedan autoorganizarse los procesos biológicos. Pero la sola formación de la sopa primordial no asegura la aparición la vida; sobre esa sopa primordial deben ocurrir una serie de acontecimientos específicos en un orden temporal determinado, lo que a mi entender constituye una característica específica de la historia de nuestra Tierra. Déjenme ponerles un ejemplo culinario bastante más sencillo, para continuar con la metáfora de la *sopa primordial*. Para hacer un huevo frito necesitamos aceite, un huevo y una sartén caliente, esas son las condiciones iniciales. Luego hay dos posibilidades, que aparezca un cocinero y haga el huevo frito, o que *por casualidad* el huevo frito se *haga solo*. ¿Pero cómo podría hacerse un huevo frito solo? Imaginen la siguiente posibilidad: en la cocina empieza un incendio de forma que la sartén se calienta, entonces la botella de aceite que está al lado de la sartén explota y desparrama aceite en la sartén; entonces, producto de los desmoronamientos de la casa, una viga pega en una cesta con huevos, y uno de ellos va a parar directamente adentro de la sartén. Si bien va a ser un huevo frito hecho en condiciones un poco *exóticas* y a costa de haberse quemado una casa, es un huevo frito al fin y al cabo, hecho en ausencia de un cocinero. Fíjense que para que el huevo frito se haga bien, primero hay que calentar la sartén, después echar el aceite y por último agregar el huevo, es decir, los acontecimientos tienen una temporalidad definida para llegar a un resultado específico.

En relación con la existencia o no del cocinero, esto es algo que discutiremos más adelante, pero les adelanto mi postura: si hay infinitas cocinas en las que hay aceite, un huevo y una sartén, hay una probabilidad distinta de cero de que en alguna se cocine un huevo frito en ausencia de un cocinero, producto de eventos al azar (como el evento del incendio que les acabo de relatar). Por supuesto no es una refutación de la existencia de Dios, es simplemente el esbozo de una explicación causal alternativa.

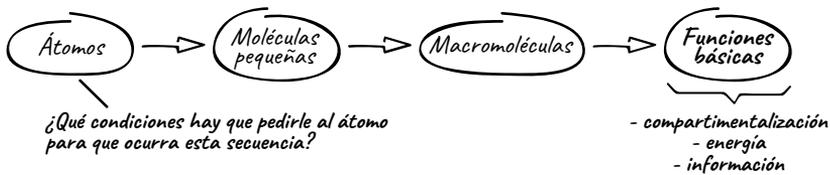
## **¿Hacemos la sopa de carbono o de silicio?**

En este punto podríamos hacernos la siguiente pregunta: ¿los átomos que se podrían utilizar en el proceso de construcción de la vida en cualquier parte del universo, deben ser necesariamente los mismos que se usaron en el caso de la Tierra o pueden ser otros? ¿Es posible que exista otro conjunto de átomos diferentes que conduzcan a una química que permita la aparición de la vida? La pregunta es importante porque trata de especular acerca de cuán estrictas son las condiciones químicas iniciales que debieron originarse para que pudiera aparecer la vida o, planteado de otra forma, lo que nos preguntamos es si esa mezcla química inicial,

que vamos a llamar sopa primordial, es una sopa que necesariamente tiene que contener carbono como principal componente, o ese lugar lo puede ocupar algún otro elemento, como por ejemplo el silicio.

Si tuviésemos que contestar esta pregunta con el único ejemplo de sistemas vivos que conocemos, el de la Tierra, la respuesta sería: el átomo de carbono (C) es esencial. Ahora, nuevamente, el hecho de que la vida se haya desarrollado en la Tierra en base a carbono ¿es una casualidad?, ¿o es un imperativo del universo? Para intentar contestar esta pregunta veamos cuál sería la secuencia de eventos en los que los átomos asociados a los procesos de la vida deberían participar. Para ayudarnos, lo que podemos hacer es pensar en los pasos de complejización consecutiva que siguió la materia al organizarse en el caso de la Tierra (figura 22).

**Figura 22.** Secuencia de complejización creciente de la materia



Fuente: elaboración propia.

Una primera condición que los átomos involucrados en el desarrollo de la vida deberían cumplir es poder asociarse, formando en primer lugar moléculas sencillas y pequeñas. Cuando digo moléculas sencillas y pequeñas me refiero a moléculas de unos pocos átomos como agua ( $H_2O$ ), amoníaco ( $NH_3$ ), ácido cianhídrico ( $HCN$ ) o metano ( $CH_4$ ). Es decir, el tipo de moléculas que se podrían usar como insumo (reactivo) en un experimento de *síntesis* (cocinado o preparación) de moléculas más complejas. Dicho de otra forma, estas moléculas sencillas deberían ser capaces de transformarse para dar otras moléculas con un grado de complejidad un poco mayor. Este grado de complejidad un poco mayor sobre todo debe estar asociado a la posibilidad de formar polímeros (polimerizar), que son moléculas muy grandes, que pueden obtenerse uniendo moléculas más sencillas (monómeros), y de cuya complejidad emergen, es decir, resultan, propiedades químicas *superiores* (estructurales, catalíticas o de reconocimiento). Esta línea de construcción de moléculas más complejas es necesaria porque los procesos más básicos de cualquier ser vivo, como por ejemplo la generación de energía y la transmisión de información de una generación a la siguiente, van a requerir moléculas complejas, y esa complejidad es posible de alcanzar con las moléculas poliméricas, obtenidas a partir de otras moléculas más sencillas.

Ahora, volviendo a la pregunta original que nos habíamos planteado sobre el átomo a elegir para desarrollar la vida: ¿qué características debería tener la quí-

mica del átomo que elijamos? Entre las características que podríamos imaginar sería conveniente que el átomo pudiera formar cadenas (concatenarse). Si tenemos que formar moléculas complejas siempre es más sencillo cuando es posible armar un soporte (esqueleto) de átomos. A su vez, sería muy útil que esos átomos pudieran adoptar diferentes geometrías (*ladrillitos de Rasti, o Lego, de diferente forma*: eso es lo que los químicos denominamos diferentes geometrías). Además de formar esqueletos estables el átomo que elijamos debería tener la capacidad de poder hacer uniones con otros átomos que tuvieran alguna *característica electrónica distinta*, es decir, alguna particularidad electrónica que rompa la monotonía de la estabilidad del esqueleto. La estabilidad química en este caso es sinónimo de muerte: para poder desarrollar la vida necesitamos que las moléculas tengan la capacidad de transformarse. Haciendo un recorrido por la tabla periódica de los elementos (figura 23), y teniendo en cuenta los requisitos que acabamos de establecer, surgen en principio dos candidatos que tienen más ventajas sobre los demás: el carbono y el silicio. Luego hay un grupo de semejantes de esos líderes que necesariamente van a tener que acompañarlos para que las moléculas tengan la capacidad de transformarse: son esencialmente el hidrógeno (H), el nitrógeno (N), el oxígeno (O), el fósforo (P) y el azufre (S). Por supuesto que la mayoría de los elementos de la tabla periódica son esenciales para la vida: sin sodio (Na) y potasio (K) no habría potenciales de membrana, sin hierro (Fe) sería otro el mecanismo de transporte del O<sub>2</sub>, sin calcio (Ca) no habría huesos, etcétera, pero vamos a restringir la discusión al elemento que podemos denominar *líder*, por su rol central.

**Figura 23.** Elementos importantes para el desarrollo de la vida

Metales ligeros IA IIA												No metales						He
H	Li	Be	Metales de transición										B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	III B	IV B	VB	VIB	VII B	VIII B	IB	IIB	Al	Si	P	S	Cl	Ar			
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Lr	Ku	Hn														
S. de los lantánidos		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb			
S. de los actínidos		Ac	Th	Pa	u	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Fm	Md	No	No			

Fuente: elaboración propia.

Veamos cuáles son las características del carbono:

- Puede formar enlaces muy estables con otros átomos de carbono (más que cualquier otro no metal), lo que le confiere la propiedad de formar cadenas largas y estructuras cíclicas. También puede formar enlaces estables con hidrógeno, nitrógeno y oxígeno.
- Tiene accesibles tres geometrías diferentes (tetraédrica, plana trigonal y lineal). Esto quiere decir que el carbono viene en tres formas, como si fueran tres conectores diferentes de un Rasti atómico, que permiten moléculas con distintas geometrías.
- La reacción de muchos de sus compuestos con oxígeno ( $O_{2(g)}$ ) libera una gran cantidad de energía aprovechable.
- El hecho de que dos de las moléculas más sencillas del carbono, el metano ( $CH_4$ ) y el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) sean gases facilita que estén disponibles en cualquier parte (simplifican el problema de la logística de este elemento).
- El carbono puede generar moléculas tanto solubles como insolubles en agua.

Características del silicio:

- Forma uniones (enlaces) estables con otros átomos de silicio, pero energéticamente son un poco más inestables que los enlaces carbono-carbono.
- Los enlaces que forma con el oxígeno son mucho más estables que los enlaces silicio-silicio, lo que puede hacer que compuestos que contengan oxígeno (como el oxígeno molecular) reaccionen violentamente con él.
- El silicio no tiene asociadas distintas geometrías como el carbono y, lo que es más serio, no forma lo que los químicos llamamos enlaces múltiples (dobles y triples), fundamentales para que un tipo de transformaciones (reacciones) que se llaman de adición y de eliminación puedan ocurrir.
- Los polímeros formados por uniones silicio-silicio son incompatibles con el agua porque reaccionan con ella.
- La forma más sencilla del silicio es el dióxido de silicio ( $SiO_2$ ), que en realidad es un compuesto polimérico que todos conocemos: la arena. La arena tiene la desventaja frente a su primo hermano de base carbonada ( $CO_2$ ) de que es un sólido (tiene una logística de distribución más difícil) y es insoluble en agua.

Estas son algunas de las razones que nos llevan a pensar que el carbono es un elemento muy difícilmente reemplazable en el proceso de desarrollo de la vida. Pero hay un dato experimental adicional que creo que no es menor: se han llevado adelante estudios sobre la composición de las moléculas de muchos meteoritos que impactaron contra la Tierra, probablemente el más famoso es el caso del meteorito Murchinson.<sup>1</sup> Cuando se analizó su contenido se encontraron cantidades sig-

---

1 Y. Huang, M. R. Alexandre. "Structure and isotopic ratios of aliphatic side chains in the insoluble organic matter of the Murchison carbonaceous chondrite". *Earth Planet. Sci. Let.* 259, 517-525, 2007.

nificativas de ácidos carboxílicos, aminoácidos, hidroxiácidos, amidas, alcoholes, aldehídos, cetonas, hidrocarburos alifáticos y aromáticos, y cantidades pequeñas pero detectables de bases purínicas y pirimidínicas, todos ellos compuestos de carbono. Pero el único compuesto de silicio que se encontró fue arena. Me parece que este es un resultado que podríamos pensar que se obtuvo en un *laboratorio extraterrestre*, dado que los meteoritos tienen órbitas en general alejadas de la Tierra y sus condiciones ambientales son muy diferentes de las de nuestro planeta. Pero lo destacable es que, aun en esas condiciones, se produjo una gran cantidad de compuestos de carbono, pero solo uno de silicio.

## ¿A la sopa le agregamos agua?

Aunque aún no hemos discutido cuáles podrían ser los requisitos necesarios para el desarrollo de la vida, parecería razonable que uno de ellos fuera que la vida se desarrollara en fase líquida. Esto quiere decir que todas las transformaciones necesarias para que la vida pueda sostenerse deberían desarrollarse en el seno de algún disolvente, es decir, un líquido que permita tener a las sustancias involucradas en los procesos vitales en disolución. Hay algunas razones adicionales para pensar en un sistema en disolución en fase líquida como el más apropiado para sostener la vida. Entre estas razones podemos mencionar las siguientes:

- Es el estado con condiciones de energía intermedia entre el sólido y el gaseoso, de forma que los procesos de ruptura y formación de enlaces pueden encontrar en él algún conjunto de condiciones favorables.
- Permite el movimiento molecular fluido, cosa que no es posible en el estado sólido.
- Permite tener en disolución tanto compuestos iónicos como moleculares pequeños y grandes.
- Tiene una frontera inferior de temperatura (el punto de fusión: PF) y una frontera superior (el punto de ebullición: PE), de forma que establece una condición, un rango, para que todas las reacciones asociadas a la vida ocurran dentro de ese rango térmico, y por lo tanto evita *esfuerzos* de la naturaleza para desarrollar reacciones en condiciones extremas.

Ahora, si estamos de acuerdo en que el estado líquido podría ser una condición necesaria para el desarrollo de la vida, la siguiente pregunta que podríamos hacernos es: bueno ¿y qué disolvente vamos a usar? Es una excelente pregunta porque en nuestro universo existen muchos compuestos moleculares que podrían estar en fase líquida, además del agua. Por mencionar algunos: el amoníaco ( $\text{NH}_3$ : PF =  $-78^\circ\text{C}$ , PE =  $-33^\circ\text{C}$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ : PF =  $-183^\circ\text{C}$ , PE =  $-162^\circ\text{C}$ ), el cianuro de hidrógeno ( $\text{HCN}$ : PF =  $13,4^\circ\text{C}$ , PE =  $25,6^\circ\text{C}$ ), el fluoruro de hidrógeno ( $\text{HF}$ : PF =  $-35^\circ\text{C}$ , PE =  $108^\circ\text{C}$ ) y la hidrazina ( $\text{N}_2\text{H}_2$ : PF =  $1^\circ\text{C}$ , PE =  $114^\circ\text{C}$ ). Como se dijo, PF significa

punto de fusión y PE punto de ebullición. Entonces podríamos reformular la pregunta anterior de la siguiente forma: para un planeta rocoso con determinadas condiciones de presión (P) y temperatura (T), ¿cuál sería el disolvente más adecuado para desarrollar la vida? Tal vez la primera respuesta, hecha desde el sentido común, provenga de la perspectiva de la necesidad: el disolvente más adecuado será el más abundante. Esto establece una primera restricción entre los posibles disolventes disponibles en el universo, no todos tienen presumiblemente la misma abundancia. Si repasamos la lista de candidatos que mencioné unas líneas atrás, verán que todos tienen H en su estructura, que es el elemento más abundante en el universo, pero además tienen otro elemento constitutivo, que seguramente es el que se transformó en limitante de su abundancia. Si volvemos atrás a mirar la figura 13b. A, del capítulo 2 (pág. 46), verán que el oxígeno es el doble de abundante que el carbono y diez veces más abundante que el nitrógeno, y mucho más abundante que el flúor, por lo que es razonable pensar que el agua sea uno de los compuestos moleculares más abundantes en términos relativos en el universo, y en menor medida el metano y mucho menos el amoníaco. Ahora, además del problema de la abundancia cósmica, las condiciones ambientales de presión (P) y temperatura (T) de un determinado planeta son fundamentales, porque podría ocurrir que en unas determinadas condiciones, supongamos de alta P y muy baja T, el agua fuera un compuesto muy abundante, pero estuviera solidificada (formando hielo), y entonces las fases líquidas de ese planeta serían de otro compuesto (por ejemplo amoníaco).

Si bien todavía hay discusiones en la comunidad astrobiológica acerca de si el agua es *el disolvente esencial* para el desarrollo de la vida en cualquier parte del universo,<sup>2</sup> les voy a dar algunas razones por las cuales yo creo que el agua tiene condiciones excepcionales como disolvente para los procesos vitales. Creo que la elección del mejor *disolvente vital* no puede hacerse sin tener en cuenta qué química vamos a utilizar para desarrollar la vida. En este sentido, ya nos habíamos puesto de acuerdo en la sección anterior: la química del átomo de carbono parece excepcional para desarrollar la complejidad. Para empezar, el agua es un disolvente que tiene la habilidad de disolver grandes cantidades de compuestos iónicos (como el cloruro de sodio, la sal de mesa) y compuestos orgánicos pequeños como aminoácidos y azúcares, todos ellos fundamentales para que puedan ocurrir reacciones de formación de nuevas moléculas. En segundo lugar el agua existe en fase líquida en un rango térmico lo suficientemente amplio para que la química orgánica sea viable, es decir, para que las transformaciones de las moléculas que contienen carbono puedan ocurrir. Por otro lado es un disolvente con propiedades que yo llamaría *en un justo medio* (es un disolvente budista...), tiene lo que los químicos llamamos un carácter ácido-base intermedio, lo que quiere decir que en su seno pueden ocurrir reacciones de transferencia de protones en disolución. Tiene otra propiedad, que los químicos llamamos capacidad de óxido-reducción, moderada, que permite

2 D. Shulze-Makuch, L. N. Irwin. *Life in the Universe*, capítulo 7. Berlín: Springer, 2008.

que también en sus soluciones pueda ocurrir innumerable cantidad de este tipo de transformaciones redox (de transferencia de electrones).

Hay otras dos propiedades más que hacen del agua un disolvente muy particular. La primera está relacionada con el hecho de que la densidad del agua sólida, el hielo, sea menor que la del agua líquida. Esta diferencia entre la densidad del agua sólida y líquida permite que un cubito de hielo flote en la superficie de un vaso de agua. Este hecho es bastante particular del agua, no hay muchos otros ejemplos de sustancias cuya fase sólida tenga una densidad menor que su fase líquida. Esto tiene una consecuencia fundamental en los períodos de congelamiento de las fuentes naturales de agua (lagos y océanos): el agua se congela superficialmente, pero en general no se congela por debajo de esa capa superficial, con lo que permite que la vida se conserve. Es más, la capa de hielo que se produce superficialmente funciona como un aislante térmico y evita que parte del calor del agua líquida que se encuentra por debajo se vaya a la atmósfera. La otra propiedad interesante del agua está asociada a su reacción de descomposición en hidrógeno y oxígenos moleculares. Es muy probable que cuando la Tierra empezó a solidificar su corteza externa, parte del agua que existía en su atmósfera se haya descompuesto fotoquímicamente en hidrógeno, que se fue al espacio exterior por ser muy liviano, y oxígeno molecular ( $O_2$ ). Este oxígeno podría haber reaccionado en la alta atmósfera en presencia de la luz ultravioleta (UV) proveniente del Sol para dar ozono ( $O_3$ ), que pudo haber contribuido a la aparición del escudo protector de la capa de ozono, sin el cual la vida sobre la superficie rocosa de nuestro planeta no podría haberse desarrollado.

### **¡Uy, pero qué casualidad...! (6)**

Si la Tierra no hubiera sufrido el bombardeo de una serie de cometas ricos en agua, no hubiese tenido ni océanos ni lagos en los cuales desarrollar las reacciones fundamentales para la vida.

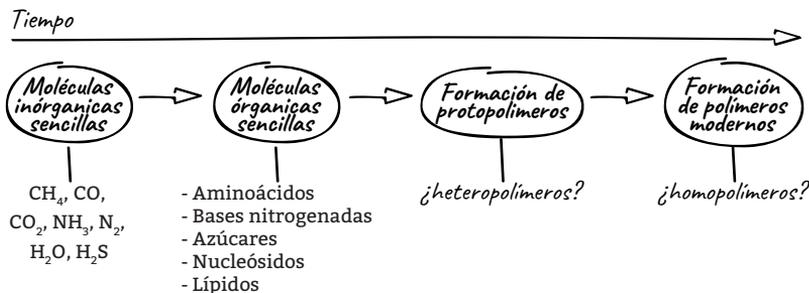
## **La vida a partir del carbono y el agua**

Pero volvamos ahora sobre el tema de las condiciones químicas iniciales de la Tierra: ¿cuáles fueron las condiciones que permitieron la aparición de la vida?

En el capítulo anterior nos habíamos quedado con un planeta rocoso, caliente, con grandes océanos, probablemente calientes también, y con una atmósfera. Es decir, nuestro planeta estaba compuesto por la litósfera (rocas), que constituía la tierra firme, esencialmente formada por silicatos, aluminatos y carbonatos. Debajo de esa litósfera existía un manto de rocas fundidas que producía actividad volcánica (como vimos en el capítulo 2), ayudando a inyectar gases en la atmósfera. Pero esa atmósfera original de nuestro planeta era muy distinta de la

actual. Estaba fundamentalmente constituida por los gases formados en el espacio interestelar y que quedaron atrapados por la fuerza de gravedad de la Tierra, o que llegaron en la forma de sólidos en los cometas durante la etapa del *gran bombardeo*. Esos gases fueron fundamentalmente: nitrógeno ( $N_2$ ), el componente mayoritario de nuestra atmósfera; metano ( $CH_4$ ), el componente fundamental del gas de nuestras hornallas; monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), probablemente algo de hidrógeno ( $H_2$ ), amoníaco ( $NH_3$ ), sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), dióxido de azufre ( $SO_2$ ) y agua ( $H_2O$ ), todos ellos formados luego de la explosión de la estrella masiva que dio origen al disco de acreción de nuestro sistema solar. Ahora, si queremos partir de algo tan sencillo como estas pequeñas moléculas inorgánicas con unos pocos átomos para construir algo tan complejo como una célula, deberíamos plantearnos un camino que a su vez implique la construcción de sucesivas moléculas cada vez más complejas. Es decir, vamos a necesitar moléculas más grandes y con diferentes estructuras (formas), mucho más complejas que las de la lista de la sopa primordial. Se supone que la línea temporal de *evolución química* que ocurrió tuvo la siguiente serie de eventos: de las moléculas inorgánicas sencillas a las moléculas orgánicas sencillas usando al carbono como átomo fundamental, y de estas a los polímeros orgánicos, es decir las moléculas orgánicas complejas formadas por la unión de muchas moléculas orgánicas sencillas (figura 24).

**Figura 24.** Línea temporal de complejización creciente de las moléculas



Fuente: elaboración propia.

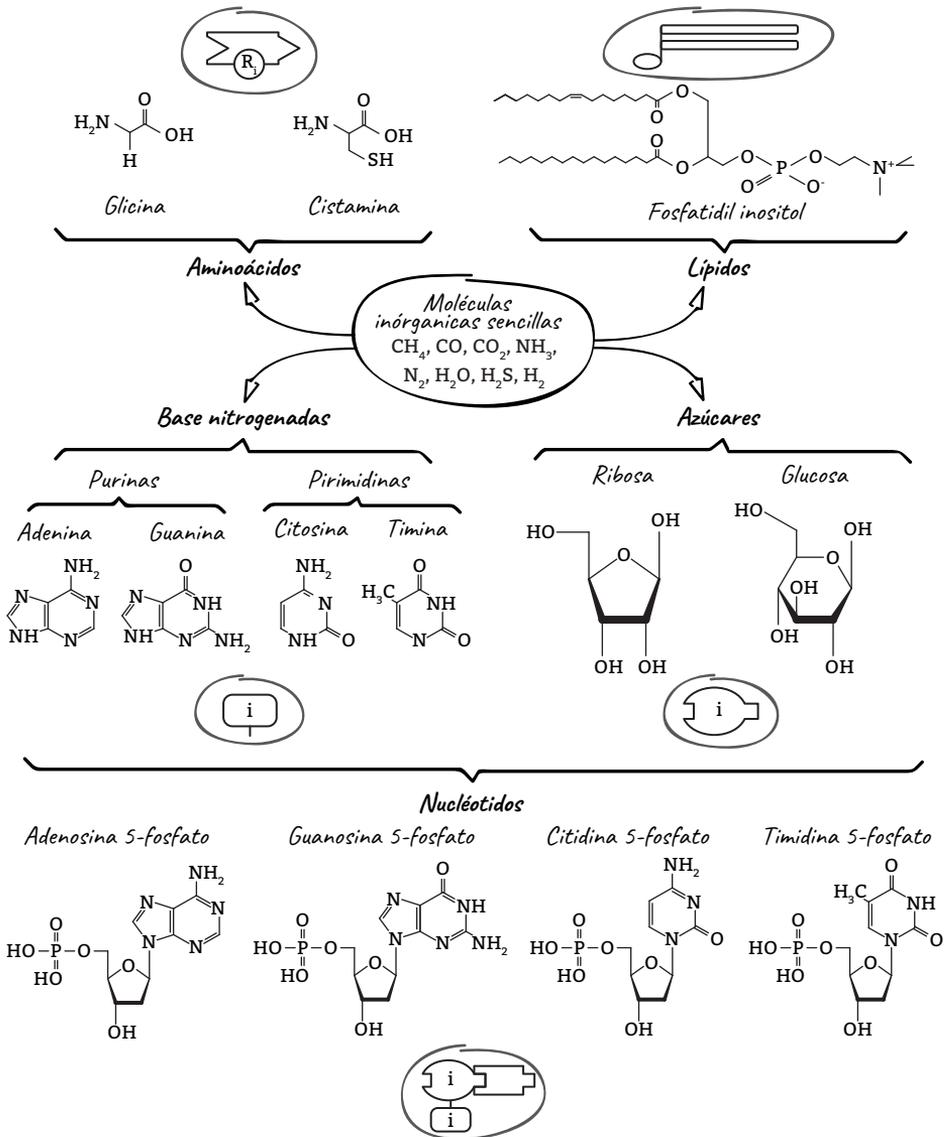
Algunas explicaciones necesarias para aquellos lectores que no están familiarizados con la química. Las moléculas que acabamos de nombrar como constituyentes de la atmósfera se denominan *inorgánicas* (podríamos discutir el caso del metano) porque no tienen átomos de carbono unidos entre sí formando cadenas. La capacidad de formar cadenas, como vimos en la sección anterior, es una característica de las moléculas con carbono que llamaremos moléculas *orgánicas* (por provenir de los "órganos" de los seres vivos). Como discutimos previamente,

estas moléculas están formadas esencialmente por átomos de carbono unidos, formando un esqueleto (como los huesos de nuestro propio esqueleto) sobre el cual aparecen enlazados otros átomos (como los músculos de nuestro esqueleto están enlazados a los huesos). Estos átomos son hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y fósforo, entre los más abundantes. Con estos cinco elementos la naturaleza creó, en unos pocos cientos de millones de años luego del gran bombardeo, la familia de las moléculas orgánicas, que luego *ensambló* para formar la primera célula. Estamos hablando de la naturaleza metafóricamente, como si pudiera crear –quiero aclarar que es una manera poética de hablar, no quiero transmitir la idea de que la naturaleza sea un ente extraño con voluntad creativa.

Volviendo entonces sobre la idea de la *evolución química* planteada en la figura 24, déjenme contarles la siguiente metáfora a ver si puedo aclarar un poco esta idea de construcción de la complejidad. Imagínense que tuviéramos que construir una casa, pero que por alguna razón no pudiéramos comprar los materiales en un corralón. Esto implicaría que tendríamos que rebuscárnoslas para hacer nosotros mismos los ladrillos, el cemento, las vigas de hierro, las tejas, etcétera. Supongamos que empezáramos por hacer los ladrillos, tendríamos que ir a buscar arcilla a algún suelo y cocinarla en forma rectangular en un horno. Así, la materia prima sería la arcilla y nuestro producto sería un ladrillo. En esta metáfora, la arcilla es la mezcla de moléculas inorgánicas sencillas y los ladrillos serían por ejemplo una de las familias de moléculas orgánicas sencillas: los aminoácidos, las bases nitrogenadas, los azúcares o los nucleótidos que les presenté en la figura 24. Es decir, es posible hacer un ladrillo, algo que tiene un fin constructivo, a partir de algo más sencillo como la arcilla. En esta metáfora lo que quiero enfatizar es que es posible obtener moléculas orgánicas a partir de moléculas inorgánicas sencillas. Las moléculas orgánicas sencillas que aparecen mencionadas en la figura 24, y que representamos con algunos ejemplos en la figura 25, pertenecen a las cuatro grandes familias de moléculas orgánicas naturales que son fundamentales para *armar* cualquier ser vivo. Lo que tienen en común todas ellas es que derivan de un conjunto relativamente pequeño de moléculas inorgánicas sencillas, que en determinadas condiciones experimentaron transformaciones (reacciones) que las llevaron al mundo de las moléculas orgánicas.

Dediquemos un breve momento a mencionar cuál es la utilidad de cada una de estas familias de compuestos orgánicos.

**Figura 25.** Las familias de las moléculas orgánicas naturales



Fuente: elaboración propia.

Los aminoácidos son un grupo de moléculas que se caracterizan por poder *engancharse* = *conectarse* unas con otras como si fueran los ladrillitos del Rasti. Esto

es posible por la existencia en la molécula de un conjunto de átomos de carbono, oxígeno y nitrógeno, que se denomina grupos funcionales. Los aminoácidos tienen dos grupos funcionales básicos, un grupo ácido carboxílico (COOH) y un grupo amino (NH<sub>2</sub>). Estos dos grupos funcionan como conectores, de forma tal que es posible conectar un aminoácido con otra molécula distinta de aminoácido. Los aminoácidos, aparte de estos grupos funcionales constantes (ácido carboxílico y grupo amino), tienen una zona variable, que se representa con R<sub>i</sub> en la figura 25 y que puede tener propiedades variables (tanto físicas como químicas). En la figura 25 se representan como ejemplos las moléculas de glicina y cistamina, dos de los 22 aminoácidos esenciales para nuestra vida. Podemos simplificar las características químicas de los aminoácidos representándolos como pequeños rectángulos con dos acoples (una cuña y una hendidura) junto con una zona variable R<sub>i</sub> (figura 25).

Por otro lado tenemos a la familia de los lípidos. Este es un grupo de moléculas que pueden tener estructuras diferentes (los más grandes seguramente alguna vez se habrán hecho un análisis de sangre en el que les midieron triglicéridos y colesterol, que son lípidos pero de estructura química muy diferente). Lo que tienen en común los lípidos, a diferencia de los aminoácidos, es que no les gusta el agua, no se disuelven en ella, aun en pequeñas cantidades. La molécula que está representada en la figura 25 es el fosfatidil inositol, una molécula que tiene dos cadenas carbonadas (esas líneas en zigzag) formadas por átomos de carbono unidos entre sí (además de a otros átomos de hidrógeno). Esas cadenas carbonadas tienen la propiedad de disminuir la solubilidad en agua. Pero por otro lado la molécula tiene un grupo iónico (con carga eléctrica) que aumenta su solubilidad en agua. Las moléculas con una parte que aumenta la solubilidad en agua y otra que la disminuye se llaman anfifílicas. Cuando las sustancias anfifílicas se agitan con agua, tienen la propiedad de formar micelas, que son pequeñas esferitas formadas por una pared de moléculas que encierran agua en su interior. Esto es lo que sucede cuando disolvemos detergente en agua o cuando frotamos el jabón con el que nos bañamos contra una esponja. Volveremos más adelante sobre esta propiedad.

Luego tenemos a la familia de las bases nitrogenadas. Estas son moléculas planas formadas por átomos de carbono, nitrógeno, oxígeno e hidrógeno, y las que tienen relevancia biológica básicamente son cinco: adenina, guanina, citosina, timina y uracilo, que es un primo hermano de la timina (figura 25).

Otra familia importante de moléculas es la de los hidratos de carbono, que es un grupo de compuestos, en general cíclicos, que tienen grupos hidroxilo (OH) y que por lo tanto los hacen muy solubles en agua. Los hidratos de carbono, al igual que los aminoácidos, tienen la posibilidad de unirse unos a otros, es decir, pueden polimerizar. La unión entre moléculas diferentes se hace gracias a dos tipos de grupo funcional, un hidroxilo (OH) y un hemiacetal o hemicetal, que representamos como una esferita con un conector rectangular macho y un conector rectangular hembra (figura 25). Es importante señalar que la *conexión* entre aminoáci-

dos es químicamente diferente de la conexión entre hidratos de carbono (como si fueran fichas eléctricas macho y hembra de dos países diferentes).

Ciertos hidratos de carbono, la ribosa y la desoxirribosa, se pueden unir a las bases nitrogenadas para dar una molécula más compleja, que además tiene un grupo fosfato ( $\text{PO}_4\text{H}_2$ ) en uno de sus extremos. Esta combinación de azúcar más base nitrogenada, más fosfato, se conoce como nucleótido, y constituye el fundamento de nuestro sistema de almacenamiento de información: el ácido desoxirribonucleico (ADN) y el ácido ribonucleico (ARN). Los nucleótidos tienen también la posibilidad de unirse unos con otros, pero no lo hacen como los azúcares sino a través de las uniones fosfato, por eso los representamos con un conector rectangular adicional (figura 25).

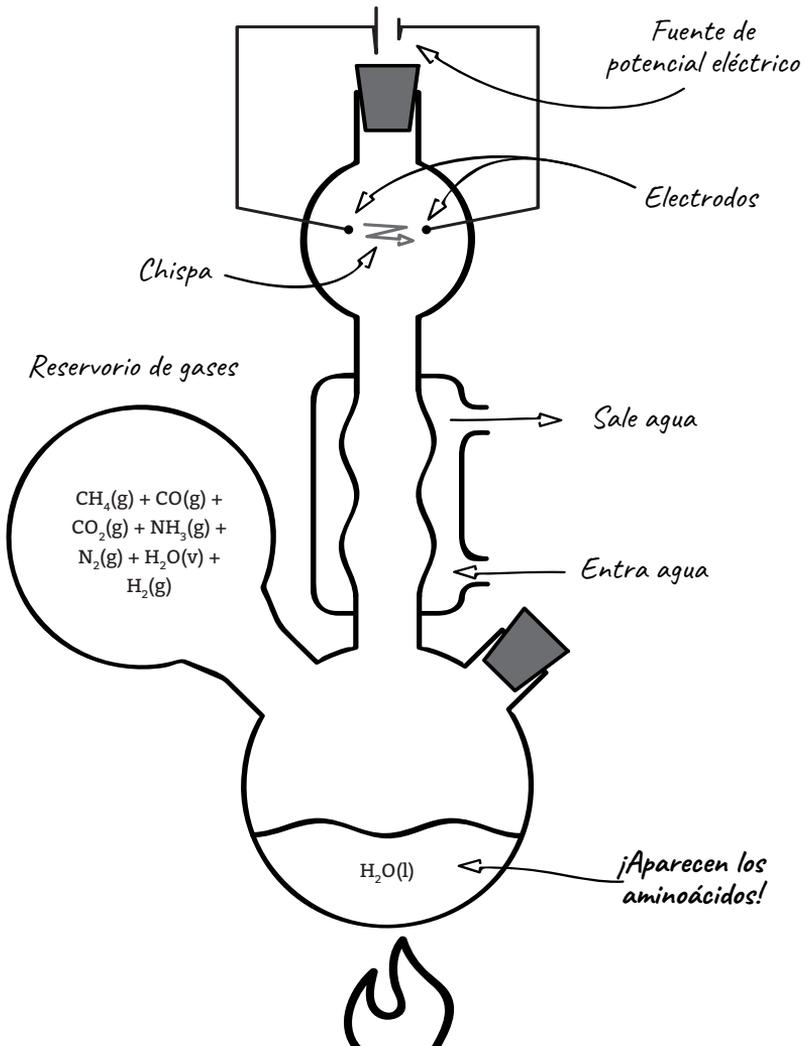
La pregunta que podríamos hacernos en este punto es: ¿cómo podemos construir estas cuatro familias de moléculas orgánicas sencillas a partir de nuestra lista de moléculas inorgánicas? ¿Cómo son los caminos (los químicos decimos “mecanismos”) que estas moléculas transitan para transformarse? Esta misma pregunta se la formuló en 1952 Stanley Miller, que en esa época estaba haciendo su tesis doctoral con Harold Urey, que había recibido unos años antes el Premio Nobel de Química por su trabajo de separación de isótopos. Urey y Miller por ese entonces estaban interesados en estudiar cómo habían surgido las moléculas orgánicas a partir de los compuestos inorgánicos, para lo cual diseñaron un experimento sencillo (figura 26).

La figura 26 intenta ser una representación, un tanto libre, del dispositivo que utilizó Miller para llevar adelante su experimento (valga mi reconocimiento aquí a los estudiantes de posgrado que son los que siempre trabajan...). Miller puso en un balón (esfera de vidrio con tres bocas, figura 26) agua, y le conectó un reservorio con gases (globo de la izquierda, figura 26), donde cargó lo que supuso podría haber sido la composición original de la atmósfera terrestre ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_3$  y  $\text{H}_2$ ). La diferencia fundamental con la actual composición de nuestra atmósfera es que no colocó oxígeno ( $\text{O}_2$ ), porque para ese entonces ya se sabía que el origen del oxígeno había sido posterior a la aparición de la vida y producido precisamente por los primeros organismos fotosintetizadores (hablaremos de esto más adelante). Arriba del balón colocó un refrigerante (tubo con una camisa por donde entra y sale agua, figura 26), para que al calentar el balón con un mechero el agua que bullera (hirviera), condensara y volviera al balón simulando lluvia. Arriba del refrigerante colocó dos electrodos (dos chapitas) conectadas a una fuente de potencial eléctrico (por ejemplo una batería). Esos electrodos permitían que saltara una chispa entre ellos, lo que simulaba la actividad eléctrica de las tormentas que Miller supuso existieron 4000 millones de años atrás en la Tierra y que pudieron actuar como fuente de energía para que ocurriesen estas reacciones. Cuenta la leyenda que Miller se sentó en el laboratorio al lado de su dispositivo disparando una y otra vez la descarga eléctrica para simular los rayos mientras mantenía en ebullición el agua. Al principio no pasó nada, pero a medida que los días avanzaron el agua del balón comenzó a ponerse amarillenta, y entonces Mi-

llegó a sacar una porción de esa solución para analizar qué contenía, porque tenía que haber algo que la hubiese vuelto amarilla. Al estudiar qué había en el agua, sorprendido descubrió que había grandes cantidades de moléculas orgánicas, sobre todo aminoácidos como glicina y alanina, junto con otras moléculas orgánicas (algunas de ellas listadas en la figura 27).



Figura 26. Esquema del experimento de Miller-Urey



Fuente: elaboración propia.

El resultado del ensayo fue sorprendente, porque permitió comprobar experimentalmente que era posible obtener aminoácidos a partir de una mezcla sencilla de gases, utilizando una fuente de energía natural como los rayos eléctricos. Si bien las condiciones que Miller y Urey utilizaron en su experimento seguramente no reproducían exactamente las de la Tierra hace 4000 millones de años, el experimento probaba conceptualmente que las primeras moléculas orgánicas sencillas se pudieron formar a partir de compuestos inorgánicos, y esto es un avance en la explicación de la evolución de la complejidad creciente del universo. Desde el año 1952 hasta el presente, el experimento de Miller-Urey se ha repetido innumerable cantidad de veces, variando los gases de la mezcla y sus concentraciones, en presencia de distintos minerales, dando origen siempre a una variada cantidad de moléculas orgánicas, fundamentalmente aminoácidos.

Por supuesto, el paso siguiente fue tratar de determinar cuál era el camino a través del cual la mezcla de gases se transformaba en aminoácidos; como les decía antes, es lo que los químicos denominamos mecanismo de reacción. La conclusión fue que el mecanismo era el de una vieja y conocida reacción, la síntesis de Strecker, que supone la formación de aldehídos como compuestos intermedios. Esto produjo en la época un estado de euforia que llevó a mucha gente a creer, equivocadamente, que se iba a revelar el secreto de la vida en unos pocos años (justamente en esos años también se determinó la estructura de doble hélice del ADN). Nada más alejado de la realidad, faltaba todavía explicar, para empezar, cómo era que se habían formado las otras tres familias de compuestos, los lípidos, los azúcares y los nucleótidos. La búsqueda de estas respuestas ha constituido un campo que hoy se denomina *química prebiótica*, y que se ocupa de elaborar hipótesis, y tratar de comprobarlas experimentalmente en el laboratorio, acerca de cómo pudo haber sido el conjunto de transformaciones químicas desplegadas en el tiempo que permitió el paso de la química inorgánica a la orgánica, y de esta a la bioquímica.<sup>3</sup>

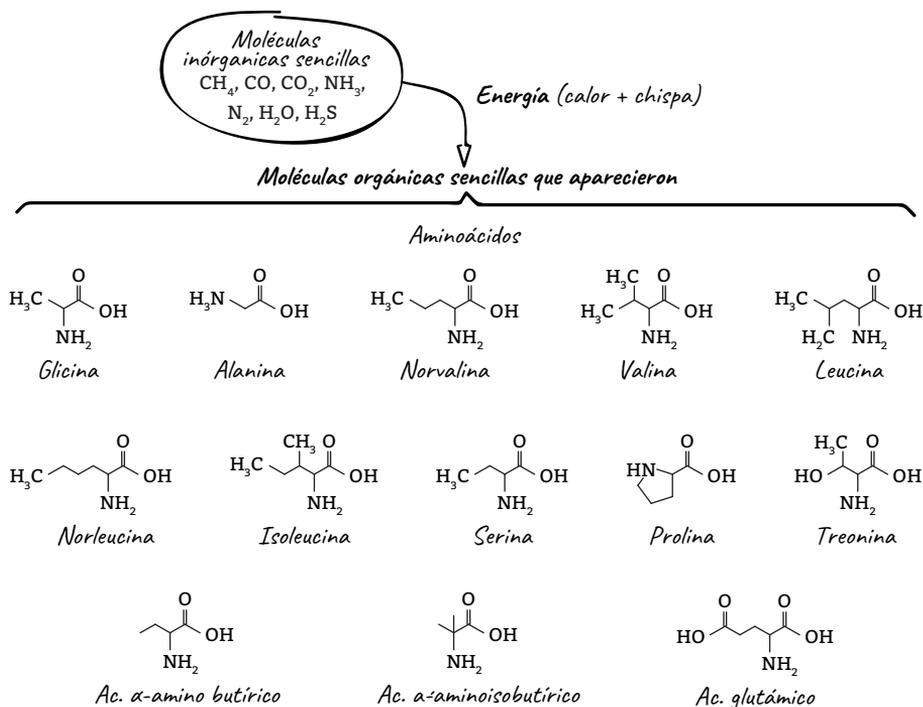
Un hecho interesante es que en el experimento de Miller-Urey no se produjeron cantidades significativas ni de lípidos, ni de azúcares ni de bases nitrogenadas o nucleótidos, lo cual quiere decir que las condiciones de este experimento no representaban en términos generales las condiciones que existieron sobre la Tierra hace 4000 millones de años, al menos en forma completa. Esta afirmación no es difícil de aceptar si se piensa en el amplio rango de condiciones de temperatura, humedad, presión, acidez, sales disueltas, minerales presentes, radiación solar, etcétera, que existe hoy sobre nuestro planeta. En la actualidad las variaciones de estas condiciones son enormes: desde el fondo de las fosas Marianas a 11.000 m de profundidad en el océano, pasando por la llanura pampeana o el desierto subsahariano hasta la Antártida. Entonces, si la variación es tan grande en nuestra actual Tierra, tanto más pudo haber sido en sus orígenes, cuando algunas variables, como la temperatura o la radiación solar, tenían valores mucho más

---

3 *Nature Chemistry* (focus number) 5(5), 349-438, 2013.

altos que los actuales. Es decir, no es improbable imaginar a la Tierra prebiótica como un gran laboratorio químico en el cual se ensayó un conjunto muy diverso de condiciones de reacción.

**Figura 27.** Moléculas orgánicas que aparecieron en el experimento de Miller-Urey



Fuente: elaboración propia.

Entonces, teniendo como premisa que las *condiciones químicas* sobre la Tierra primitiva pudieron haber sido bastante diversas, los caminos químicos que les voy a proponer hacia las bases nitrogenadas, los azúcares, los nucleótidos y los lípidos tal vez puedan ser aceptados como posibles. Insisto en el hecho de que el mérito de estos esfuerzos explicativos no radica en averiguar cuáles fueron ciertamente las condiciones químicas que dieron origen a estas familias de compuestos, condiciones que probablemente nunca conoceremos, sino que su logro radica en probar experimentalmente que existe al menos *algún conjunto de condiciones* a partir del cual estas moléculas pudieron haberse formado desde una serie de sustancias inorgánicas y orgánicas sencillas.

## Cocinando las otras tres familias

*Todavía nos falta explicar cómo pudieron haber aparecido en la naturaleza los azúcares, los lípidos y las bases nitrogenadas.*

Empecemos por una posible descripción de cómo podrían haber aparecido las bases nitrogenadas. En 1961 Juan Oró<sup>4</sup> descubrió que una mezcla acuosa de cianuro de hidrógeno (HCN) y amoníaco (NH<sub>3</sub>) a baja temperatura y en presencia de luz ultravioleta (UV) podía dar no solo una mezcla de aminoácidos, sino también pequeñas cantidades de adenina, una de las bases nucleares pertenecientes a la familia de las purinas (figura 25). El problema es que para que la reacción ocurra se necesita una altísima concentración de HCN, cosa que no es habitual en el agua. Una alternativa es pensar en soluciones saturadas de HCN a muy baja temperatura, de forma que al congelarse concentren pequeñas cantidades de ácido cianhídrico, que en presencia de luz UV pudieron haber dado origen a la adenina y la hipoxantina.

Oró y Miller<sup>5</sup> también propusieron un camino posible para la guanosina. Este camino también partía de ácido cianhídrico y amoníaco, pero en este caso fue necesario suponer la formación de un producto (NC-CN) que provenía de la dimerización del HCN, lo que es posible en presencia de luz UV (figura 28).

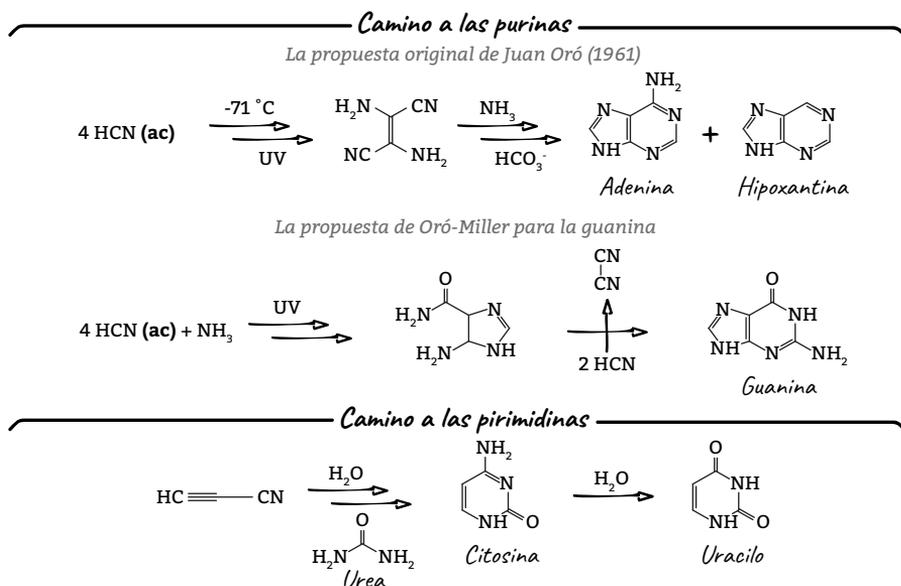
Faltaba explicar entonces la aparición de las pirimidinas. Oró y Miller nuevamente postularon la obtención de citosina (figura 28) a partir de cianoacetileno, urea y agua. Tanto el cianoacetileno como la urea se pueden formar en las condiciones de los experimentos de Miller-Urey. La citosina obtenida reaccionaba entonces lentamente con agua para dar uracilo, que es la última base necesaria para conformar el cuarteto de bases del ácido ribonucleico (ARN).

Nuevamente, insisto en que estos caminos de obtención de las bases purínicas y pirimidínicas propuestos por Oró y Miller no tienen por qué haber sido la forma en la cual estos compuestos aparecieron por primera vez. Pero esta hipótesis tiene la virtud de indicar con un ejemplo que estas moléculas orgánicas pueden obtenerse abióticamente, es decir, en ausencia de seres vivos. Ahora, si bien en muy pequeñas cantidades, en algunas variantes de los ensayos de Miller-Urey fue posible observar la presencia de bases purínicas y pirimidínicas. Pero en estos ensayos no fue posible encontrar ni trazas de las otras dos grandes familias de compuestos orgánicos, los azúcares y los lípidos, lo que presumiblemente podría deberse a que las condiciones necesarias para su aparición son notablemente diferentes de las de los ensayos de Miller y Urey.

4 J. Oró. "Comets and the formation of biochemical compounds on the primitive Earth". *Nature* 190, 389-390, 1961.

5 L. E. Orgel. "Prebiotic Chemistry and the Origin of the RNA World". *Crit. Rev. Biochem. Mol. Biol.* 39, 99-123, 2004.

**Figura 28.** Posibles caminos químicos de obtención de las purinas y pirimidinas



Fuente: elaboración propia.

Empecemos con la familia de los hidratos de carbono (azúcares). En 1861 Alexander Butlerow descubrió que al mezclar formaldehído ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) con hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) en solución acuosa se obtenía una gran cantidad de azúcares en solución, transformación que se denominó *reacción de la formosa*.<sup>6</sup> Esta reacción en principio podría explicar la aparición de la familia de los azúcares, ya que el formaldehído es una molécula de carbono sencilla, compatible con la complejidad molecular de comienzos de nuestro planeta, y el hidróxido de calcio (la cal) es también una sustancia abundante. Pero un problema asociado a la hipótesis de que la reacción de la formosa podría haber generado la familia de los azúcares está relacionado con la obtención de la ribosa, que es fundamental para explicar la existencia de los nucleótidos. La ribosa es un azúcar con cinco átomos de carbono (figura 25) que se produce en muy pequeñas proporciones en la reacción de la formosa. Es posible aumentar su proporción relativa aumentando la concentración de formaldehído en agua, lo que nos alejaría de condiciones prebióticas sencillas de imaginar. El segundo problema asociado a la ribosa está relacionado con su estabilidad en agua. La ribosa es una molécula con un tiempo de vida

<sup>6</sup> M. A. Butlerow. "Formation synthétique d'une substance sucrée". *Comptes Rendus des Séances de L'Académie des Sciences* (France). p. 145, julio-diciembre 1861.

bajo (del orden de décadas), por lo cual es difícil pensar cómo pudo acumularse en tiempos largos para reaccionar con las bases nitrogenadas y dar los nucleótidos (figura 25). Steve Beuner,<sup>7</sup> propuso una solución a esta parte del problema. Probó que en presencia de borato (mineral de boro) la ribosa obtenida en las condiciones del ensayo de la formosa se estabilizaba, y entonces era posible que se acumulara en agua. Esto se debe a un fenómeno de coordinación del azúcar sobre el bórax, que es bien conocido por los químicos, y que aporta una posible explicación para la estabilización y acumulación de este compuesto en una escala de tiempos geológicos.

Encaremos ahora el problema de tratar de pensar el origen de la última familia de moléculas orgánicas definidas en la figura 25: los lípidos. Estos compuestos, en particular los fosfolípidos, son fundamentales para armar los límites de los seres vivos, es decir las paredes exteriores de las células. Si queremos que aparezcan funciones complejas asociadas a un conjunto de reacciones químicas, esas reacciones deben estar en un solvente como el agua, y además en un espacio confinado por una frontera. El material con el cual se construye esa frontera es precisamente el material lipídico. Pero la existencia de los lípidos plantea un problema interesante para los científicos dedicados a estudiar la química prebiótica, y es que en general la estructura de estos compuestos está mayoritariamente formada por átomos de carbono e hidrógeno, que es lo que en el lenguaje de los químicos denominamos una *molécula reducida* (con un muy bajo contenido de oxígeno). La existencia de estos compuestos altamente reducidos es muy difícil de explicar con las condiciones de los ensayos de Miller-Urey, en los que la mayoría de los compuestos obtenidos contienen oxígeno y/o nitrógeno en su estructura. Esto quiere decir, en otras palabras, que los lípidos se deben haber obtenido por otras reacciones distintas de las que ocurren en los ensayos del tipo Miller-Urey. Una posible explicación es que los lípidos se hayan obtenido por un proceso reductivo (pérdida de oxígeno o ganancia de hidrógeno) de los azúcares por la acción de algunos minerales, como por ejemplo la troilita, que es esencialmente sulfuro de hierro (FeS) y que tiene un alto poder reductor.

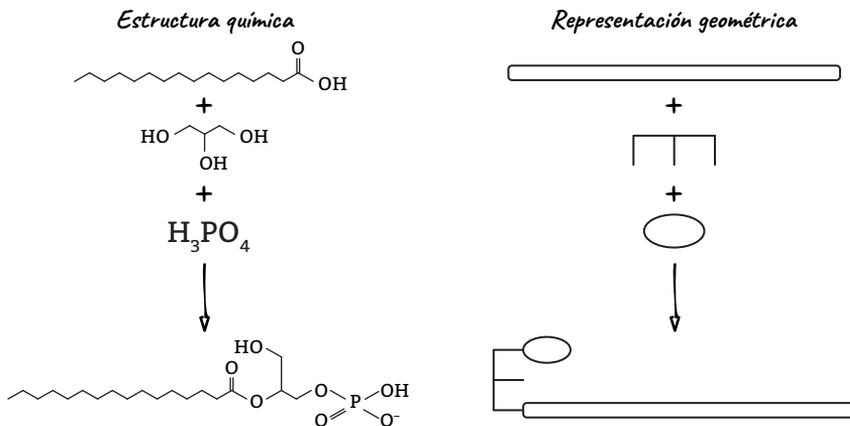
Por otro lado, David Deamer<sup>8</sup> probó que si mezclaba un ácido graso con glicerol y ácido fosfórico en un proceso de deshidratación controlada a 65 °C se podían obtener precursores de fosfolípidos (figura 29) con la capacidad de formar micelas. La remoción de agua a esta temperatura hace que la reacción sea energé-

**7** Q. Li, A. Ricardo, S. A. Benner, J. D. Winefordner, D. H. Powell. "Desorption/ionization on porous silicon mass spectrometry studies on pentose-borate complexes". *Anal. Chem.* 77, 4503-4508, 2005.

**8** Ver, por ejemplo: a) Ch. L. Apel, D. W. Deamer. "The Formation of Glycerol Monodecanoate by a Dehydration Condensation Reaction: Increasing The Chemical Complexity of Amphiphiles on the Early Earth". *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 35, 323-332, 2005; b) Ch. D. Georgiou, D. W. Deamer. "Lipids as Universal Biomarkers of Extraterrestrial Life". *Astrobiology* 14, 541-549, 2014.

ticamente favorable. Estos fosfolípidos tienen lo que los químicos denominamos *carácter anfifílico*, que quiere decir que tienen una parte de la molécula a la que le gusta el agua, y otra a la cual no. Vamos a ver en el capítulo 4 que esta propiedad es fundamental para construir membranas celulares.

**Figura 29.** Obtención de fosfolípidos (componentes de membrana)



Fuente: elaboración propia.

## Potenciales fuentes alternativas de moléculas orgánicas

La pregunta que podríamos hacernos en este punto es: ¿necesariamente las moléculas orgánicas sencillas asociadas a los experimentos de Miller-Urey se formaron solo en la superficie de la Tierra? Ya hemos visto que, recurriendo a la química esencialmente radicalaria y oxidante de los procesos Miller-Urey, se hace muy difícil explicar la aparición de las moléculas de carbono más reducidas (con más C e H), como los lípidos (en particular los ácidos grasos). En relación con una posible respuesta a esta pregunta, al menos se han identificado dos fuentes alternativas a las condiciones de Miller-Urey que podrían haber contribuido a *fertilizar* con moléculas orgánicas la Tierra. La primera es del espacio exterior, y la segunda son las fuentes hidrotermales profundas de los océanos. ¿El espacio exterior?, ¿acaso Fabio Zerpa tenía razón, como cantaba Andrés Calamaro...? No, una hipótesis posible es que las moléculas orgánicas se hayan formado, al menos parcialmente, en el espacio exterior y *hayan llovido* sobre la Tierra, traídas por los cometas y meteoritos. ¿Qué evidencia tenemos de esto? La primera es que se ha detectado con la ayuda de radiotelescopios la presencia de glicolaldehído (HOCH<sub>2</sub>COH), uno de los

precursores en la síntesis de los azúcares, en las nebulas estelares.<sup>9</sup> La segunda evidencia la tenemos gracias a los fragmentos de un meteorito que cayó en 1969 en la localidad de Murchinson, Australia. Este meteorito pertenece a la familia de las condritas carbonáceas, lo que quiere decir que estaba formado fundamentalmente por hielo, carbono y minerales. Habitualmente este tipo de meteoritos estallan al ingresar en nuestra atmósfera, como resultado de la fricción con el aire y la evaporación del hielo. Pero en este caso los fragmentos que alcanzaron la superficie fueron lo suficientemente grandes como para ser recogidos y aislados inmediatamente. Los restos del meteorito fueron transportados a los laboratorios de la NASA, donde se llevó a cabo un minucioso estudio de su composición química.<sup>10</sup> Sorprendentemente, se encontró la presencia de 17 aminoácidos, seis de los cuales eran esenciales. El tipo de aminoácidos encontrados se correspondía bastante bien con el tipo de aminoácidos encontrados en los experimentos de Miller-Urey, por lo que se especuló que tal vez pudieron haberse originado como consecuencia del hielo, el metano y el amoníaco congelados sobre la superficie del meteorito, con la ayuda de la radiación de luz ultravioleta proveniente del Sol, mientras el meteorito estuvo en órbita.

Otro hecho sorprendente en relación con el meteorito Murchinson es que David Deamer<sup>11</sup> logró aislar de estas moléculas no-polares, es decir, que no se disuelven en agua, entre las cuales encontró ácidos grasos, los componentes fundamentales de los fosfolípidos con los que están constituidas todas las membranas de los seres vivos.

Existe una versión más radical, asociada al hecho de que los cometas y los meteoritos hayan sido portadores de precursores de la vida, y es la teoría sostenida por algunos científicos –y discutida por muchos– de que estos cuerpos celestes hayan podido transportar microorganismos vivos de un lado a otro del universo. Esta hipótesis fue originalmente levantada por un químico, Svante Arrhenius (1854-1927), que la denominó *teoría de la panspermia*. Esta idea tuvo un inesperado resurgimiento cuando en 1996 la NASA hizo públicos los resultados del análisis químico del meteorito de origen marciano conocido como ALH84001. Sobre su superficie se encontraron restos de magnetita (una forma de óxido férrico) cristalizada de forma característica como lo hacen algunos microorganismos en la Tierra. Por supuesto que hay una fuerte discusión en la comunidad científica sobre si esta evidencia es una *marca inequívoca* de la existencia de vida fuera de

9 J. M. Hollis, F. J. Lovas, P. R. Jewell. "Interstellar glycolaldehyde: the first sugar". *The Astrophysical Journal* 540, L107-L110, 2000.

10 a) E. Jarosewich. "Chemical Analysis of the Murchinson Meteorite". *Meteoritics & Planetary Sciences* 6, 49-52, 1971; b) H. Cotton, M. C. Gazeau, F. Raulin. "Cometary organic chemistry: a review from observations, numerical and experimental simulations". *Planetary and Space Science* 47, 1141-1162, 1999.

11 a) D. W. Deamer *et al.* "Amphiphilic Components of the murchinson carbonaceous chondrite". *Origins of Life and Evolution* 19, 21-38, 1989; b) J. P. Dworkin, D. W. Deamer, S. A. Sanford, L. J. Allamandola. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 98, 815-819, 2001.

la Tierra, o si esos cristales de magnetita pudieron haberse formado por otros mecanismos abióticos, cosa que es lo más probable. Pero por supuesto, las discusiones sobre el origen de la vida despiertan pasiones y agitan ideas, muchas de ellas totalmente fuera del ámbito de la ciencia. Curioso es cuando esto ocurre con personas que han alcanzado gran notoriedad en la ciencia, como por ejemplo Francis Crick, uno de los padres del modelo de la doble hélice del ADN. Crick sostuvo<sup>12</sup> una idea que bautizó como *panspermia dirigida* y que propone la existencia en nuestro universo de una antiquísima civilización que se dedicó a diseminar en vehículos espaciales la vida en determinados planetas aptos para que se desarrollara (cuántos programas de Fabio Zerpa o Anabella Ascar puedo imaginar sobre este tema...).

Pero volviendo a las fuentes naturales de las moléculas orgánicas, además de estas reveladoras noticias sobre un posible origen extraterrestre de algunas moléculas, existe una hipótesis alternativa relacionada con las fosas marinas. En las profundidades oceánicas se da un fenómeno geológico muy particular denominado *fuentes hidrotermales*. En estos lechos marinos, el magma, que es la roca fundida que está por debajo de la corteza terrestre, está en contacto directo con el agua oceánica. Es como si tuvieran agua en una cacerola puesta sobre una hornalla. La particularidad del sistema es que el agua a esas profundidades no ebulle (es decir no pasa a estado gaseoso) a 100 °C. Dado que la presión aumenta aproximadamente una atmósfera por cada 10 m de profundidad (los buzos lo sabemos por experiencia), y dado que en nuestros océanos hay fosas que pueden llegar a los 11.000 m de profundidad, la presión en esos casos sobre el lecho marino sería de aproximadamente 1000 atm, lo que provoca que se pueda tener agua en estado líquido a 300 o 400 °C. Condiciones tan altas de presión y temperatura son la envidia de cualquier químico, porque las cosas que no se transforman fácilmente (es decir, que son poco reactivas) sí pueden hacerlo a estas presiones y temperaturas. Si bien hay autores que postulan que incluso los primeros seres vivos podrían haberse originado en estas condiciones,<sup>13</sup> estas no parecen muy apropiadas para que sobrevivan algunos polímeros térmicamente lábiles como el ARN. Por otro lado, no parece sencillo imaginar un mecanismo en fase acuosa en el que las moléculas precursoras se *concentren* en un punto, dada la natural tendencia a difundir que experimentan las moléculas cuando están en agua (lo que le pasa a una gota de tinta cuando cae en un vaso de agua). De todas maneras, estas fuentes hidrotermales tal vez sí podrían haber contribuido a generar moléculas orgánicas sencillas, como las descritas en la figura 25. Muy probablemente estos tres posibles orígenes de moléculas orgánicas: las reacciones en las condiciones de Miller-Urey, el transporte de moléculas orgánicas en cometas y meteoritos, y las

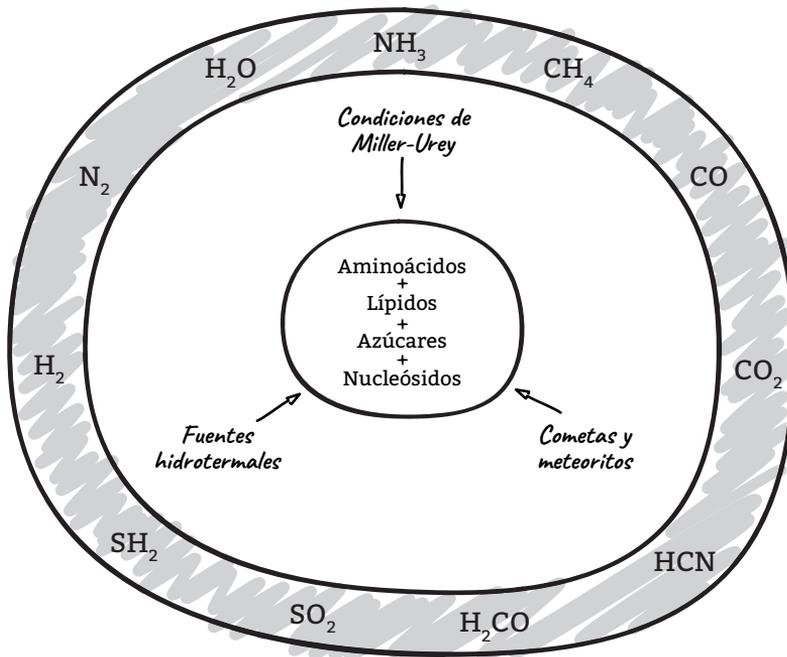
---

**12** F. H. Crick, L. E. Orgel. "Directed Panspermia". *Icarus* 19, 341-346, 1973.

**13** G. Wächterhäuser. "On the chemistry and evolution of pioneer organism". *Chem. Bio-divers.* 4, 584-602, 2007.

fuentes hidrotermales no deban verse como orígenes excluyentes sino complementarios, como intento representar en la figura 30.

**Figura 30.** Posibles orígenes de moléculas orgánicas sencillas

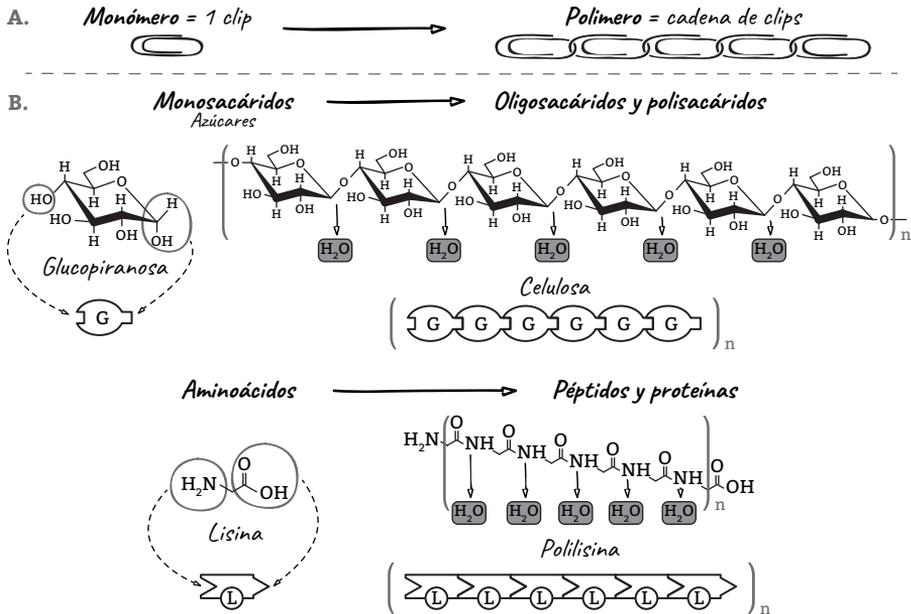


Fuente: elaboración propia.

## ¿Pero qué demonios son los polímeros naturales?

Hasta ahora hemos señalado algunos posibles caminos a partir de los cuales las moléculas inorgánicas sencillas pudieron haberse transformado en ciertas moléculas orgánicas también sencillas, como los monosacáridos, las bases nitrogenadas y los aminoácidos. Ahora bien, resulta que estas moléculas sencillas hoy las encontramos formando parte de estructuras más complejas, en donde se concatenan como unidades repetitivas. Esas moléculas complejas se denominan *polímeros naturales*, y son: las proteínas (los polímeros de los aminoácidos), los ácidos nucleicos (el ARN y el ADN, los polímeros de los nucleótidos) y los polisacáridos (los polímeros de los azúcares), que aparecen representados en la figura 31.

**Figura 31.** A) Representación de la polimerización con clips.  
 B) Representación de polímeros de azúcares (oligosacáridos y polisacáridos) y de aminoácidos (péptidos y proteínas).



Fuente: elaboración propia.

En esta discusión estoy omitiendo por simplicidad un problema fundamental de las moléculas tanto sencillas como complejas, que es el de la aparición de elementos de asimetría: es lo que los químicos denominamos como *quiralidad*. Este problema tiene que ver con que a nivel molecular la materia tiene un grado de asimetría muy sofisticado, hay moléculas que pueden existir como pares de imágenes especulares no superponibles, que se denominan pares enantioméricos (como por ejemplo nuestro par de manos). Pero resulta que, en la naturaleza, la mayor parte de las moléculas existen como un único enantiómero (una única mano), y la aparición de esa asimetría es difícil de explicar.<sup>14</sup>

Pero dejemos ahora este interesantísimo problema de lado y vayamos a otro, tal vez más sencillo, pero no menos interesante: ¿cómo demonios se formaron los polisacáridos, las proteínas y los ácidos nucleicos? Es decir, lo que estoy plantean-

**14** Ver por ejemplo: J. C. Aponte, R. Tarozo, M. R. Alexandre, C. M. O'D. Alexander, S. B. Charney, Ch. Hallmann, R. E. Summons, Y. Huang. "Chirality of meteoritic free and IOM-derived monocarboxylic acids and implications for prebiotic organic synthesis". *Geochimica et Cosmochimica Acta* 131, 1-12, 2014.

do es cómo se polimerizaron los azúcares, los aminoácidos y los nucleótidos. Hay una pregunta previa a este cuestionamiento, que podría hacerse alguien que no es químico: ¿qué queremos decir con polimerización? Para eso podemos pensar en un ejemplo metafórico: la relación entre un clip y una cadena de clips enganchados (figura 31 A). Imaginemos que un clip representa a una molécula orgánica sencilla, como por ejemplo una molécula de azúcar como la glucosa. Las moléculas de glucosa pueden *enlazarse*, es decir formar un *enlace*, una *unión*, con otra molécula de glucosa y esta a su vez con otra para dar una cadena de glucosas, como si fuera una cadena de clips. En química, el clip se denominaría *monómero*, y la cadena de clips se llamaría *polímero* (muchos monómeros). Por supuesto, la cadena tiene propiedades físicas y químicas que la molécula de monómero no tiene, y es lo que hace interesantes a los polímeros. Cuando muchas moléculas de glucosa se enlazan en la forma indicada en la figura 31 B, lo que se obtiene es una molécula de celulosa. La celulosa cumple un papel (nunca mejor dicho) fundamental en las plantas superiores, porque es el polímero estructural más común. Es decir, es el *material* con el que se hacen los cimientos, las vigas y las paredes de los *edificios-planta*.

Una cosa interesante, al menos para los químicos, es que cuando dos moléculas de glucosa se unen para formar el enlace (que se denomina glicosídico), se pierde una molécula de agua por enlace formado. Es decir, si uno cuenta los átomos de C, H y O de dos glucosas separadas ( $C_{12}H_{24}O_{12}$ ) y la cantidad de átomos cuando estos forman parte del dímero de dos glucosas ( $C_{24}H_{42}O_{21}$ ) la diferencia es una molécula de agua. Este hecho podría parecerles menor, pero van a ver que es un patrón que se repite para el resto de los polímeros naturales (las proteínas y los ácidos nucleicos).

El otro ejemplo de reacciones de condensación que se presenta en la figura 31 B es el caso de la formación de los péptidos y proteínas. La única diferencia entre ellos es el largo de la cadena polimérica. En general, cuando son cortos se los denomina *péptidos* y a las estructuras más largas se las llama *proteínas*. En la figura 31 B se presenta la formación de un homopolímero (todos los monómeros son semejantes) formado por lisina, que es el aminoácido más sencillo. En este caso también podemos pensar el aminoácido lisina (y cualquier otro aminoácido) como un ladrillito de Rasti que tiene dos conectores (molecularmente llamados *grupos funcionales ácido carboxílico* y *grupo amino*), que permiten *unir* lisinas unas a otras formando una cadena. Adivinen qué molécula se libera cuando dos lisinas se unen... Sí, acertaron, se desprende una molécula de agua, y esta es la razón por la cual la formación del enlace peptídico entre un grupo amino de un aminoácido y un grupo ácido carboxílico de otro se dice que es una reacción de condensación.

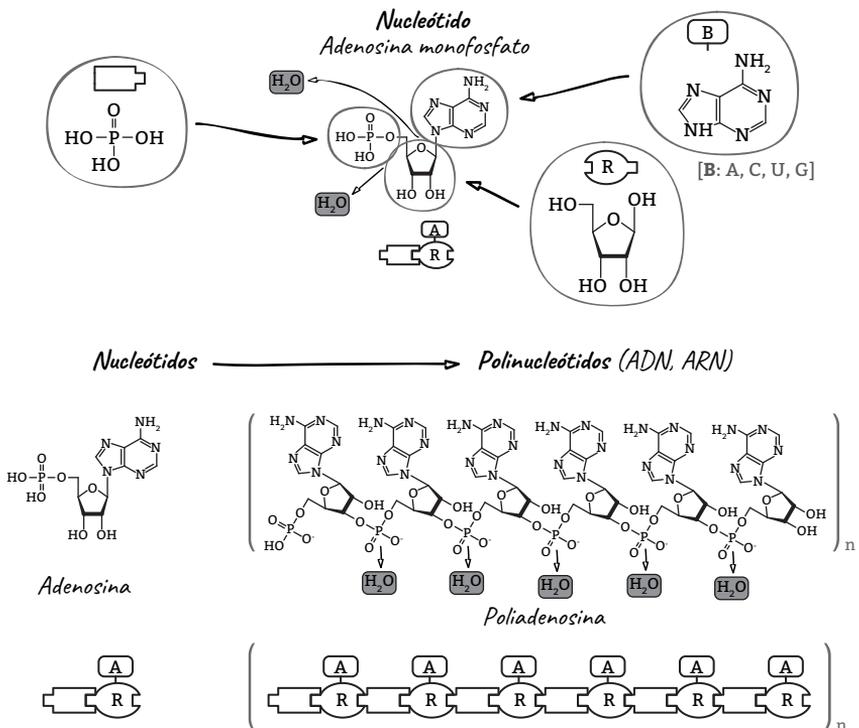
El último grupo de polímeros naturales que falta describir es el de los ácidos nucleicos, que se presenta con el ejemplo de la poliadenosina en la figura 32. En este caso hay una particularidad, al monómero que vamos a polimerizar tenemos que armarlo previamente. ¿Qué quiero decir con esto? Si bien podríamos pensar que tanto azúcares como aminoácidos se formaron como unidades en las condiciones prebióticas, para el caso de los nucleótidos (en la figura 32 la adenosina monofosfato), estos se ensamblaron a partir de moléculas e iones preexistentes en la sopa

prebiótica. Estas moléculas fueron azúcares (la ribosa o la desoxirribosa), las bases nucleares (pirimidinas y purinas) y un grupo fosfato (ion), que seguramente se incorporó en la forma de un polifosfato o un fosfato activado. Adivinen qué molécula se libera cuando cada uno de estos tres fragmentos se ensambla... Sí, sí: una molécula de agua, para dar lugar precisamente a reacciones de condensación.

Ahora, volviendo sobre esta coincidencia tan curiosa que hemos visto respecto de la polimerización de azúcares, aminoácidos y nucleótidos, donde en los tres casos el tipo de reacción es una condensación: ¿qué consecuencias importantes tiene este hecho? La primera es que estas reacciones de formación no están termodinámicamente favorecidas en un planeta donde el solvente mayoritario es agua. ¿Qué quiere decir esto? Que si para *armar* por ejemplo una proteína, en la reacción se va a liberar agua, como en la Tierra el agua es tan abundante esto va a producir que la reacción no ocurra espontáneamente en condiciones ambientales normales. Pero entonces, ¿cómo ocurrieron estas reacciones?... Aguantemos el suspenso hasta la próxima sección.



Figura 32. Polimerización de los ácidos nucleicos



Fuente: elaboración propia.

El segundo punto importante es que la si la formación de estos polímeros naturales libera agua, su ruptura la requiere, y en un planeta donde el agua es tan abundante esto es posible. Esto es crucial porque tendremos entonces polímeros que podrán armarse en determinadas condiciones y desarmarse en otras, lo cual es fundamental si uno quiere un juego de Rasti cuyas piezas no solo sirvan para armar una vez la torre Eiffel, sino que esa torre se pueda desarmar para reutilizar sus piezas para hacer por ejemplo el Cabildo. Es decir, este simple hecho nos permite la recirculación de ladrillitos de Rasti (moléculas de monómero) entre distintas estructuras (polímeros), que es lo que ocurre por ejemplo cuando nos comemos un rico bife de chorizo (el bife de chorizo de ayer es parte de nuestra *musculatura* de hoy, je, je...).

La tercera consecuencia asociada a la diferente estructura química de las tres familias de polímeros naturales es que si bien todas estas polimerizaciones ocurren a través del mismo tipo de reacción –una condensación–, los tres grupos funcionales que se generan luego de la polimerización: acetales, amidas y fosfatos diéster son muy diferentes entre sí. De hecho, tienen en muchos aspectos lo que los químicos llamamos *comportamiento ortogonal*, es decir, que uno puede hacerle muchas transformaciones a una familia sin que se entere la otra, y esto es una gran ventaja para la naturaleza, porque cuando la *química es diferente* es más fácil asignarle a cada una de estas tres familias *funciones diferentes*.

Pero volvamos sobre una afirmación que quedó perdida al pasar: si estos polímeros naturales no se forman espontáneamente en condiciones ambientales normales, entonces: ¿cómo se formaron?

## **Pero entonces: ¿cómo ocurrieron las polimerizaciones?**

Si bien todavía estamos lejos de poder dar respuestas definitivas a esta pregunta, este es un tema muy activo entre los científicos que se dedican a explorar la química prebiótica, y como he señalado antes, muy difícilmente podremos saber cómo ocurrió de verdad. Pero si encontramos condiciones experimentales en el laboratorio compatibles con las posibles condiciones ambientales de la Tierra en ese momento, podremos afirmar que cada uno de esos sucesos pudo haber ocurrido en *forma natural*, y con esta información seguir escribiendo la continuidad de la historia de la *organización de la materia*.

La primera cuestión que debemos enfrentar es la de la existencia de *homopolímeros*. ¿Qué quiere decir esto? Que cada una de las tres familias de polímeros de las que venimos hablando, los polisacáridos, las proteínas y los ácidos nucleicos, sean estos últimos ARN o ADN, existen en formas *químicamente puras*. Con esta última afirmación lo que quiero decir es que en la estructura de una proteína no aparece un nucleótido, ni en la de un ácido nucleico un aminoácido. Por supuesto, mi afirmación reviste un grado de simplicidad muy grande y es solo una aproximación: existe una gran cantidad de proteínas conjugadas a azúcares, como por

ejemplo las gonadotropinas que controlan los ciclos de fertilidad en humanos, pero estas proteínas no tienen en su estructura los azúcares ubicados al azar, sino en posiciones determinadas y agrupadas.

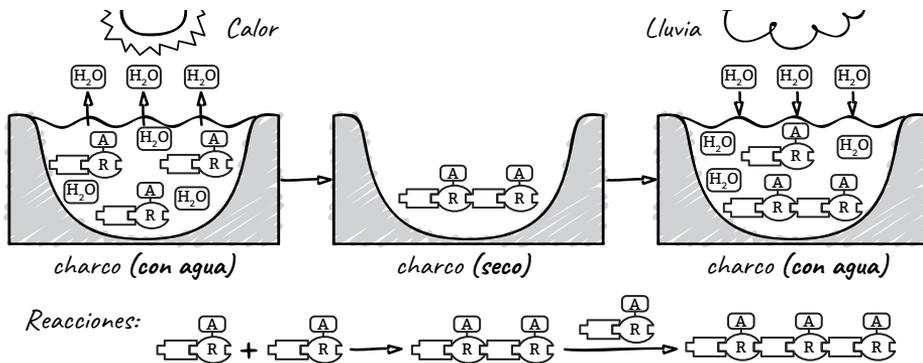
El problema de la homopolimerización que planteaba recién está dado porque si uno mezcla en un balón (es la *cacerola* de los químicos sintéticos) en el laboratorio aminoácidos, azúcares y nucleótidos, y agrega el resto de los reactivos necesarios para la polimerización junto con una fuente de energía externa (calor, radiación ultravioleta), lo más probable es que ocurran *todas las reacciones posibles* en esas condiciones. Esto quiere decir que no se van a producir mayoritariamente péptidos, polisacáridos y ácidos nucleicos, sino que se formarían polímeros *mixtos*, mezcla de todos ellos. Y esta es una posibilidad cierta, puede ser que haya existido una *prehistoria de los polímeros* y que las moléculas que desarrollaron las primeras funciones hayan sido polímeros muy distintos de como los conocemos hoy, ancestros moleculares de los cuales no guardamos ningún rastro y que con el tiempo evolucionaron a las familias de *polímeros modernos*, que son las que hemos descrito antes.

Hay otra posibilidad, y es que no haya habido una *única cacerola* con la sopa primordial adentro, sino que haya habido varias *cacerolas*, es decir lugares físicos, donde las condiciones químicas y físicas hayan sido diferentes, y que podrían haber originado diferentes familias de compuestos, localizados en lugares diferentes, con lo cual originalmente no se mezclaron. Por ejemplo, vimos que para obtener las bases nucleicas necesitábamos HCN. La Tierra pudo haber recibido el impacto de un meteorito muy rico en ácido cianhídrico, que dejara condiciones particularmente favorables para el desarrollo de las purinas y pirimidinas en algún lugar específico. Entonces, condiciones químicas particulares de una determinada región pudieron haber favorecido la formación de ciertas moléculas sencillas, por ejemplo las bases nucleotídicas, sobre otras, como los aminoácidos.

Ahora, cuando hablábamos de múltiples *cacerolas*, ¿a qué nos referíamos en términos un poco más concretos? Está claro por el experimento de Miller-Urey que para que ocurriera la formación de los primeros monómeros era condición indispensable la existencia de agua. Por supuesto, para las reacciones de polimerización también es necesaria la existencia de agua, entonces la pregunta que podríamos hacernos es: ¿cuánta agua? Porque por un lado, si fuera un océano de agua, la posibilidad de que dos monómeros se encontraran para formar un dímero y este se encontrara con otro monómero para dar un trímero, y así siguiendo, es realmente muy baja. Es simplemente un problema de probabilidades (los químicos lo llamamos un *problema entrópico*): imaginen por ejemplo cuál sería la posibilidad de que en un partido Boca-River que se juega en la cancha de River, dos personas que cumplen años el 28 de noviembre se sentaran una al lado de la otra, se hicieran amigas, fueran juntas al baño en el entretiempo y allí conocieran a otra persona que cumpliera el 28 de noviembre. Muy poco probable ¿no? Por otro lado, unos párrafos atrás había dicho que precisamente el agua no favorecía termodinámicamente el proceso de formación de estos polímeros.

Está relativamente aceptado hoy que la sopa primordial (la mezcla de los productos de la reacción de Miller-Urey) no ocurrió en los océanos, sino en humildes charcos (figura 33). Sí, me parece hasta casi poético, la vida levantándose de un charco... La ventaja de los charcos es que como su volumen de agua es considerablemente menor que el de los océanos, pueden experimentar procesos de desecación-hidratación. ¿Qué es esto? Es como cuando uno está haciendo una salsa para la pasta y quiere espesarla, ¿qué se suele hacer (o al menos que es lo que yo hago)?: frío la cebolla y el ajo, agrego el tomate y el vino y empiezo a agitar para que espese, y cuando está más espesa vuelvo a agregar vino y sigo revolviendo (uno ve el vapor desprenderse), y los componentes de la salsa entran en un contacto cada vez más íntimo. En ese proceso de cocción lo que está ocurriendo es que al evaporarse el agua empiezan a ocurrir algunas reacciones químicas, que cuando había mucha agua no podían ocurrir. Ahora, con todo el derecho del mundo podrían ustedes decirme: una cosa es una cacerola y otra muy distinta es un charco, ¿cómo vamos a calentar un charco? Recuerden ustedes que durante los primeros cientos de años que siguieron a la formación de la Tierra, su fuerza de gravedad atrajo el impacto de innumerable cantidad de cometas y meteoritos (el gran bombardeo), que al chocar con nuestro planeta transformaron su energía cinética en térmica. Estos choques bien pudieron haber sido la fuente de energía que pudo haber mantenido en funcionamiento los procesos de desecación-hidratación de los charcos.

**Figura 33.** Posible polimerización por desecación-hidratación



Fuente: elaboración propia.

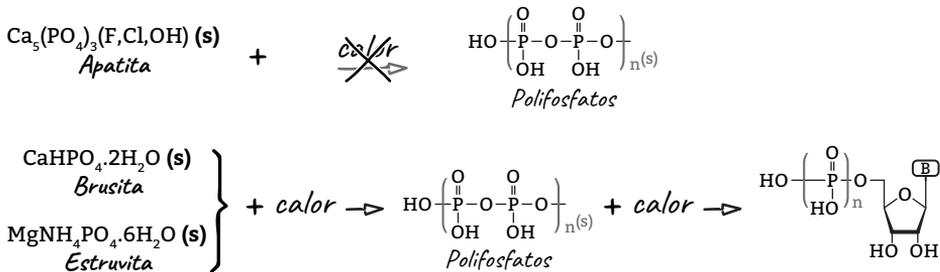
El otro aspecto importante por el cual se piensa que los procesos de desecación-hidratación pudieron haber contribuido necesariamente al proceso de polimerización es que, como indicamos en las figuras 31 y 32, los procesos de polimerización tanto de los hidratos de carbono como de los péptidos y ácidos nucleicos liberan agua. Esto quiere decir que si hay mucha agua la reacción de polimerización no

está favorecida (es lo que los químicos conocemos como características del equilibrio químico). Entonces, si en un momento determinado en un *charco determinado* había por ejemplo nucleósidos y comenzó un proceso de evaporación, de forma tal que aumentó la concentración de estas moléculas, los procesos de polimerización podrían haber sido un poco más favorables (los químicos decimos termodinámicamente un poco más favorables). Pensemos en el caso de la polimerización del ácido ribonucleico. Supongamos que tenemos moléculas de nucleótidos en solución acuosa como las que describimos en la figura 33. Al haber *tanta agua* estas moléculas no pueden reaccionar, pero si el agua del charco comienza a evaporarse, sea por la acción del Sol o por la acción del calentamiento de la Tierra por el choque de cometas, como comentamos antes, la reacción entre dos nucleótidos comienza a ser más favorable, y por ejemplo se puede formar un dinucleótido. Estas pequeñas moléculas pueden volver a solución, si a la etapa de desecación sigue una lluvia intensa, y entonces el charco se vuelve a llenar (etapa de hidratación), de forma que el ciclo puede repetirse y nuestra molécula *alargarse*.

Pero..., por supuesto siempre hay uno, dos, tres peros, porque la cosa no es tan sencilla. Si hacemos el experimento de poner nucleótidos en un balón de reacción y concentramos los nucleótidos evaporando el agua, no se produce la polimerización para obtener un ácido nucleico. El problema es que necesitamos *precursores más reactivos*, quiero decir con esto que en lugar de nucleótidos monofosfato lo que necesitamos es que esos fosfatos estén *activados*, lo que significa que tengan una *forma química* más fácilmente transformable y convertible en un polímero. Un posible precursor podría haber sido el mismo que hoy constituye el *ladrillo* a partir del cual se originan el ARN y el ADN en nuestras células: los nucleótidos trifosfato. Pero esto a su vez dispara otro problema: ¿cómo se formaron los nucleótidos trifosfato en esas condiciones prebióticas? Porque hoy se producen enzimáticamente, es decir, con la intervención de nuestros catalizadores biológicos, las enzimas, en el interior de nuestras células. La pregunta es particularmente interesante porque involucra al grupo fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ , figura 34), cuya fuente material más importante en la Tierra es la apatita ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$ ), que es un mineral muy insoluble en agua. Esto complica particularmente la producción de los nucleótidos trifosfato. Para producirlos, una posibilidad es formar primero polifosfatos inorgánicos (figura 34) y después con calor obtener los nucleótidos trifosfato. Pero entonces la pregunta sería: si la apatita es tan insoluble en agua, ¿cómo puede haber aparecido fosfato en solución? Alan Schwartz<sup>15</sup> propone que tal vez durante la gestación de la sopa primordial, además de apatita podría haber precipitado en los océanos brusita ( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) y estruvita ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), ambos minerales más solubles en agua, y que se sabe que pueden conducir a polifosfatos por calentamiento.

---

15 Alan W. Schwartz. "Phosphorous in prebiotic chemistry". *Phil. Trans. R. Soc. B* 361, 1749-1746, 2006.

**Figura 34.** Formación de nucleótidos a partir de nucleósidos

Fuente: elaboración propia.

Los experimentos realizados en los laboratorios estos últimos años para explicar la polimerización del ARN apuntarían a ciclos de desecación-hidratación con auxilio de catalizadores naturales en fase heterogénea, en particular arcillas u óxido férrico.<sup>16</sup>

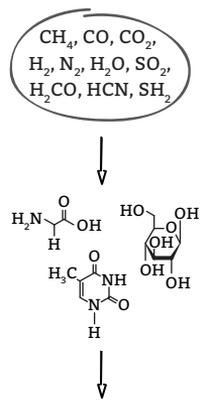
## Lecturas sugeridas

R. Pascal, L. Boiteau, P. Fortree. "Prebiotic chemistry -Biochemistry- Emergence of Life (4.4-2 Ga)". *Earth, Moon and Planets* 98, 153-203, 2006.

*Accounts on Chemical Research* 45(12), 2012 (número dedicado completamente a la química prebiótica).

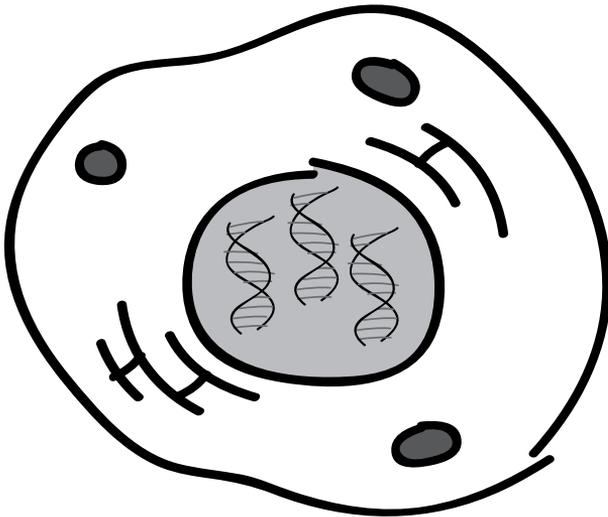
**16** M. F. Aldersley, P. C. Joshi, J. D. Price, J. P. Ferris. "The role of montmorillonite in its catalysis of RNA synthesis". *Applied Clay Science* 54, 1-14, 2011.

## Resumen del capítulo 3

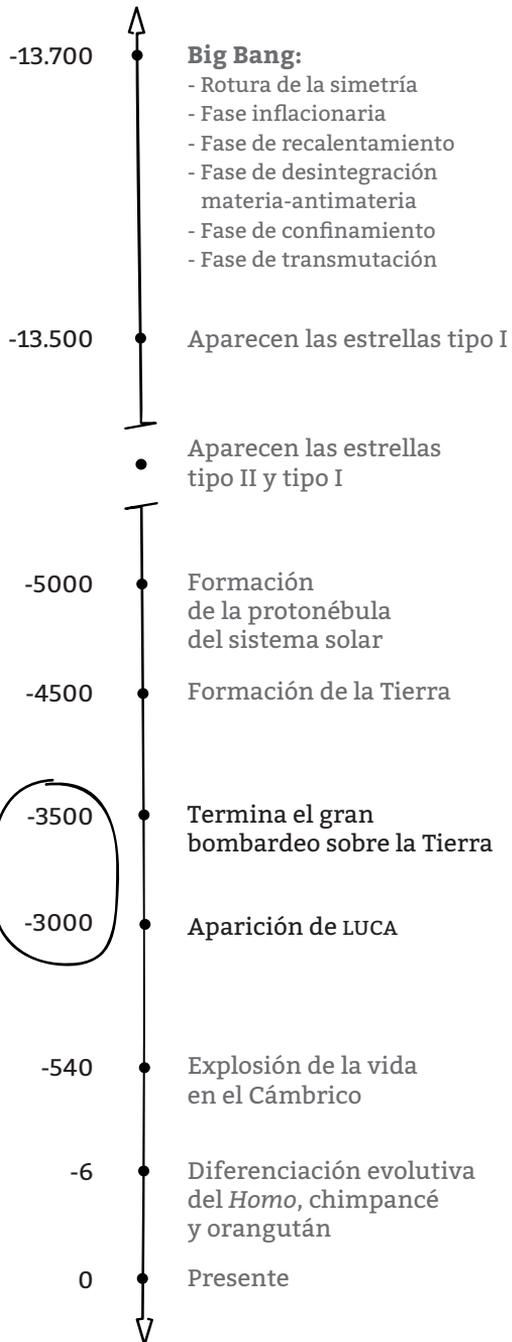
	Tiempo/Ma	Comentario	Cap. 2
	-4700	Solo existían en la Tierra moléculas inorgánicas sencillas	63
		Formación de las primeras moléculas orgánicas un poco más complejas	70
<i>Péptidos, ARN, polisacáridos, lípidos</i>	-4000	Formación de los polímeros naturales	85

# 04

## **LUCA, nuestro primer ancestro**



Capítulo 4 →  
Ud. está aquí



**Tiempo**  
en millones de años

*¿Qué hacemos entonces con la sopa primordial? - Algunas cuestiones sorprendentes de nuestras células: el dogma central de la biología molecular, el flujo de la información, la necesidad de un código de traducción universal ácido nucleico-proteína, la necesidad de un metabolismo energético, la maravillosa interconexión metabólica entre las biomoléculas y los compuestos inorgánicos sencillos. - Teorías sobre el origen de la vida. - Un ancestro celular común: LUCA.*

## **¿Qué hacemos entonces con la sopa primordial?**

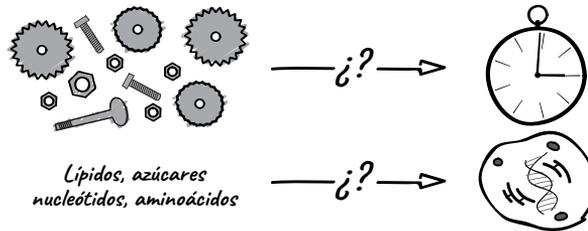
En el capítulo anterior habíamos planteado una serie de opciones sobre cómo pudieron haber aparecido las primeras moléculas necesarias para la construcción de los seres vivos: los ácidos nucleicos, los péptidos, los azúcares y los lípidos. Esto por sí solo no explica cómo apareció la vida, y en particular no explica cómo se generó la primera célula a partir de la cual podríamos suponer que se desarrollaron luego todos los seres vivos.

Estamos en un punto de nuestra historia en el que me gustaría introducir la siguiente metáfora tendenciosa. Supongamos que un momento determinado de nuestra historia, por ejemplo hace 3500 Ma, encontramos todas las piezas de un reloj desparramadas sobre una mesa (figura 35). Supongamos también que volvemos 500 Ma más tarde (3000 Ma atrás) a observar la misma mesa y lo que encontramos es un reloj armado, funcionando y en hora. Es totalmente razonable preguntarnos cómo demonios ocurrió este aparente milagro. Haciendo ahora una extrapolación de nuestra metáfora: ¿cómo pudo aparecer entonces en el transcurso de unos 500 a 1000 Ma una célula a partir de un conjunto de moléculas desensambladas, como las que se describieron en la sección anterior? (figura 35).

La respuesta no es para nada sencilla y todavía estamos muy lejos de poder constatarla. Probablemente sea el campo de la astrobiología donde todavía hace falta desarrollar más trabajo, pero el hecho de que no tengamos certezas científicas hasta el momento sobre este punto creo que no es razón suficiente para suponer como válidas razones más allá de la razón. Simplemente me gustaría recordarles que durante miles de años se elaboraron mitos, en todas las religiones, sobre el origen de la Tierra, y que el hecho de que esos mitos hayan sido creídos por cientos de millones de personas en distintos tiempos históricos no transforma a esos mitos en verdades.

Pero antes de seguir adelante para intentar entender cómo se pudo *ensamblar* la primera célula, déjenme hacer algunos comentarios sobre ciertas maravillas moleculares de nuestras células de las que no tienen por qué estar al tanto.

**Figura 35.** La analogía reloj-célula



Fuente: elaboración propia.

## Algunas cuestiones sorprendentes de nuestras células

¿Qué quiero decir cuando afirmo que en nuestras células todas las grandes biomoléculas que describimos en la sección anterior están *ensambladas*? Lo que quiero decir es que diferentes conjuntos de biomoléculas están relacionados por un conjunto de reacciones químicas que cumplen alguna función biológica, como por ejemplo la reproducción, la catálisis (el arte de lograr que las reacciones vayan más rápido), la generación de energía, etcétera. Es decir, aparece, emerge del mundo de las moléculas por primera vez la idea de función, entendida esta como capacidad de acción, de una acción que no podría realizarse por las mismas moléculas *desensambladas*. Veamos entonces algunas de estas *funciones*.

### El dogma central de la biología molecular: el flujo de la información

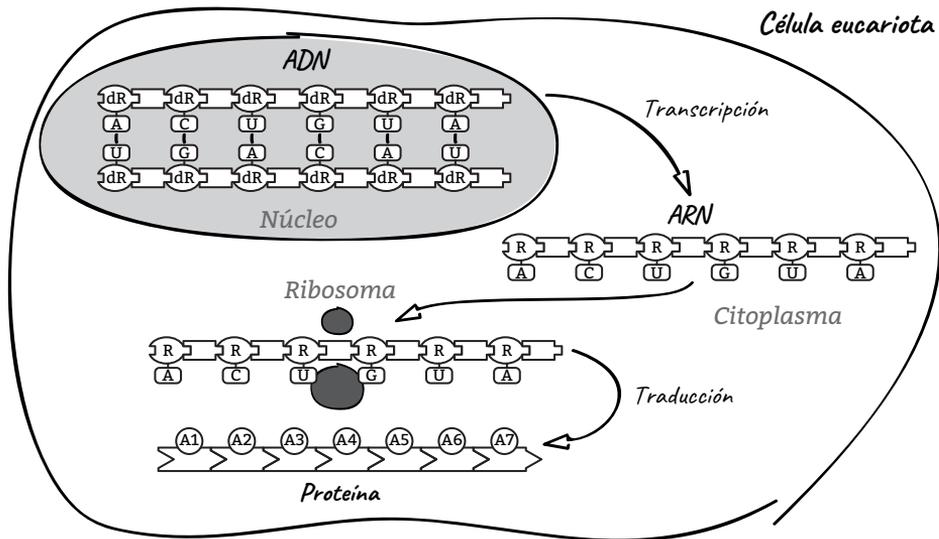
Las células de todos los organismos vivos, desde la bacteria más sencilla hasta las de nuestro organismo, contienen toda la información necesaria para funcionar y reproducirse grabada en un disco rígido mucho más eficiente que el de cualquier computadora. Este disco rígido tiene la forma química del ácido desoxirribonucleico, que en el caso de las células eucariotas (como las nuestras) está contenido en el núcleo. Hay un postulado de la biología molecular que se conoce como *dogma central*, que dice que la información fluye en una dirección específica: desde el núcleo hacia el citoplasma, donde esa información se convierte en proteínas. En este proceso de circulación, la información contenida en el ADN se *transcribe* en el ARN, el ácido ribonucleico. Esta transcripción de la información entre el ADN y el ARN involucra un número importante de reacciones químicas, cada una de ellas catalizada (es decir acelerada) por una proteína específica (nuestras famosas enzimas). Así, al pasar el ADN a ARN, lo que estamos haciendo en la transcripción es generar un *mensajero* de la información desde el núcleo, donde está protegida, hacia el citoplasma. Lo que ocurre en el citoplasma es que el ARN va a volver a transferir su información a otro conjunto molecular, las proteínas. Esto ocurre

en el ribosoma, que en la figura 36 hemos representado con dos círculos grises, uno grande y otro pequeño, intentando indicar las subunidades mayor y menor del ribosoma. Lo que ocurre allí es simplemente maravilloso, el ARN se traduce en proteínas: sí, lo que leen. A una secuencia específica del ARN corresponde una secuencia específica de una proteína. De esta forma, el circuito de la información es entonces: del ADN del núcleo al ARN, y de este a las proteínas.

Hay al menos tres cosas increíblemente maravillosas en este proceso. Primero, que exista *información almacenada*, es decir que haya un conjunto de instrucciones precisas para hacer otras moléculas. La segunda cuestión es que esa información sigue un circuito preciso, casi como si fuera el recorrido de un cable: ADN-ARN-proteína. Y la tercera es que exista una maquinaria celular que se dedique a traducir. Sí, en el ribosoma en definitiva lo que ocurre es que el *lenguaje de los ácidos nucleicos* (A, C, T, G) se traduce en el lenguaje de las proteínas (los 21 aminoácidos).

Veamos un poco mejor cómo funciona nuestro traductor molecular: el ribosoma.

**Figura 36.** Representación del flujo de información ADN-ARN-proteínas



Fuente: elaboración propia.

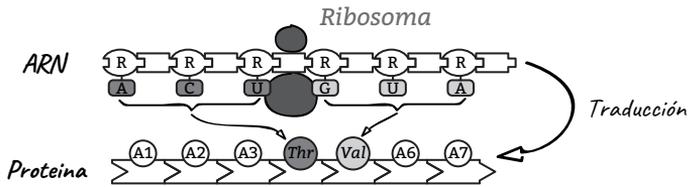
### La necesidad de un código de traducción universal ácido nucleico-proteína

Lo que quiero decir cuando afirmo que existe un código de traducción universal ácido nucleico-proteína es que todos los seres vivos guardamos la información

para producir cualquier proteína usando el mismo código de almacenamiento. El ADN tiene una secuencia lineal, y esa secuencia lineal tiene una dirección de lectura, de la misma manera que en Occidente leemos un renglón de izquierda a derecha, el ADN se lee en una dirección definida. Lo maravilloso no es solo que esa secuencia se pueda leer usando un alfabeto de cuatro letras: A, C, T y G, sino que además ese alfabeto pueda ser traducido a otro idioma, el de las proteínas.



Figura 37. Traducción molecular ARN-proteína en los ribosomas



Código de la traducción:

		Segunda base								
		U	C	A	G	U	C	A	G	
Primera base	U	Phe	UUU	Ser	UCU	Tyr	UAU	Cys	UGU	U
		Phe	UUC	Ser	UCC	Tyr	UAG	Cys	UGC	C
		Leu	UUA	Ser	UCA	Stop	UAA	Stop	UGA	A
		Leu	UUG	Ser	UCG	Stop	UAG	Trp	UGG	G
	C	Leu	CUU	Pro	CCU	His	CAU	Arg	CGU	U
		Leu	CUC	Pro	CCC	His	CAC	Arg	CGC	C
		Leu	CUA	Pro	CCA	Gln	CAA	Arg	CGA	A
		Leu	CUG	Pro	CCG	Gln	CAG	Arg	CGG	G
	A	Ile	AUU	Thr	ACU	Asn	AAU	Ser	AGU	U
		Ile	AUC	Thr	ACC	Asn	AAC	Ser	AGC	C
		Ile	AUA	Thr	ACA	Lys	AAA	Arg	AGA	A
		Met	AUG	Thr	ACG	Lys	AAG	Arg	AGG	G
G	Val	GUU	Ala	GCU	Asp	GAU	Gly	GGU	U	
	Val	GUC	Ala	GCC	Asp	GAC	Gly	GGC	C	
	Val	GUA	Ala	GCA	Glu	GAA	Gly	GGA	A	
	Val	GUG	Ala	GCG	Glu	GAG	Gly	GGG	G	

Fuente: elaboración propia.

Pero para traducir ese idioma tenemos un problema: el alfabeto de los ácidos nucleicos tiene cuatro letras, pero el de los aminoácidos tiene 21. Es decir, las proteínas son polímeros con una secuencia lineal definida, en donde en cada posición puede haber uno de 21 aminoácidos. Entonces la pregunta que podríamos hacernos es: ¿cómo hacemos para codificar 21 letras a partir de solo cuatro (A, C, T, G)? La respuesta es: armemos combinaciones; si hacemos combinaciones de dos le-

tras, por ejemplo AA, AC, AT..., tendríamos 16 combinaciones posibles, pero eso no nos alcanza. Si armamos combinaciones de tres letras, por ejemplo: AAA, ACA, etcétera, ahora aparecen 64 posibles combinaciones, lo cual cubre nuestras necesidades de codificación y nos sobra. Precisamente esto es lo que hizo la naturaleza, armó códigos de tres nucleótidos (tres letras del conjunto A, C, T y G), que es lo que llamamos un codón. Así aparecen 64 posibles codones, que son los que codifican para los 21 aminoácidos. Esos codones están representados en la figura 37.

Las siglas en itálica en la figura 37 (*Phe, Leu, Ser*, etcétera) representan a los diferentes aminoácidos (fenilalanina, leucina, serina, etcétera). Además de los codones que corresponden a los aminoácidos, hay tres codones que corresponden a los puntos finales, es decir, a una señal de alto (stop) en la lectura de la secuencia del ADN.

Ahora, un aspecto interesante de este código es que es redundante; fíjense que en la figura 37 hay más de un codón por aminoácido. Esto está relacionado con un aspecto fundamental del código: el delicado equilibrio que existe en el proceso de reproducción de las secuencias entre fidelidad y mutación (cambio). ¿Por qué es importante la fidelidad del mecanismo de copiado del código genético? Primero intentemos introducir la idea de *mutación del código* o simplemente *mutación genética*. Todo proceso de copiado de la información tiene asociada una tasa de error en el proceso de copia. Cuando uno copia archivos en una computadora la tasa de error es de 1 bit cada  $10^8$  bits (1 en 100 millones), o sea que la fidelidad del proceso de copiado es bastante buena. Con esto lo que quiero decir es que si tomamos en cuenta que necesitamos 8 bits para definir un carácter, esto nos estaría dando *espontáneamente* el cambio de una letra cada vez que copiamos un texto de 10 millones de letras (aproximadamente 1 millón de palabras). Ahora supongamos que ese texto que copiamos es el libro sagrado de la secta de los Adoradores de la Berenjena Dorada, y supongamos que ese libro comienza con la frase *Tu cuerpo es la casa de la Berenjena Dorada*. Imaginemos que entonces al copiar en una computadora esa frase del texto, la letra *s* de casa cambia por una *c*, como consecuencia de la tasa de error natural del proceso de copiado. ¡Qué cambio más tremendo de significado en el texto sagrado de los Adoradores de la Berenjena Dorada!

Esto que describimos en forma un poco risueña ocurre de hecho en el proceso de copiado del código genético. Un requisito fundamental de la vida es que la información genética de un organismo pueda pasarse a su descendencia; es decir, necesitamos copiar la información genética. En ese proceso algún nucleótido, es decir, alguna de las cuatro letras del código (A, C, T o G) puede copiarse mal en un codón. Por ejemplo, si en el codón UUU que codifica para fenilalanina (*Phe*), la última U se copia mal y se cambia U por una C, no pasa nada porque el codón UUC codifica también para fenilalanina. Pero si el cambio es el de la última U por A, de forma que el codón queda UUA, ese codón ya no codifica a la fenilalanina sino a la leucina (*Leu*), y en la proteína que se está sintetizando en el lugar donde debería haber una fenilalanina habrá una leucina. Lo que podríamos preguntarnos a continuación es qué puede provocar esto sobre un organismo vivo. Supongamos primero que tenemos un individuo que al copiar su información genética intro-

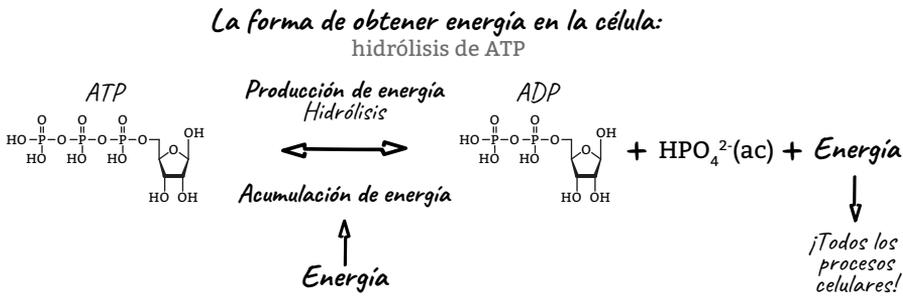
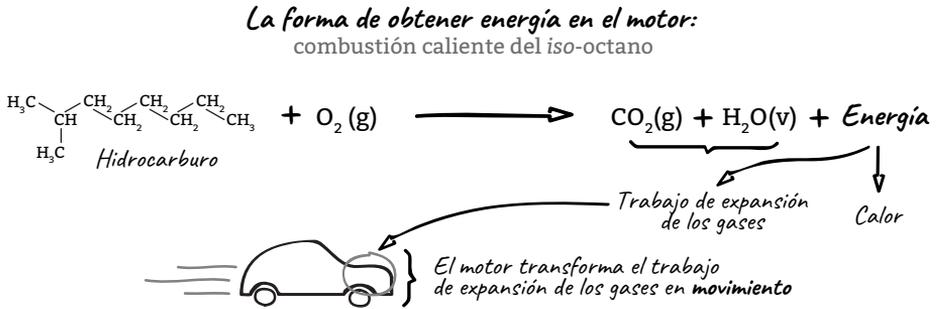
duce muchísimos errores. Esto va a provocar que las proteínas tengan muchos errores, y por lo tanto que sea altamente probable que no puedan llevar adelante la función requerida, es decir, sus hijos van a ser un desastre. Supongamos, contrariamente, que tenemos un individuo que puede copiar información genética con una fidelidad perfecta, nunca se equivoca, ¿cuál sería el problema? El problema es que el individuo no podría cambiar nunca, es decir no podría evolucionar porque no habría una posible fuente de variación de las secuencias de las proteínas, algunas de las cuales tal vez tendrían un funcionamiento mejor que el de sus versiones originales, y por lo tanto le darían una ventaja evolutiva a su descendencia. Es decir, lo que podemos concluir es que la réplica de nuestra información genética debe ser muy buena, pero no perfecta, para que podamos *evolucionar*.

### **La necesidad de un metabolismo energético**

Además de la necesidad de contar con un mecanismo de almacenamiento de información genética, y con la maquinaria necesaria para traducir esa información en proteínas que puedan realizar diferentes funciones, todos los seres vivos necesitamos de una *metabolismo energético*. ¿Qué quiere decir esto? Si queremos que algo se ponga en marcha, es decir, que funcione (que por ejemplo se mueva), es necesario que ese algo cuente con una fuente de energía. Por ejemplo, si uno quiere que un auto se mueva (los físicos dirían que haga un trabajo mecánico), es necesario arrancar el motor. ¿Y qué significa arrancar el motor? (cosa que a los físicos les sería más difícil de explicar): significa llevar adelante una reacción química a partir de la cual es posible obtener energía. La reacción química que se lleva adelante en un motor como el de nuestros autos se denomina combustión, y consiste en hacer reaccionar una sustancia, o mezcla de sustancias, que denominamos *combustible* en presencia de oxígeno, generando en el proceso una gran cantidad de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2(\text{g})$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}(\text{v})$ ) en fase vapor. Es precisamente la generación de una gran cantidad de gas lo que permite mover los pistones del motor. Tomemos como ejemplo de combustible al *iso*-octano, un tipo de compuesto perteneciente a la familia de los alcanos. Esta molécula orgánica se caracteriza por tener exclusivamente enlaces carbono-carbono y carbono-hidrógeno. La reacción de combustión de esta molécula consiste en su transformación en moléculas más simples, como son el dióxido de carbono y el agua (figura 38). Para que esta reacción ocurra es necesaria la presencia de oxígeno molecular, ya que esta reacción pertenece a una clase que los químicos denominamos de óxido-reducción (o redox) y que en el contexto de las moléculas orgánicas se caracteriza por el aumento de los átomos de oxígeno en la estructura molecular de los productos de reacción (productos oxidados). La combustión del *iso*-octano se caracteriza por la liberación de una gran cantidad de energía. Estrictamente desde el punto de vista termodinámico, decimos que la reacción libera una gran cantidad de *energía libre de Gibbs*, pero de momento sigamos pensando en el sentido intuitivo asociado al concepto de energía. Esa liberación

de energía puede manifestarse con una liberación de calor (por eso las combustiones *calientan*), o también realizando un trabajo, como en este caso es la expansión mecánica producida por la generación de gases ( $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{v})$ , figura 38).

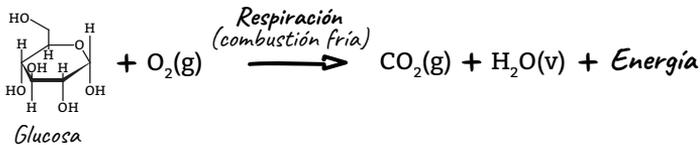
**Figura 38.** Analogías entre la combustión en un motor y en un ser vivo



Fotoautótrofos: utilizan la **energía** del Sol.

Quimiolitótrofos: utilizan la **energía** de las reacciones químicas que no involucran moléculas orgánicas.

Quimioheterótrofos: utilizan la **energía** liberada por la reacción de combustión de moléculas orgánicas (azúcares, ácidos grasos).



Fuente: elaboración propia.

Ahora, ¿cómo podemos extrapolar estas ideas al caso de una célula?, ya que a primera vista no parece haber muchas similitudes entre el funcionamiento de un

motor y el de una célula. Bueno, hagamos una comparación un poco más profunda. La célula, al igual que el motor, es un sistema complejo integrado por partes relacionadas entre sí, en un caso a través de una vinculación química y en el otro por una relación mecánica. Lo que tienen en común es que para que sus partes *funcionen*, es decir, realicen un desempeño, necesitan energía, y esa energía debe ser obtenida de alguna forma. En el caso del motor, como describimos antes, esa energía se obtiene por la reacción de combustión de los combustibles. En el caso de los seres vivos, y esta es una característica primordial de todas las células (como el código genético), el combustible que se utiliza es el adenín trifosfato (ATP), que es un ribonucleótido que vimos en capítulos anteriores. En este caso la reacción de producción de energía es una hidrólisis, es decir, una reacción en la que ocurre una ruptura del enlace hidrógeno-oxígeno del agua y de los enlaces oxígeno-fósforo de los trinucleótidos. Esta hidrólisis libera una cantidad muy grande de energía, que puede ser utilizada para hacer que reacciones que espontáneamente no ocurrirían, ocurran. Ahora, el ATP, esa molécula que semeja el combustible de los motores, no aparece mágicamente en la naturaleza sino que debe ser producida.

Otra de las características interesantes de la transformación ATP-ADP es que ocurre en las dos direcciones posibles: ATP-ADP liberando energía, o ADP-ATP almacenando energía. Esta reversibilidad es una característica que los sistemas vivos comparten con la batería (acumulador de plomo) de nuestros autos, que puede funcionar cediendo energía en el arranque, o guardando la energía cuando el auto está en movimiento.

Pero entonces la pregunta que podríamos hacernos es: ¿cómo ocurre la reacción de transformación de ADP en ATP?, ¿de dónde sale la energía que necesitamos? Para esto la naturaleza no desarrolló una única estrategia sino varias distintas, según la complejidad de los diferentes organismos.

La estrategia que siguen los organismos denominados fotoautótrofos es la de transformar la energía electromagnética del Sol en moléculas de ATP. Por supuesto esta transformación es sumamente compleja, porque de lo que se trata es de cambiar la energía de los fotones de la luz en enlaces oxígeno-fósforo del ATP. Este proceso es lo que denominamos fotosíntesis. Este conjunto maravilloso de reacciones puede ser llevado adelante por algunas bacterias (por ejemplo bacterias púrpura, cianobacterias), pero fundamentalmente es realizado por las células fotosintetizadoras de las plantas.

Por otro lado, los organismos quimiolitótrofos son aquellos que utilizan moléculas o compuestos inorgánicos para generar energía. Por ejemplo, las bacterias metanógenas pueden generar energía a través de la reacción que transforma protones ( $H^+$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ) en metano ( $CH_4$ ) e hidrógeno molecular ( $H_2$ ). Finalmente, encontramos las células quimiheterótrofas, a las que pertenecen todas las de nuestro cuerpo, y que se caracterizan por generar energía a partir de reacciones que involucran compuestos orgánicos y oxígeno molecular, dando como producto dióxido de carbono y agua (como la combustión de los motores pero en forma fría, figura 38). Por ejemplo, nuestras células pueden oxidar un

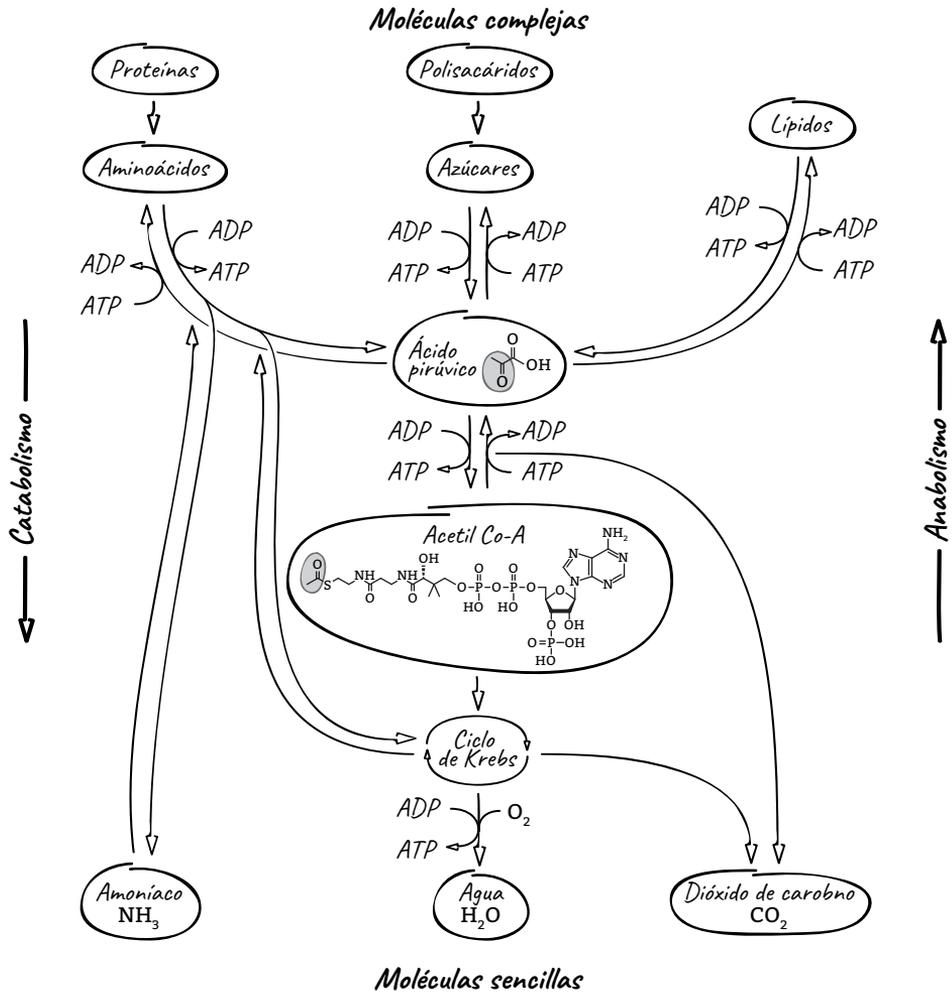
azúcar como la glucosa a dióxido de carbono, y la energía que esa reacción libera se utiliza para transformar moléculas de ADP en ATP para que estén disponibles para cuando nuestro organismo las necesite. Por supuesto que estas transformaciones son procesos en varias etapas (habitualmente ciclos), con muchos pasos, donde cada una de esas reacciones tiene una catálisis enzimática y además donde la actividad de cada enzima está regulada, tanto por la presencia de cofactores o inhibidores, como por el control de su expresión genética. Es decir, es un mecanismo realmente muy sofisticado.

### La maravillosa interconexión metabólica entre las biomoléculas y los compuestos inorgánicos sencillos

Dentro del conjunto de células quimioheterótrofas están aquellas que respiran oxígeno molecular ( $O_2(g)$ ). En este caso existe una interconexión entre las biomoléculas que decíamos que constituyeron la *sopa prebiótica* (proteínas, polisacáridos y lípidos y las moléculas más sencillas como dióxido de carbono ( $CO_2(g)$ ), agua ( $H_2O(l)$ ) y oxígeno molecular ( $O_2(g)$ ). Esta relación se conoce como ruta metabólica, es decir es una sucesión de reacciones químicas que se *enganchan* una a continuación de la otra y en donde todos los pasos de reacción están acelerados por la acción de una enzima específica. Esta compleja interconexión de moléculas se representa en forma muy simplificada en la figura 39, donde se intenta ir desde moléculas que tienen un *alto contenido energético* como las proteínas, los polisacáridos y los lípidos (figura 39, sector superior), hasta moléculas más sencillas, como el agua, el amoníaco y el dióxido de carbono, con un bajo contenido de energía (figura 39, sector inferior). Si recorremos ese camino desde el sector superior hasta el sector inferior, estamos yendo desde moléculas *complejas y con alto nivel energético* hasta moléculas *sencillas y con menos energía*. Al hacer el recorrido en este sentido, de arriba hacia abajo, decimos que la ruta metabólica es catabólica porque va en un sentido degradativo, de más compleja hacia menos compleja en términos moleculares. La ventaja de hacer este recorrido es que *podemos sacarles* energía a las moléculas de mayor complejidad. Fíjense que cuando hacemos el recorrido en el sentido catabólico en muchos pasos sobre las flechas hay indicada una transformación de ADP en ATP, que como explicamos en la sección anterior es la estrategia básica de todos los seres vivos para almacenar energía.

Si ahora hacemos el recorrido desde el sector inferior de la figura 39 hacia arriba, ese recorrido es en el sentido que va desde moléculas sencillas (amoníaco, agua, oxígeno) hacia moléculas más complejas (proteínas, polisacáridos, lípidos). El recorrido en este sentido es *sintético*, es decir, estamos haciendo (sintetizando) moléculas complejas a partir de estructuras más sencillas. Pero de la misma manera que cuando hacemos una pared a partir de ladrillos necesitamos energía, para hacer el recorrido de la ruta metabólica desde abajo (los ladrillos moleculares) hacia arriba (la pared, los biopolímeros) también necesitamos energía.

**Figura 39.** Representación de la relación metabólica entre las moléculas complejas, las sencillas y la producción o utilización de la energía



Fuente: elaboración propia.

Este recorrido de la ruta metabólica se denomina anabolismo, que quiere decir que lo estamos recorriendo en el sentido sintético. Por supuesto, para ir en este sentido necesitamos energía, y por eso en este recorrido el ATP se transforma en ADP. Esto pone de manifiesto una propiedad explícita en la figura 39, que es importante remarcar, y es que esta ruta metabólica puede funcionar en ambos sentidos, cuando necesitamos energía funciona en el sentido catabólico, y cuando

necesitamos moléculas funciona en el sentido anabólico. Esto implica que cada una de las reacciones de la ruta metabólica debe ser reversible, es decir que debe poder ocurrir en ambas direcciones.

Desde el punto de vista del diseño de la ruta metabólica hay tres grandes etapas. La primera es la transformación de las proteínas y los polisacáridos en sus respectivos monómeros, los aminoácidos y los monosacáridos. Los lípidos son estructuras más sencillas, que en el caso de los triglicéridos sufren una hidrólisis a ácidos grasos. Estas moléculas monoméricas, aminoácidos, monosacáridos y lípidos pueden experimentar una serie de reacciones químicas que terminan en un intermediario común que es el ácido pirúvico, una molécula sencilla de tres átomos de carbono y que es importante porque es el *eslabón* que en la ruta metabólica *engancha* a estas tres familias moleculares. En el camino desde los aminoácidos, los monosacáridos y los lípidos hasta el ácido pirúvico se produce energía, que se almacena químicamente bajo la forma de moléculas de ATP. El ácido pirúvico es un producto químico esencial, porque en el sentido anabólico a partir de él pueden prepararse moléculas de cualquiera de las familias que mencioné.

La segunda etapa de esta ruta metabólica es la transformación del ácido pirúvico en acetil co-enzima A (acetil Co-A, figura 39). Lo que ocurre en este paso es que el ácido pirúvico experimenta una reacción que se denomina descarboxilación (porque se pierde un grupo ácido carboxílico en forma de dióxido de carbono) y un grupo acetilo (marcado con gris en la figura 39) pasa a formar parte de la estructura del acetil Co-A. Los dos carbonos de la estructura del ácido pirúvico (indicados en gris en la figura 39) se incorporan en la estructura del acetil Co-A. Esta incorporación también produce energía, y aunque en la figura 39 lo hemos representado mediante la producción de ATP, en realidad lo que se produce es una molécula que se denomina nicotinadeninucleótido reducido (NADH) que es una forma de almacenar lo que los químicos denominamos *poder reductor*, y que tiene que ver también con otra forma de almacenar energía. Simplifiquemos el problema pensando que la energía queda almacenada bajo la forma de ATP. Lo importante es que la acetil Co-A puede entrar en la última etapa de esta ruta metabólica, que es la denominada *ciclo de Krebs* o *ciclo de los ácidos tricarboxílicos*. En este ciclo lo que ocurre es una cantidad de interconversiones entre moléculas de ácidos carboxílicos que liberan dióxido de carbono ganando energía, que se almacena bajo la forma de ATP. El dióxido de carbono que se produce en el ciclo de Krebs es el que nosotros exhalamos en nuestra respiración, y que no es otra cosa que el resultado de la respiración celular.

Fíjense que todo este maravilloso ciclo es equivalente al funcionamiento de un motor *trinorma*, es decir que puede aceptar como combustible proteínas (un buen churrasco), hidratos de carbono (unos buenos fideos) o lípidos (un buen queso). Finalmente, ese motor termina produciendo dióxido de carbono y agua como los motores de combustión interna (figura 38), solo que lo hace en *forma fría*, es decir trabando a baja temperatura (37 °C) y almacenando la energía sofisticadamente en enlaces oxígeno-fósforo al transformar moléculas de ADP en ATP.

## Teorías sobre el origen de la vida

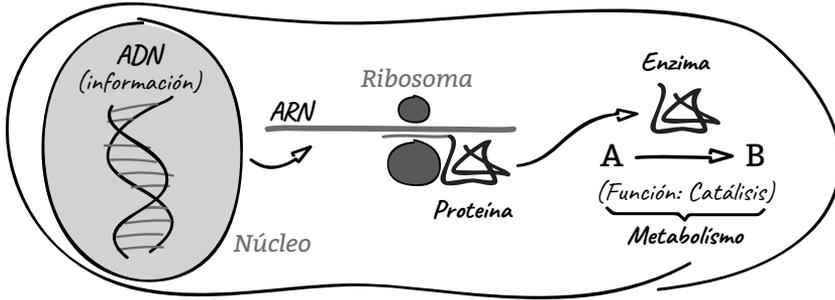
A esta altura del partido seguramente se estarán preguntando ¿y entonces qué? Recapitulemos lo que vimos en las secciones “¿Qué hacemos entonces con la sopa primordial?” y “Algunas cuestiones sorprendentes de nuestras células”. Nuestras células modernas son estructuras maravillosas que tienen, entre otras características, un sistema de almacenamiento y reproducción de la información (ADN, figura 36) y un sistema metabólico con las moléculas necesarias para realizar todas las funciones vitales para la célula, como por ejemplo producir energía (figura 39).

En este punto la pregunta que podríamos hacernos es: ¿cómo es que pasamos de una sopa prebiótica de moléculas, formada en el mejor de los casos por estructuras poliméricas como los ácidos nucleicos, las proteínas, los polisacáridos y los lípidos, a tener todas esas moléculas ordenadas y que desempeñan distintas funciones, ordenadas en un metabolismo celular, y con la capacidad de transmitir información genética a la generación siguiente? Sería como haber conocido a un conjunto de personas en un parque, cada una con un instrumento en el que cada una tocaba una melodía diferente, y al tiempo encontrarlas juntas tocando al unísono la *Quinta* de Beethoven, cada una con la partitura correspondiente a su propio instrumento. ¿Qué pasó?, ¿cómo ocurrió ese cambio maravilloso? No tenemos todavía muchas respuestas para este punto de la historia, más bien tenemos muchas dudas, pero hay una pregunta que resume el centro de la cuestión: ¿qué fue primero, el mecanismo genético o el metabolismo? Es decir, ¿qué se ensambló primero?, ¿el sistema de ácidos nucleicos fundamentales para la multiplicación celular?, ¿o las moléculas con capacidad catalítica, indispensables en los ciclos metabólicos? Es una pregunta equivalente a la del huevo y la gallina en el siguiente sentido: la existencia del metabolismo, es decir de un conjunto de reacciones que ocurren coordinadamente con algún propósito (por ejemplo, producir energía), para que sea útil debe ser *heredable*, es decir, se debe poder transferir de una generación de células a la siguiente. Pero las moléculas que componen los ciclos metabólicos no tienen la propiedad de *reproducirse*, esta propiedad es característica de los ácidos nucleicos. También es una pregunta tramposa, porque tal cual está planteada supone que alguna de las dos cosas debió ocurrir primero: el metabolismo primero o la información primero, y seguramente la realidad fue mucho más compleja. La interdependencia entre el mecanismo genético y el metabolismo, es decir, entre las moléculas que guardan la información sobre cómo hacer otras moléculas y las *moléculas obreras*, las enzimas, intenta ser representada en la figura 40. En esta figura puede observarse que en el ribosoma se sintetiza una molécula de proteína, que por ejemplo catalizará una reacción de interconversión de una molécula genérica A en otra que denominamos B. Esta reacción puede ser cualquiera de las esquematizadas en la figura 39, en la que precisamente en cada uno de los pasos interviene una enzima. Pero esta enzima de base proteica se sintetiza en el ribosoma, como vimos en la sección “Algunas cuestiones sorprendentes de nuestras células”, a partir de la información genética del ARN, que a su vez proviene de la información genética del ADN. Entonces, si tene-

mos que desarrollar una célula que tenga un sistema de información y un sistema de reacciones para realizar funciones (metabolismo), volvemos sobre la misma pregunta: ¿qué hacemos primero?

Algunas de las posibles respuestas a estas preguntas son las que vamos a tratar de esbozar en las dos secciones siguientes.

**Figura 40.** Flujo de la información genética en una célula eucariota



Fuente: elaboración propia.

## Teorías sobre el metabolismo primero

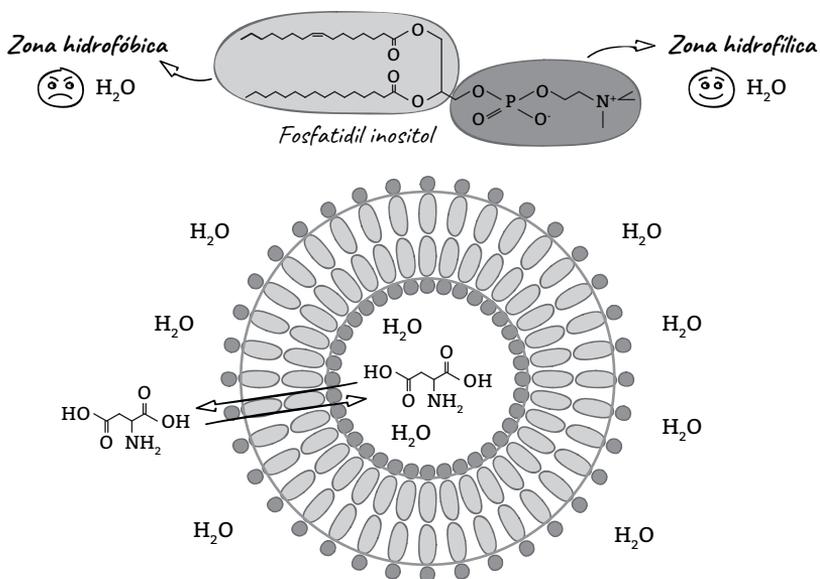
El grupo de defensores de la teoría del “metabolismo primero” sostiene que la vida se formó como consecuencia de una intrincada red de reacciones entre moléculas que tuvieron catalizadores de origen orgánico y/o inorgánico. Una pregunta que podríamos hacernos es: ¿de qué red de reacciones estamos hablando?, ¿es posible imaginar algún ejemplo de cómo pudo haber sido ese ancestro metabólico? Günter Wächtershäuser, un abogado alemán especializado en patentes pero aficionado a la biología, propuso por la década de los ochenta un ciclo metabólico parecido al ciclo de Krebs (figura 39), pero en el que en lugar de oxígeno proponía la utilización como agente oxidante  $\text{FeS}_2$  (pirita), que se reduce a  $\text{FeS}$  (troilita), catalizada por  $\text{H}_2\text{S}$  (sulfuro de hidrógeno). Un grupo de químicos experimentales asociados a Wächtershäuser lograron probar la reducción de varias moléculas orgánicas utilizando pirita.<sup>1</sup> Si bien desde el punto de vista químico es posible imaginar un ciclo metabólico como el propuesto por Wächtershäuser, es difícil sostener que un único mineral, la pirita en este caso, haya sido capaz de catalizar un conjunto tan diverso de reacciones. Al menos no ha sido posible encontrar un único mineral o un conjunto de ellos que pudieran funcionar como catalizadores de un ciclo metabólico como

<sup>1</sup> E. Blochl, M. Keller, G. Wächtershäuser, K. O. Stetter. “Reactions depending on iron sulfide and linking geochemistry with biochemistry”. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 89, 8117-8120, 1992.

el propuesto. Pero hay una objeción más seria todavía a esta propuesta: aun suponiendo que ese ciclo pudiera haber existido, ¿cómo se transmitió a las primeras células? Las moléculas que participan de los ciclos metabólicos como el representado en la figura 39 no son heredables, es decir, transferibles de una generación a la siguiente directamente. Lo que es heredable es el conjunto de genes (es decir, un conjunto de instrucciones) que permiten construir las moléculas y los compartimentos celulares donde estas moléculas se albergan.

Hay otra variante de las teorías del metabolismo primero que se conoce como "Lipid World"<sup>2</sup> (o *mundo lipídico* o *mundo grasoso*, como prefieran). Lo que propone esta teoría es que en los orígenes de la Tierra pudo haber existido una gran cantidad de moléculas con la capacidad de formar micelas. Pero ¿qué son las micelas? En el capítulo anterior algo habíamos adelantado sobre el concepto de molécula anfifílica para el caso particular de los fosfolípidos. Las moléculas anfifílicas tienen en su estructura dos partes marcadamente diferentes desde el punto de vista químico. Una parte a la que le gusta el agua (los químicos le decimos hidrofílica, figura 41) y otra a la que no le gusta nada el agua (hidrofóbica, figura 41).

**Figura 41.** Formación de micelas en agua a partir de fosfolípidos



Fuente: elaboración propia.

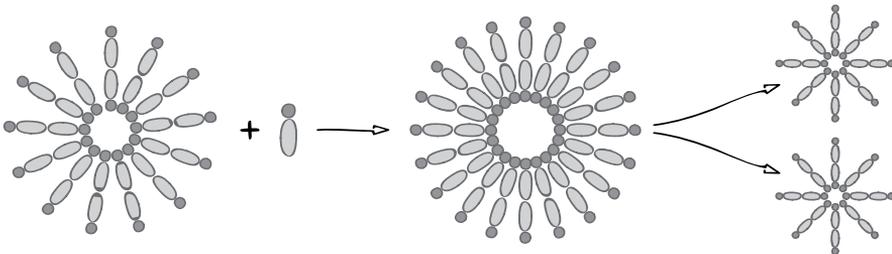
<sup>2</sup> D. Segré, D. Ben-Eli, D. W. Deamer, D. Lancet. "Lipid World". *Orig. Life Evol. Biosph.* 31, 119-145, 2001.

Cuando uno tiene moléculas anfifílicas en agua, las moléculas se organizan en un arreglo que se denomina *supramolecular*, porque implica la organización de más de una molécula. Ese arreglo supramolecular forma pequeñas esferas cuyos bordes están formados por una doble capa de moléculas anfifílicas, que se organizan apuntando sus extremos hidrofílicos hacia el agua y esconden sus extremos hidrofóbicos entre sí. En la figura 41 se representa una molécula anfifílica moderna (parte de nuestro organismo), el fosfatidil inositol, pero las hay mucho más sencillas químicamente, como los denominados ácidos grasos de cadena larga, que son los componentes principales de los jabones. Estas esferitas con una doble capa molecular tienen agua en su centro (figura 41) y además tienen la propiedad de ser permeables, es decir dejan pasar a través de su frontera a otras moléculas, como por ejemplo aminoácidos. Lo que la teoría del Lipid World propone es que pudo haberse formado en la Tierra una sopa de micelas a partir de moléculas anfifílicas, que habrían funcionado como *minirreactores* al concentrar otras moléculas diferentes en su interior, aumentando su probabilidad de reacción.

Ahora, la pregunta que uno podría hacerse es: ¿de dónde salieron las moléculas anfifílicas?, dado que habíamos visto en capítulos anteriores que la síntesis abiótica de lípidos es todavía un problema no resuelto. Una posibilidad es que esas moléculas se hayan formado a partir del material proveniente del bombardeo de meteoritos carbonáceos (como el meteorito Murchinson). Habíamos visto que la Tierra experimentó un período con un bombardeo sostenido sobre su superficie, y es probable que muchos de esos meteoritos hayan sido particularmente ricos en compuestos de carbono reducido, como alcanos de hasta diez átomos de carbono y compuestos aromáticos. Una posible hipótesis es que esos *hidrocarburos meteoríticos* sufrieran sobre la superficie de la Tierra un proceso de transformación (por ejemplo carboxilaciones en presencia de  $\text{CO}_2(\text{g})$ ) que los transformaran en moléculas anfifílicas primigenias.

Los defensores de la teoría del Lipid World sostienen que pudo haberse formado una mezcla de moléculas anfifílicas (desconocidas hasta ahora experimentalmente) que permitieron que las micelas formadas crecieran y se dividieran (figura 42).

**Figura 42.** Crecimiento y división de las micelas



Fuente: elaboración propia.

Aun considerando como posible la existencia de una mezcla de lípidos anfifílicos que tuvieran la capacidad de *multiplicarse* según el esquema de la figura 42, a partir de alguna *mezcla primordial*, y aun aceptando que esas micelas pudieran haber atrapado algunas moléculas orgánicas como aminoácidos o nucleótidos que podrían haber experimentado alguna reacción en su interior, queda un problema, un gran problema por resolver: ¿cómo se transmitieron los avances químicos conseguidos (como por ejemplo alguna ventajosa reacción de acoplamiento de aminoácidos) de una micela a otra? Es decir, el problema es que si no hay sistema de almacenamiento de información, no hay memoria de la mejora química conseguida, y por lo tanto no hay capacidad de evolucionar.

### **Teorías sobre los genes primero**

La limitación que acabamos de señalar de la teoría del Lipid World es bastante seria. Para poder evolucionar necesitamos que nuestros sistemas químicos tengan alguna capacidad de almacenamiento de la información. Existe una explicación alternativa que propone el desarrollo de un *sistema informático* que precedió a la aparición del metabolismo, y es conocida como la teoría del mundo ARN o más popularmente denominada RNA World. El término fue acuñado por Walter Gilbert,<sup>3</sup> y en realidad no es una teoría única sino un conjunto de hipótesis comunes sobre las que existen interpretaciones diferentes entre los científicos.<sup>4</sup> Lo que es seguro es que todos sus defensores coincidirían en que esta teoría supone la existencia del ARN en una etapa química de la evolución que es previa a la aparición de las proteínas y al ADN. Además, esta teoría supone como hipótesis que esta familia de moléculas, el ARN, desempeñó al mismo tiempo la función de soporte molecular del mecanismo de herencia y también funciones metabólicas. Si bien la idea de que el ARN podría haber precedido al ADN en términos evolutivos, y que podrían haber existido catalizadores enzimáticos hechos con ARN fue postulada por diferentes autores a finales de los sesenta,<sup>5</sup> permaneció solo como una hipótesis teórica hasta principios de la década de los ochenta. En 1982, Thomas Cech y su grupo de colaboradores se encontraba estudiando los procesos de maduración del ARN de un pequeño protozoo, la *Tetrahymena thermophila*. Al tratar de aislar el ARN de este microorganismo ocurrió que una fracción del ARN se fragmentaba (cortaba) en una forma específica (es decir siempre de la misma forma). La primera hipótesis de lo que estaba sucediendo era que evidentemente tenían la fracción de ARN

---

3 W. Gilbert, "The RNA World". *Nature* 319, 618-618, 1986.

4 J. F. Atkins, R. F. Gesteland, T. R. Cech. *RNA Worlds. From Life's Origin to Diversity in Gene Regulation*. Nueva York: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2011.

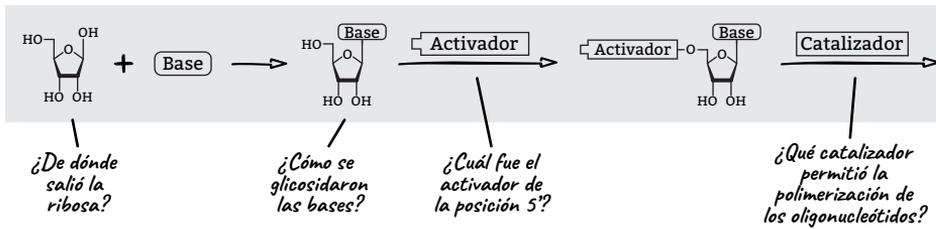
5 a) C. Woese. *The genetic code*. Nueva York: Harper and Roe, 1967; b) F. H. C. Crick. "The origin of the genetic code". *J. Mol. Biol.* 38, 367-379, 1968; c) L. E. Orgel. "Evolution of the genetic apparatus". *J. Mol. Biol.* 38, 381-393, 1968.

impurificada con proteínas del tipo nucleasa, que son las que tienen la función de cortar al ARN. Lo que hicieron entonces fue tratar de purificar esta fracción de ARN, separándola de estas elusivas enzimas, pero no lo lograron. Agregaron entonces al medio de reacción otras enzimas degradadoras de proteínas (algo así como soltar hurones para eliminar ratas), con el objetivo de acabar con las primeras, pero el ARN seguía degradándose. Después de haber intentado muchos métodos de purificación y de inhibición de las proteínas, Cech se vio forzado a postular como hipótesis que la actividad de corte del ARN era consecuencia de una actividad específica de una secuencia determinada del ARN. Había encontrado la primera ribozima, es decir la primera secuencia de ARN con actividad catalítica.<sup>6</sup> Esta es una importante diferencia respecto de la teoría del Lipid World: la teoría del RNA World tiene fundamentación experimental, es decir, efectivamente se han podido encontrar en el laboratorio secuencias de ARN con actividad catalítica.

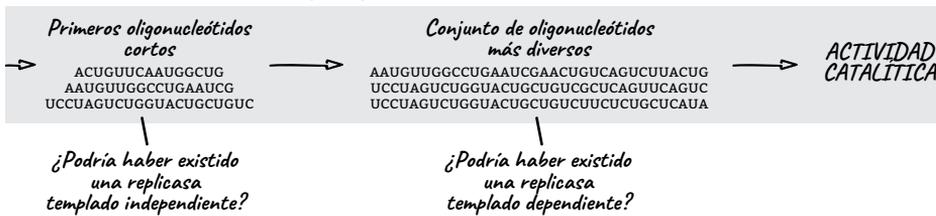
**Figura 43.** Secuencia de aparición y problemas no resueltos del RNA World



Possible secuencia de eventos



Possible secuencia de eventos (cont.)



Fuente: elaboración propia.

6 K. Kruger, P. J. Grabowski, A. J. Zaugg, J. Sands, D. E. Gottschling, T. R. Cech. "Self-splicing RNA: Autoexcision and autoxycyclization of the ribosomal RNA intervening sequence of Tetrahymena". *Cell* 31, 147-157, 1982.

Lo que estamos diciendo, entonces, es que hay un grupo importante de científicos<sup>7</sup> que proponen a las moléculas de ARN como el primer grupo que pudo haber funcionado como un *sopORTE informático* (un código de lenguaje específico dado por la naturaleza de sus cuatro bases A, C, U, G), pero al mismo tiempo pudo haber desempeñado funciones de *catalizador*, es decir, como acelerador de algunas reacciones implicadas en procesos metabólicos como los descritos en la figura 39. Ahora, ¿cómo podría haber sido la cadena de eventos que dio origen a un conjunto tan grande de moléculas de ARN como para que pudieran surgir sus funciones catalíticas y de almacenamiento de información? La figura 43 intenta señalar una posible secuencia temporal de eventos, con los problemas abiertos que esta hipótesis plantea.

Algunos de estos eventos recogen preguntas que ya habíamos planteado, como por ejemplo ¿de dónde surgió la ribosa? En el capítulo 3 habíamos discutido que algunos de los azúcares sencillos podrían haber sido formados a través del mecanismo de la formosa (pág. 80), aunque entre esos monosacáridos no se encuentra la ribosa. Esta es la razón por la cual los procesos químicos que podrían haber dado origen a la ribosa son una pregunta abierta. Habíamos visto también en el capítulo 3 que los nucleósidos estaban constituidos por la unión entre la ribosa y una base pirimidínica o purínica (pág. 73) a través de lo que denominábamos carbono-1 del azúcar. Esta unión denominada glicosidación ocurre dando origen a una forma geométrica única (los químicos decimos una estructura única). Esta también es una pregunta abierta: ¿cómo ocurrió la reacción de glicosidación?, y ¿cuál pudo haber sido el mecanismo que condujo a que los nucleósidos tuvieran las bases nitrogenadas ubicadas siempre hacia la misma zona del espacio (hacia el mismo lado que el hidroxilo primario)? También habíamos visto en el capítulo anterior que las secuencias cortas de ácidos nucleicos de ARN que denominábamos oligonucleótidos eran el resultado de la polimerización de nucleótidos (pág. 91). Los nucleótidos son nucleósidos fosforilados en la posición 5', de forma tal que se puedan comportar como monómeros (pequeños ladrillos) que permiten la construcción (los químicos decimos síntesis) de la molécula polimérica que es el oligonucleótido. La naturaleza del grupo activante del fosfato es todavía otra pregunta sin respuestas claras. Si bien en el laboratorio se han conseguido polimerizaciones a partir de grupos activantes sencillos, es difícil pensar que estos grupos hayan existido en la era prebiótica. Además de la naturaleza del grupo activante, la otra pregunta todavía abierta es: ¿cuál pudo haber sido el catalizador que polimerizó esos nucleótidos activados? También hay mucha actividad científica al respecto; hay algunos buenos candidatos como la montmorillonita, una arcilla que ha demostrado en el laboratorio tener capacidad de polimerizar secuencias cortas de nucleótidos activados. Pero, aun suponiendo que las montmorillonitas pudieran haber polimerizado algunas secuencias cortas, es difícil imaginar la construcción de secuencias oligonucleotídicas largas a partir de catalizadores

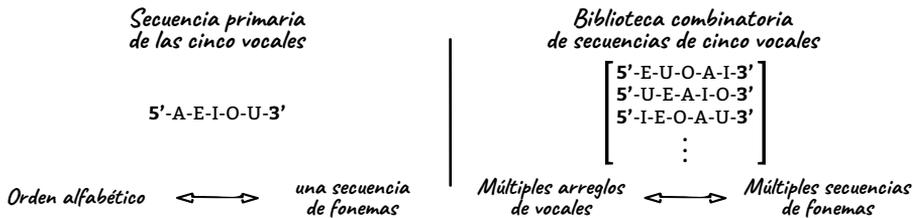
---

7 J. F. Atkins, R. F. Gesteland, T. R. Cech (eds.). *RNA Worlds*. Nueva York: CSH Press, 2011.

inorgánicos como la montmorillonita, simplemente porque la eficiencia del proceso es muy baja. Entonces, la pregunta en este punto es: ¿habrá existido alguna replicasa-templado independiente? ¿Qué quiere decir esto? ¿Habrá existido alguna secuencia de ARN que tuviera la capacidad de polimerizar nucleótidos activados en forma aleatoria, sin importar qué secuencia se sintetizaba? Aún no se ha encontrado una secuencia de ARN con actividad catalítica (ribozima) de este tipo en el laboratorio, pero hay grupos de investigación que intentan hacerlo.

La actividad de esta hipotética replicasa-templado independiente (que no lee un molde para copiarlo) es necesaria para construir un conjunto abundante de secuencias oligonucleotídicas diferentes. Esto es lo que los químicos denominamos una *biblioteca combinatoria*. Para entender mejor esta idea pensemos en una analogía como la secuencia alfabética de las vocales (figura 44). Imaginemos que tenemos la secuencia de las cinco vocales ordenadas alfabéticamente de izquierda a derecha: es lo que podríamos denominar secuencia primaria de las vocales, es decir, un arreglo específico de las cinco vocales que tiene asociada una secuencia de los cinco fonemas (una secuencia única). Solo por convención llamemos al extremo izquierdo 5' y al extremo derecho 3'. Pero en realidad hay varias formas de arreglar las cinco vocales, podemos armar todo un conjunto de las diferentes secuencias que contienen las cinco vocales, en un orden definido 5' a 3' y podemos llamar a ese conjunto *biblioteca combinatoria*, porque las secuencias fueron generadas al azar. A esta colección grande de secuencias de vocales corresponde un conjunto grande y diferente de secuencia de fonemas (esto es si las leemos en voz alta).

**Figura 44.** Idea de secuencia primaria y biblioteca combinatoria



Fuente: elaboración propia.

Ahora imaginemos que en lugar de tener una biblioteca combinatoria formada por las cinco vocales, tuviéramos una biblioteca combinatoria de los cuatro nucleótidos del ARN (U, C, A, G). Lo interesante de los ácidos nucleicos es que no debemos imaginarlos como una hebra lineal, sino que en realidad tienen una estructura tridimensional sofisticada, y asociada a la existencia de una estructura tridimensional aparece la posibilidad de que estas moléculas desempeñen algu-

na *función*. Lo que se ha comprobado experimentalmente en el laboratorio es que existen secuencias de ARN (y también de ADN) relativamente cortas, que pueden funcionar como catalizadores: son las antes mencionadas ribozimas (las secuencias en base ADN se denominan desoxirribozimas o DNAzimas), y que pueden obtenerse por procedimientos específicos denominados *selección molecular*<sup>8</sup> a partir de bibliotecas combinatorias de secuencias de ARN o ADN. Es decir, es posible obtener una molécula de ARN o ADN con una función específica a partir de un conjunto de moléculas *al azar*.

## **Un ancestro celular común: LUCA (“yo quiero cruzar con la barrera...”)**

Si aceptamos las premisas del RNA World, que nos dicen que la aparición de las moléculas de ARN significó para la *evolución de la materia* la aparición de funciones específicas ligadas a estructuras moleculares definidas, estamos más cerca de poder *construir* un ser vivo. ¿Por qué digo esto? Un ser vivo no puede existir sin dos requisitos fundamentales: algún sistema químico *de memoria* que le permita transferir su información a las generaciones siguientes, y un sistema de catalizadores, es decir, de moléculas que pueden hacer que la velocidad a la que ocurren las reacciones químicas se acelere impresionantemente (la vida se basa en un conjunto de reacciones químicas que ocurren muy pero muy rápido). ¿Y saben qué?, el ARN puede cumplir ambas funciones, puede *multiplicarse* transfiriéndose a futuras generaciones (por complementariedad de bases) y puede funcionar como catalizador (nuestras antes mencionadas ribozimas).

Si bien es claro que esta historia tiene todavía agujeros importantes, es posible pensar en una secuencia de eventos que pudo haber conducido desde la *sopa primordial* a una primera célula viva. Esa célula viva tiene nombre, se llama LUCA, que resulta de las iniciales de *Last Universal Common Ancestor*. Algunos de los eventos necesarios para la aparición de LUCA se indican en la figura 45.

Sucintamente, y como se explicó en párrafos anteriores, la postulación en el contexto de la teoría del RNA World de la aparición de múltiples secuencias de ARN permitió que aparecieran moléculas con funciones específicas (ribozimas). Este proceso es lo que podríamos denominar *primera era del RNA World*.<sup>9</sup>

Luego de esta primera era del RNA World sobrevino una segunda, en la que la complejidad química comenzó a aumentar. Aparecieron las proteínas y se desarrolló el código genético, es decir el mecanismo de traducción entre una determinada secuencia de ARN y las proteínas. De la misma forma que antes se había ge-

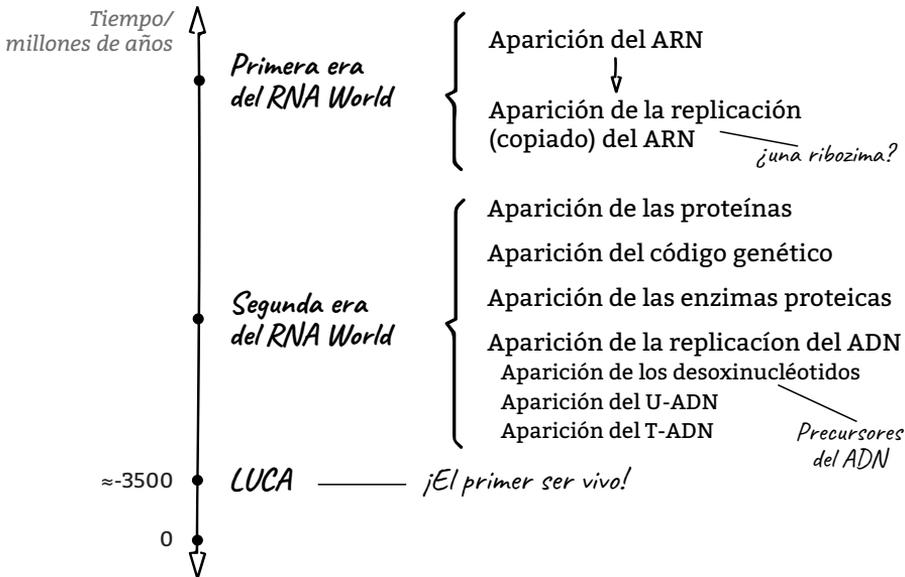
---

8 Sven Klussmann (ed). *The Aptamer Handbook. Functional Oligonucleotides and their Applications*. Weinheim, Alemania: Wiley-vch, 2006.

9 S. Gribaldo, P. Forterre, en: M. Gargaud, B. Barbier, H. Martin, J. Reisse (eds.). *Lectures in Astrobiology*, volumen I, capítulo 7, pág. 195. Berlín-Heidelberg: Springer-Verlag, 2006.

nerado una gran diversidad de moléculas de ARN, ahora se empezó a generar una gran diversidad de proteínas (constituidas por aminoácidos), que como en el caso anterior tenían funciones catalíticas específicas. Así, estas enzimas deben haber permitido el paso desde el RNA World al DNA World. Esta afirmación requiere algunas aclaraciones. En términos de la capacidad de evolucionar, el ADN es superior al ARN. La razón es simple, el ADN es más estable. Podríamos preguntarnos por qué, y la respuesta es la presencia de un simple grupo hidroxilo (un oxígeno unido a un hidrógeno) en la posición 2' del esqueleto ribosídico. La presencia de ese oxhidrilo en el ARN hace que este sea químicamente inestable, es decir que, por ejemplo, pueda destruirse una secuencia en agua muy rápidamente (los químicos decimos hidrolizarse). Entonces, lo que el ADN permitió fue *guardar mejor la información genética*, en un soporte químico más estable (es como si estuviéramos guardando la información de nuestra computadora en lugar de en un disco rígido de marca desconocida, en uno de un proveedor seguro). Lo que esto permitió fue el desarrollo de genomas más complejos (y por lo tanto más largos).

**Figura 45.** Etapas del RNA World



Fuente: elaboración propia.

Pero la aparición del ADN evidencia un misterio todavía no resuelto. Está claro que el ADN es un hijo evolutivo del ARN, pero ¿cómo apareció? Lo que es seguro es que en la naturaleza los ladrillitos que forman el ADN (los desoxinucleótidos) se obtienen

a partir de los ribonucleótidos por la acción de una enzima denominada nucleótido reductasa, encargada de eliminar el hidroxilo de la posición 2' y reemplazarla por un átomo de hidrógeno. Esto querría decir que en la segunda era del RNA World debieron comenzar a desarrollarse enzimas de base proteica (al menos hasta ahora no se conoce ninguna ribozima reductasa). El proceso de aparición del ADN seguramente implicó una serie de etapas sucesivas, aparte de la eliminación del hidroxilo en 2'; por ejemplo, en el código genético del ADN no existe la uridina, sino que su versión ADN es la timidina, que se diferencia en que tiene un metilo (un carbono unido a tres hidrógenos, CH<sub>3</sub>) en la posición 5 de la base. La aparición de la timidina es otra ventaja más que tiene el ADN sobre el ARN. En la naturaleza, la citidina, una de las dos pirimidinas (ver figura 25, pág. 73), puede transformar su grupo amino (NH<sub>2</sub>) en carbonilo (CO) en presencia de agua, convirtiéndose por lo tanto en uridina. Esto naturalmente produciría la conversión de una de las cuatro letras del alfabeto (C) en otra (U), lo que introduce un error y por lo tanto un potencial punto de mutación genética. Como la timidina (versión química del uracilo en el ADN) tiene además un metilo en la base, la maquinaria enzimática de la célula cuando reconoce que la citidina se ha hidrolizado ejecuta un proceso químico de reparación que subsana este error. Algunos autores creen que este proceso de evolución del ARN al ADN pudo haberse dado en el contexto de los primeros virus.

Como indica la figura 45, en algún momento de la segunda era del RNA World, cuando ya se habían desarrollado los procesos químicos descritos en esta figura, se debe haber producido su integración (es decir, se juntaron los procesos) en el primer ser vivo, LUCA. Es muy difícil saber qué características pudo haber tenido este ancestro común. Lo que se deduce a partir de análisis filogenéticos, es decir, comparando los genes de las distintas especies existentes y yendo hacia atrás en el análisis hasta encontrar un conjunto mínimo de genes, y por lo tanto de funciones, es que debieron existir en este precursor algunas capacidades básicas como:

- Capacidad de reproducir (es decir copiar) su genoma (es decir la secuencia de su ADN) para transferirlo a su descendencia.
- Existencia de un mecanismo de transcripción (es decir de pasaje) de la secuencia del ADN al ARN, y utilización de este último como *molde* para sintetizar (construir) las proteínas en los ribosomas (por lo tanto se supone también la existencia de ribosomas).
- Existencia de alrededor de unas 200 enzimas de base proteica involucradas en el procesamiento de la información (pasaje ADN-ARN-proteínas) y el metabolismo (cómo obtener energía) y sus correspondientes genes.
- Uso del ATP (ver figura 39) como combustible básico involucrado en la necesidad de energía de sus procesos químicos.
- Existencia de una membrana externa formada por una doble capa lipídica.
- Existencia en la membrana de canales iónicos y proteínas transportadoras de nutrientes.

En este punto, nuestra historia toma un giro dramático y extraordinario: la química se transforma en biología. Es decir, hemos escalado increíblemente en el nivel de complejidad de los sistemas químicos organizados, de forma tal que se han vuelto capaces de reproducirse, de generar energía y de *evolucionar*.

### **Lectura sugerida**

J. F. Atkins, R. F. Gesteland, T. R. Cech (eds.). *RNA Worlds. From Life's Origins to Diversity in Gene Regulation*. Nueva York: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2011.

## Resumen del capítulo 4



*¿ADN, ARN  
proteínas  
o lípidos?*



**LUCA**

Tiempo/Ma

Comentario

Cap. 4

Algunas cuestiones sobre nuestras células 98

Teorías sobre el origen de la vida 108

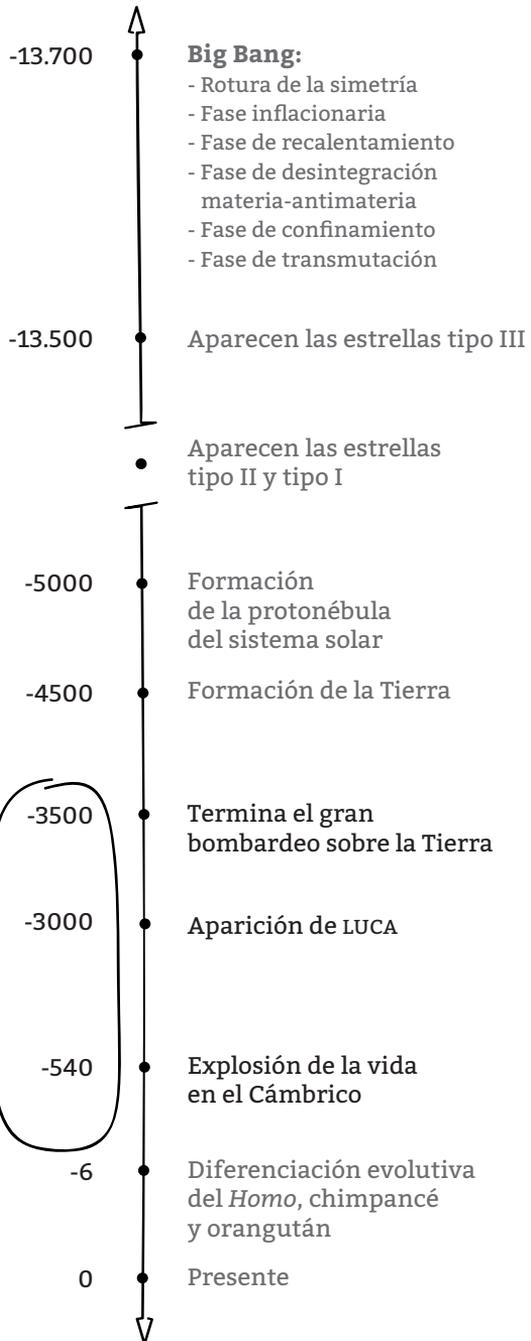
-3500 Nuestro primer ancestro 116

# 05

## La explosión de la vida



**Capítulo 5** →  
*Ud. está aquí*



**Tiempo**  
en millones de años

*¿Cómo definir la vida? - ¿Cuándo comenzó la vida? - ¿Qué significa evolucionar? - La quintuple y silenciosa revolución del Precámbrico: la fotosíntesis, la aparición del núcleo celular, la aparición del oxígeno, la aparición del ciclo de Krebs, la multicelularidad. - El árbol de la vida. - La muerte: sin muerte no hay evolución genética. - La necesidad de que una generación muera para que la siguiente evolucione. - El proceso de hominización. - ¿Estamos solos en el universo? La probabilidad de la existencia de vida en otros planetas.*

## **¿Cómo definir la vida?**

Convengamos, la pregunta del título parece un poco estúpida ¿cómo puede uno preguntarse cómo definir la vida, si podemos reconocer intuitivamente la vida expresada en una hormiga, un gato o un malvón? Permítanme decirles que creo que la pregunta tiene sentido al menos en dos contextos diferentes. El primero es el que está relacionado con el capítulo precedente, que presentó la evolución de los sistemas químicos en sistemas biológicos en la Tierra, es decir el camino que va desde la sopa primordial a LUCA. En este contexto es importante tener en claro cuándo podemos afirmar que algo comienza a *estar vivo*. En este mismo sentido, tal vez sería un poco menos pretencioso reformular la pregunta y replantearla de la siguiente forma: ¿cómo nos damos cuenta de que un ser está vivo?, ¿cuáles son las propiedades o características fundamentales de un ser vivo?

El segundo escenario donde tiene sentido preguntarse cómo reconocer un ser vivo es el de la búsqueda de vida extraterrestre. Este escenario comenzó por el impulso que le dio la NASA cuando empezó a plantearse misiones que pudieran buscar vida en el resto de los planetas de nuestro sistema solar. Esto implicó la necesidad de diseñar equipos específicos que pudieran detectar la presencia, actual o pasada, de seres vivos, para lo cual había que estar seguros de cuáles podrían ser sus características esenciales.

- El asunto es tan importante que la prestigiosa revista *Astrobiology* le dedicó uno de sus números.<sup>1</sup> En el artículo introductorio, David Deamer<sup>2</sup> plantea una serie de características fundamentales de un ser vivo, inspirado en el ejemplo de la vida en la Tierra, pero pensando en su potencial existencia en otra parte del universo. Esa lista de requisitos es la siguiente:

---

1 *Astrobiology* 10(10), 2010.

2 *Astrobiology* 10(10), 1001-1002, 2010.

- La maquinaria química de la vida debe estar constituida por polímeros, es decir, moléculas complejas que están compuestas por otras moléculas más sencillas denominadas monómeros.
- Los seres vivos deben tener una membrana que los separe de su entorno, y cuyas funciones primarias son: la contención del interior del ser, el transporte de nutrientes y el flujo de energía.
- Los polímeros (biopolímeros, en el caso de la Tierra: ADN, ARN y proteínas) deben ser sintetizados utilizando energía generada por el ser vivo. El proceso de síntesis de biopolímeros es fundamental para el crecimiento y reproducción del ser vivo.
- Debe haber un biopolímero responsable del almacenamiento de la información (ADN, en la Tierra), de su transmisión (ARN) y de la ejecución de funciones (proteínas).
- Los biopolímeros asociados, tanto con el procesamiento de la información (ADN y ARN) como con la ejecución de funciones catalíticas y estructurales (proteínas), deben estar relacionados por un conjunto de reacciones químicas (ciclo biológico), que a su vez debe tener un mecanismo de control.
- Durante el proceso de crecimiento el sistema de biopolímeros se reproduce a sí mismo, permitiendo que en algún momento el ser vivo se divida y dé origen a otro ser vivo.
- El proceso de copiado de la información durante la reproducción no debe ser perfecto, de forma que dé lugar a pequeñas variaciones en la secuencia de información que hacen que la progenie no sea exactamente igual a sus padres.
- En condiciones de restricción de nutrientes, climáticas o de variables ambientales (temperatura, acidez, salinidad, etcétera), los distintos seres vivos deben entrar en un proceso de competencia que haga que sobreviva el más apto (el mejor adaptado a esa perturbación), y por lo tanto amplifique esa ventaja de supervivencia en su progenie (selección natural).

Fíjense que estas características pueden aplicarse perfectamente a nuestro ancestro LUCA, descrito en el capítulo anterior. Pero el hecho de considerar a LUCA como el primer ser vivo no nos debe hacer pensar que existe una transición abrupta, un cambio esencial, brutal, entre la sopa primordial y LUCA. Es altamente probable que la sopa primordial haya hecho muchísimos intentos por ensamblar a LUCA, y de hecho muchas de las características de un ser vivo las podemos encontrar por separado en la sopa primordial. En la que denominamos primera era del RNA World teníamos ya biopolímeros informáticos (el ARN); también existían lípidos que formaban vesículas (liposomas) que permitían separar interior de exterior, y también debieron existir las proteínas. Lo increíblemente maravilloso de LUCA es que todo esto y bastante más apareció *ensamblado* y bajo *control* por primera vez con él.

## ¿Cuándo comenzó la vida?

Si aceptamos entonces que la vida en la Tierra comenzó con LUCA, una pregunta legítima que podríamos plantearnos es: ¿cuándo apareció LUCA? Esta no es una pregunta sencilla de contestar, porque si pensamos en el comienzo de la vida, los primeros microorganismos por supuesto no dejaron restos fósiles como los dinosaurios, dado que toda la materia orgánica *blanda* con la que estaban constituidos se degradó. A este punto hay que sumar otra complicación: la corteza terrestre, es decir la capa de roca sobre la cual podemos caminar y que tiene un espesor relativamente delgado (entre 5 y 70 km) sufre lenta, pero continuamente, un proceso de renovación. Parte de la corteza se hunde en dirección al magma, y por otro lado aparece nueva corteza terrestre. Este es el denominado proceso de dinámica de placas tectónicas, que es equivalente a un proceso de renovación de la piel de nuestro planeta. Esto quiere decir que es muy difícil encontrar rocas antiguas en las que pudiera haber quedado algún tipo de evidencia sobre el desarrollo de la vida en la superficie de la Tierra.

Sin embargo, hay algunos científicos que sostienen que existe evidencia experimental de los orígenes microbianos de la vida. Manfred Schidlowski (geólogo alemán) y Steve Mojzsis (geólogo americano) sugirieron que el grafito encontrado en el yacimiento de Akilia, en Groenlandia, de 3700 Ma de antigüedad, podría haberse originado a partir de la materia orgánica de microorganismos antiguos. En esta misma línea argumental, más tarde Schidlowski realizó un estudio de la relación isotópica  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  en ese material carbonoso,<sup>3</sup> y vio que coincidía con la relación isotópica que existe en la materia orgánica vegetal, lo que constituyó no solo una evidencia más sobre su afirmación sobre la datación del material original, sino que además quería decir que probablemente hace 3700 Ma ya existían en la Tierra microorganismos fotosintetizadores, es decir, capaces de transformar la luz del Sol en energía química.

Esta afirmación es importante porque esa fecha (hace 3700 Ma) fue solo algunos millones de años después de la finalización del *gran bombardeo* meteórico sobre la Tierra. Tal vez recuerden (capítulo 3) que este evento fue el proceso de caída de innumerable cantidad de meteoritos y cometas sobre la Tierra, que hizo imposible que algo vivo como LUCA pudiera sobrevivir (la energía de los impactos seguramente hizo que la temperatura de los océanos superara el punto de ebullición del agua, lo que fue equivalente a *poner a hervir* toda el agua de la Tierra varias veces, esterilizando absolutamente todo).

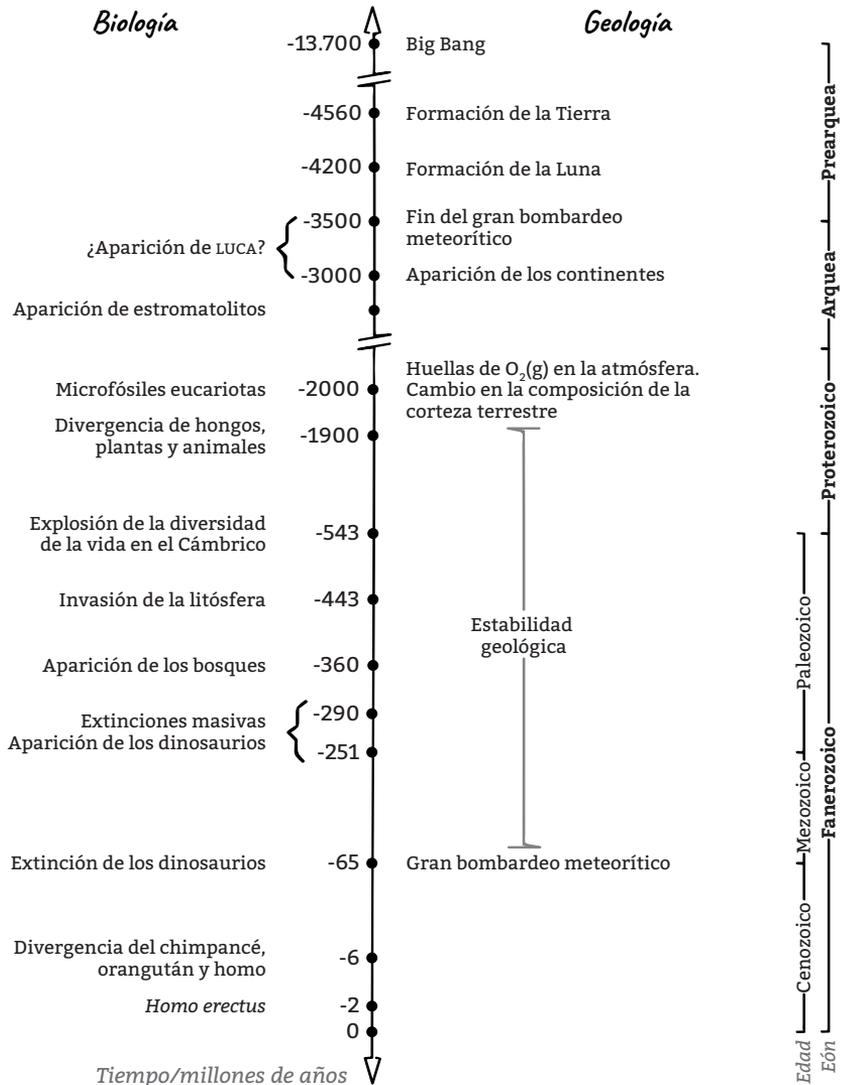
En coincidencia con estos argumentos, William Schopf,<sup>4</sup> paleobiólogo de la Universidad de California, encontró evidencia adicional de la existencia de microorganismos en rocas del oeste australiano de 3400 Ma de antigüedad. Lo que encontró

<sup>3</sup> Manfred Schidlowski. "A 3,800-million-year record of life in sedimentary rocks". *Nature* 333, 313-318, 1988.

<sup>4</sup> J. W. Schopf. "Microfossils in the early Archaean Apex Chert. New Evidence of the Antiquity of Life". *Science* 260, 640-646, 1993.

fueron impresiones (como la imagen en negativo) que él clasificó según su forma (morfología) como cianobacterias. Como evidencia adicional, esas impresiones estaban impregnadas con hidrocarburos, que es lo que ocurre cuando la materia orgánica proveniente de seres vivos es sometida a altas temperaturas y presiones.

**Figura 46.** Línea temporal del desarrollo de la vida



Fuente: elaboración propia.

De todas maneras, es necesario aclarar que los descubrimientos de Schidlowski y Schopf son discutidos por parte de la comunidad científica, y cuentan tanto con defensores como con detractores, como suele ocurrir cuando la evidencia no es concluyente.

Cuanto más avanzamos en el tiempo, mayor es la cantidad de evidencia sobre el comienzo de la vida. Roger Summers, de la Universidad de Washington, encontró también en Australia (¿dónde más podía ser...?) depósitos de petróleo compatibles con un origen biológico, en estructuras geológicas de 2700 Ma. Acercándonos un poco más al presente (2000 Ma), aparece mucha más evidencia de vida microscópica sobre la Tierra, como la existencia de formaciones geológicas especiales constituidas por el depósito de óxido férrico. Estas formaciones se conocen como BIF (sigla del inglés *Banded Iron Formation*)<sup>5</sup> y aparecieron a partir de un proceso químico de transformación del  $\text{Fe}^{2+}$  en  $\text{Fe}^{3+}$  (los químicos decimos: con estado de oxidación II o III). El hecho es que para que esta reacción tenga lugar (la oxidación de  $\text{Fe}^{2+}$  en  $\text{Fe}^{3+}$ ) tiene que haber otro *reactivo*, y se supone que ese reactivo podría haber sido el oxígeno molecular ( $\text{O}_2(\text{g})$ ), que empezaba a aparecer en nuestra atmósfera. Esto querría decir que una posibilidad es que hace 2000 Ma ya existieran en nuestros océanos bacterias fotosintetizadoras que empezaron a producir cantidades importantes de oxígeno. Pero si las bacterias ya existían hace 2000 Ma, sus ancestros (por ejemplo LUCA) debieron haber existido bastante tiempo antes, lo cual cerraría argumentalmente con lo propuesto por Mojzsis y Schopf.

Resumiendo un tanto brutalmente la evidencia (todavía no definitivamente concluyente), en el período entre 3500 y 2000 Ma debió haber ocurrido la evolución biológica que va de LUCA hasta microorganismos capaces de fotosintetizar. Si representamos estos hechos en una línea temporal tendríamos algo parecido a lo que muestra la figura 46. He intentado darle a esa representación dos dimensiones, la de la evolución geológica (por llamarla de alguna manera) y la de la evolución biológica. Recuerden que esta historia comenzó con el Big Bang (13.700 Ma atrás). Como discutimos en el capítulo 3, la Tierra se formó a partir del disco de acreción hace 4560 Ma, y por varios millones de años siguieron ocurriendo fenómenos catastróficos en relación con las energías involucradas, como el choque de un gran asteroide sobre la Tierra que provocó el nacimiento de la Luna. También continuó el gran bombardeo meteórico de restos del disco de acreción, hasta que la masa de Júpiter, como una aspiradora, terminó de limpiarlos. Entonces, el fin del gran bombardeo (3500 Ma atrás) fue la condición necesaria para que existiera un período de estabilidad geológica, al menos en términos de evitar grandes eventos catastróficos incompatibles con el desarrollo de la vida. Pero, tal vez, esos eventos catastróficos hayan contribuido con condiciones ambientales excepcionales de temperatura, presión, radiación ultravioleta, concentración extrema de reactivos, que permitieron que se desarrollara la química prebiótica que consi-

5 N. G. Holm. "Possible biological origin of banded iron - Formations from hydrothermal solutions". *Origins of Life and Evolution of Biospheres*17, 229-250, 2006.

deramos parcialmente en el capítulo 4. De esta forma, no sería improbable que LUCA (del cual hemos hablado brevemente en el capítulo anterior) haya surgido entre 3500 y 3000 Ma atrás (figura 46). Entre los 3500 y 2000 Ma, es posible encontrar evidencia relacionada con la existencia y proliferación de microorganismos, como la existencia de estromatolitos fósiles, que son agrupamientos de microorganismos al estilo de *colmenas* fosilizadas. Durante este mismo período se produjo el desarrollo de las células eucariotas, es decir con núcleo.

Una vez *inventado* el núcleo celular, rápidamente se produjo el salto de la unicelularidad a la multicelularidad, y hacia los 1900 Ma atrás se produjo la divergencia evolutiva entre plantas, hongos y animales. Más tarde, hace 543 Ma, se produjo la explosión de la vida, y por lo tanto el desarrollo de una gran diversidad biológica. En el período Cámbrico se produjo la invasión de la Tierra por los seres vivos, la diversificación de los peces y la aparición de grandes bosques. Luego, entre 290 y 251 Ma atrás aparece un período de extinción masiva de especies, al que le sigue el surgimiento de los grandes animales y el desarrollo de los dinosaurios (entre 250 y 60 Ma atrás). Luego de que los dinosaurios se extinguieran hace 60 Ma, se desarrollaron los mamíferos. La divergencia del orangután, el chimpancé y el hombre a partir de un antepasado común se produjo hace solo hace 6 Ma, y el surgimiento del *Homo erectus*, hace solo 2 Ma.

Esta fantástica historia del *alzamiento de la vida* en la Tierra, con la exploración de un *espacio biológico de formas y capacidades* que dieron origen a una cantidad tan increíble de plantas y animales, debe haber sido posible gracias a *algún mecanismo biológico*, y eso es lo que intentaremos discutir en la próxima sección.

## **¿Qué significa evolucionar? (o una historia de pajaritos y flores...)**

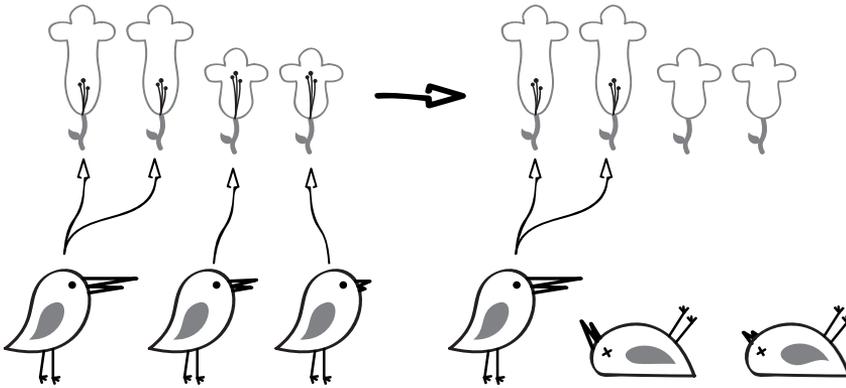
Como señalábamos en el párrafo anterior, una pregunta que podríamos hacernos, y que hace más de 150 años ya se hacían algunos biólogos, es: ¿cuál es el mecanismo que permite la existencia de una diversidad tan grande de seres vivos? La respuesta es: la evolución. Esto quiere decir que los seres vivos pueden experimentar cambios que mejoren su aptitud de supervivencia si su entorno los obliga. En general esto ocurre porque pese a que para el desarrollo de la vida es necesario que exista un cierto grado de estabilidad geológica, de existir algún grado de cambio de las condiciones ambientales (entendidas en forma amplia) los seres vivos responderán cambiando también.

El mecanismo a través del cual estos cambios ocurren es conocido como *selección natural*, y lo que significa es que un organismo vivo puede experimentar cambios permanentes que le aseguren un comportamiento más *apto*, si se ve obligado por las circunstancias. Fíjense que estoy diciendo que la selección natural es un mecanismo de adaptación al entorno cuando este cambia, no es un mecanismo que necesariamente conduce de lo más simple a lo más complejo. Si bien la se-

lección natural está implicada en el cambio de *lo más simple a lo más complejo*, es necesario que la presión de selección cambie; si esta última no cambia será muy difícil que exista una progresión de lo simple a lo complejo.

Pero volvamos sobre las ideas básicas del mecanismo de selección natural y para eso (y los biólogos me perdonarán) permítanme inventar una pequeña historia de pájaros y flores: Érase una vez que en una remota isla llamada Mongopicho vivía un pájaro llamado Uyuyuy. Este pájaro se alimentaba exclusivamente de los estambres (representados por la bolita negra de la figura 47) de una flor llamada flor de turra (también conocida por su nombre científico *Whatabitchea vulgaris*).

**Figura 47.** Representación de la presión de selección

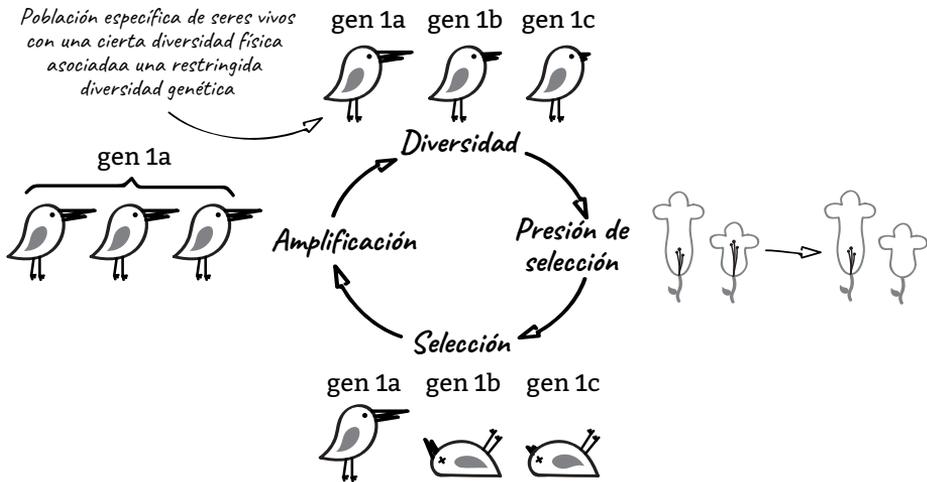


Fuente: elaboración propia.

El pájaro Uyuyuy tenía un pico que podía ser de largos diferentes (corto, mediano o largo, figura 47), cosa que no importaba porque el alimento en la flor de turra era accesible aun para los picos más cortos, porque esta flor también tenía dos variantes: una con los estambres expuestos y la otra no (figura 47). Resulta que un día, sobre la isla de Mongopicho sopló un gran viento huracanado que arrancó los estambres de las flores cortas, y solo dejó en pie las flores que tenían los estambres en el fondo de un cuello protector. ¿Qué ocurrió? Los pájaros Uyuyuy con picos cortos y medianos se murieron porque no pudieron alimentarse (no es un cuento para niños...), mientras que los de pico largo sobrevivieron, y como entre los sobrevivientes la característica del pico largo era común, toda su descendencia pasó a tener pico largo.

¿Cómo podemos representar este proceso?: la población original de nuestros pájaros Uyuyuy con picos de longitudes diversas, lo que tenía en realidad era un conjunto de genes diferentes (representados como gen 1a, 1b y 1c, figura 48) asociados a la longitud de los picos.

**Figura 48.** Representación de la base genética del mecanismo de selección natural



Fuente: elaboración propia.

Cuando ocurrió el proceso de selección, como consecuencia del cambio establecido por la desaparición temporal de las flores cortas –consecuencia del huracán–, la población de pájaros fue seleccionada de forma tal que *el más apto* según las nuevas condiciones del entorno pudo sobrevivir. Esa nueva *aptitud para la supervivencia* tuvo su origen en una diversidad de los largos de los picos, que en realidad tuvo su origen primero en una diversidad preexistente del genoma de los pájaros Uyuyuy.

Es decir, el proceso de selección entre los seres vivos es como el juego de las sillas: si hay una condición de selección (más jugadores que sillas), solo alcanzarán las sillas los más *aptos*, es decir los más rápidos, que entonces serán seleccionados. En el caso del juego de la silla la que falta es una etapa de amplificación posterior, que se da en el caso de la reproducción en los organismos vivos.

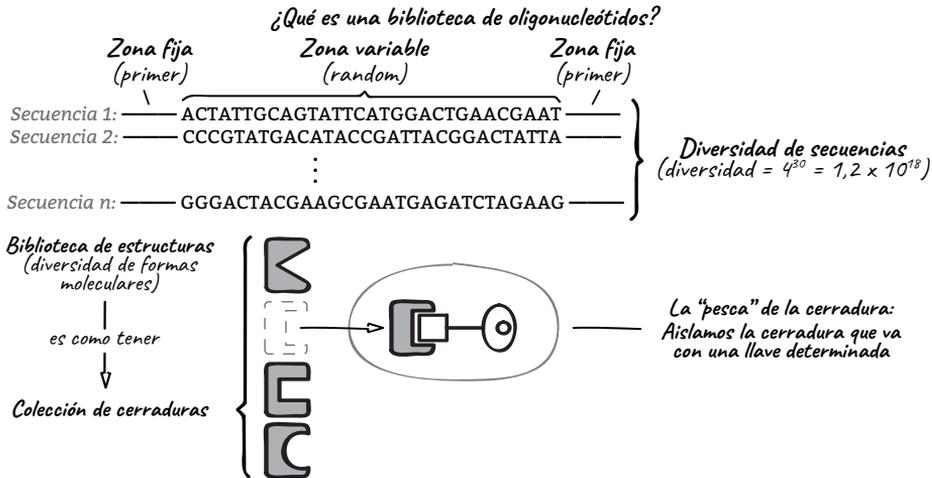
Un aspecto que es interesante señalar es que este proceso de evolución a través de la selección por aptitud no es exclusivo del reino de los seres vivos. Algunas moléculas, en particular los ácidos nucleicos (ADN y ARN) también pueden experimentar un proceso evolutivo por selección natural. Hoy conocemos el mecanismo de amplificación y selección molecular como SELEX, que son las siglas de *Systematic Evolution of Ligands by Exponential Enrichment*, una metodología desarrollada a principio de los noventa simultáneamente en tres laboratorios.<sup>6</sup> ¿En qué consiste esta técnica? El principio de

6 a) A. R. Oliphant, C. J. Brandl, K. Struhl K. “Defining the sequence specificity of DNA-binding proteins by selecting binding sites from random-sequence oligonucleotides: analysis of yeast GCN4 proteins”. *Mol. Cell Biol.*9, 2944-2949, 1989; b) C. Tuerk, L. Gold L. “Systematic

funcionamiento es el mismo que el que experimentó nuestro pájaro Uyuyuy: hay tres condiciones necesarias: diversidad, presión de selección y amplificación.

La diversidad, en este caso diversidad molecular (figura 49), está relacionada con la existencia de una serie de secuencias de un ácido nucleico (pongamos por ejemplo al ADN), donde la diversidad está dada por la combinación aleatoria de las cuatro bases A, C, T y G (secuencia 1, 2, ... n, figura 49). En este tipo de estructuras poliméricas la diversidad crece muy rápidamente con el número de posiciones aleatorias, ya que por cada posición podemos poner cualquiera de los cuatro nucleótidos. Es decir, si la zona variable (o aleatoria) tuviera por ejemplo un largo de 30 nucleótidos, la diversidad sería  $4^{30}$  secuencias diferentes, que es lo mismo que  $1,2 \times 10^{18}$  moléculas diferentes, que es un número brutalmente grande. Lo interesante es que este número brutalmente grande de secuencias tiene asociado un número muy grande también de formas diferentes. ¿Qué quiero decir con formas diferentes? Quiero decir variados arreglos tridimensionales (los químicos decimos estructuras), que son distintos unos de otros, y resultan del plegamiento (cómo se acomodan) de esas secuencias en el espacio tridimensional. En términos metafóricos, sería como tener una colección enorme de cerraduras diferentes. Ahora, con muy buen tino podrían preguntarme: ¿y qué hago yo con una colección enormemente grande de cerraduras...?

**Figura 49.** La selección molecular de los ácidos nucleicos



Fuente: elaboración propia.

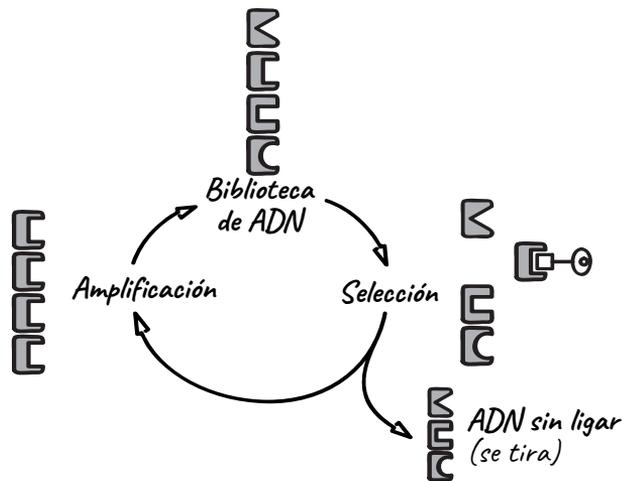
evolution of ligands by exponential enrichment: RNA ligands to bacteriophage T4 DNA polymerase". *Science* 249, 505-510, 1990; c) A. D. Ellington, J. W. Szostak. "In vitro selection of RNA molecules that bind specific ligands". *Nature* 346, 818-822, 1990.

La respuesta no es obvia, pero si tengo una colección enormemente grande de cerraduras lo que puedo hacer es buscar un par cerradura-llave. Es decir, si yo tengo una determinada llave, y la colección de cerraduras es lo suficientemente grande, seguramente vamos a poder encontrar una llave que *calce* (reconozca) una cerradura (o más de una). Si esa llave estuviera atada a un piolín, lo que podríamos hacer es *pesca*r la cerradura que calza con nuestra llave del conjunto de cerraduras (figura 49).

Esta es la gran ventaja de la diversidad molecular. Si yo tengo colecciones muy grandes de moléculas, seguramente voy a poder hacer cosas interesantes con ellas, como por ejemplo encontrar moléculas que reconozcan a otras moléculas. Este es el principio del reconocimiento supramolecular en la naturaleza.

Pero los ácidos nucleicos tienen una ventaja adicional: pueden fotocopiarse químicamente. ¿Qué quiero decir con esto? Existe una enzima que se llama Taq polimerasa, que me permite hacer muchas copias de una secuencia de ADN cuando le pongo los reactivos (materia prima) adecuados, que son los cuatro nucleótidos trifosfato (A, C, T, G).

**Figura 50.** Ciclo de SELEX (selección-amplificación) del ADN



Fuente: elaboración propia.

Entonces, ya tenemos dos de los tres elementos que decíamos que eran fundamentales para la evolución molecular: la diversidad y la capacidad de amplificación. Nos falta el tercero: la presión de selección.

Permítanme presentarles una representación de un ciclo esquemático de SELEX para el caso de secuencias de ADN, en la figura 50. Supongan que tenemos una biblioteca de ADN con muchísimas secuencias diferentes y que tenemos una determinada

molécula que nos interesa (representada por la llave de la figura 50), y que hemos inmovilizado. Esto quiere decir que la hemos unido a algo que es mucho más grande que una molécula (por ejemplo un sólido en forma de polvo). Lo que podemos hacer es exponer nuestra biblioteca de ADN a la molécula inmovilizada, de forma que algunas secuencias de ADN se quedarán pegadas (efecto cerradura-llave, figura 49) y otras no se pegarán y por lo tanto se podrán descartar. Las secuencias de ADN que se pegaron (secuencias representadas por la cara interna rectangular, figura 50) seguramente podremos despegarlas de alguna forma, lo que nos permitirá hacer luego una amplificación de ellas (conjunto de moléculas de la cara interna rectangular a la izquierda, figura 50). Ahora que tengo un conjunto de secuencias de ADN que sé que tienen alguna afinidad por mi molécula inmovilizada (la llave), lo que puedo hacer es volver a repetir el ciclo y exponerlas nuevamente a mi molécula blanco inmovilizada, con lo que estoy haciendo un proceso de selección-amplificación que me conduce a secuencias cada vez con mejores afinidades por la molécula que tenía inmovilizada.

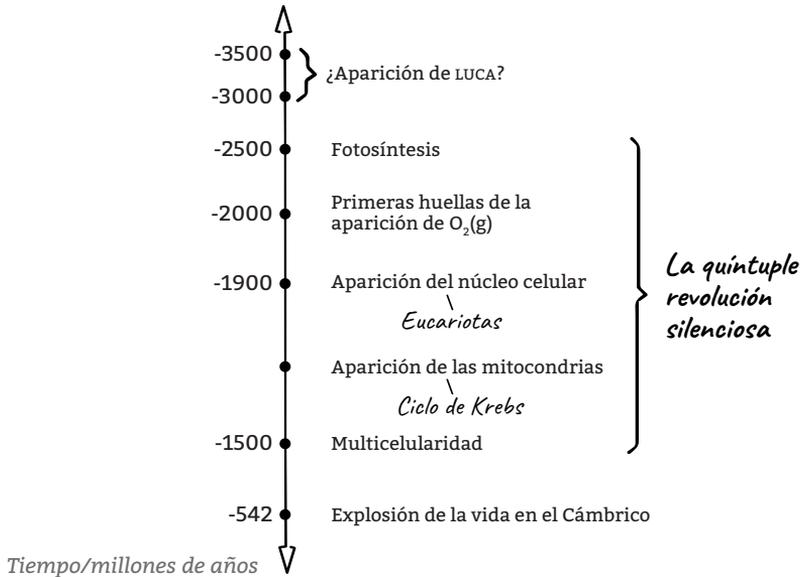
Me he detenido un poco en estos procesos de *selección molecular* porque me pareció interesante mostrarles que la capacidad de evolucionar no es solamente una capacidad de los seres vivos, sino que es también posible en el campo de las moléculas (que en general no consideramos como *vivas*). La otra razón por la cual estas ideas son interesantes es que alguna variante de estos mecanismos de selección y amplificación molecular debe haber estado involucrada (entre muchos procesos más) en el período que denominamos RNA World y que permitió que el primer sistema vivo organizado (LUCA) emergiera desde la sopa primordial.

## **La quintuple y silenciosa revolución del Precámbrico: la fotosíntesis, la aparición del oxígeno, la aparición del núcleo celular, la aparición del ciclo de Krebs, la multicelularidad**

Como título de sección es un poco largo, y encima, como nombre de revolución no creo que sea capaz de entusiasmar a las masas del proletariado. Pero en verdad se trata de un conjunto de transformaciones sobre el metabolismo celular que fueron imprescindibles para la aparición de la vida como la conocemos en la actualidad. Esta revolución no solo fue una revolución celular sino que una de sus consecuencias, la aparición del oxígeno, tuvo un efecto biológico y geológico a escala planetaria que modeló definitivamente el destino de la Tierra.

La figura 51 sitúa –aproximadamente, ya que es todavía objeto de debate– estos cinco acontecimientos en una línea temporal. Me gustaría entonces discutir con ustedes brevemente porqué estos aspectos de la evolución celular fueron fundamentales para la explosión de muy diversas formas de vida durante el período Cámbrico, y definitivamente fundamentales para la aparición de nuestra propia especie (sin la quintuple revolución no habría *Homo*).

**Figura 51.** Cronología de la quintuple y silenciosa revolución celular



Fuente: elaboración propia.

## La fotosíntesis

En el capítulo 4 habíamos discutido sobre la necesidad de la existencia de algún proceso de producción de energía y de elaboración de las moléculas necesarias para la vida de las células. Habíamos planteado que la satisfacción de las necesidades energéticas y moleculares de las células implicaba obtenerla a partir de alguna fuente primaria de materia y energía. Es altamente probable que LUCA haya sido un heterótrofo, es decir, que haya sido incapaz de sintetizar por sí mismo muchas de las moléculas que necesitaba para vivir (es decir *comía* molecularmente lo que necesitaba). Desde el punto de vista energético, LUCA tampoco era independiente. Se supone que pudo haber utilizado algún mecanismo de producción de energía, oxidando de forma poco eficiente algún sustrato que se encontraba en forma reducida. Entonces LUCA estaba en serios problemas, dependía de fuentes externas para mantenerse vivo y esas fuentes externas estaban cambiando, como producto de los grandes cambios geológicos y climáticos que experimentaba la Tierra.

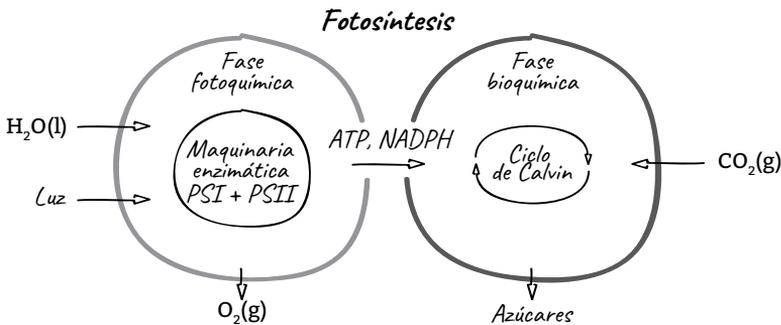
Es aquí cuando aparece en escena una descendiente de LUCA, que llamaremos cianobacteria. En realidad, lo que probablemente existió fue una versión primitiva de lo que hoy conocemos como cianobacterias, que son los únicos organismos procariontes (sin núcleo celular) capaces de fotosintetizar liberando oxígeno (fo-

tosíntesis oxigénica). ¿Cómo fue posible este proceso de aprovechamiento de la energía solar? Estos microorganismos tenían unas vesículas denominadas tilacoides, que contenían la maquinaria enzimática necesaria para la fotosíntesis. Es posible que las cianobacterias se hayan generado porque alguno de los hijos de LUCA engullera alguna bacteria más pequeña que hubiera desarrollado la maquinaria necesaria para la fotosíntesis. Una vez que ese hijo de LUCA degradó todo lo que no le servía quedó la vesícula tilacoide (y el material genético que la codificaba), que incorporó a su estructura.

Ahora, ¿por qué la capacidad fotosintetizadora de las cianobacterias es una ventaja adaptativa frente a los viejos metabolismos de LUCA? La respuesta es simple: materia prima más barata (Sol, agua y dióxido de carbono) y mayor independencia de los nutrientes externos.

Podemos imaginar al proceso fotosintético oxigénico como un proceso de dos grandes etapas: la primera es la fase fotoquímica y la segunda es la fase bioquímica (figura 52). En la fase fotoquímica entran en la célula fotosintetizadora agua y luz, y sale de ella oxígeno molecular ( $O_2(g)$ ) e internamente se produce ATP, que, como habíamos visto en el capítulo 4, es el modo de acumular energía química. Además se produce una molécula denominada nicotinamida adenindinucleótido difosfato reducido (NADPH).

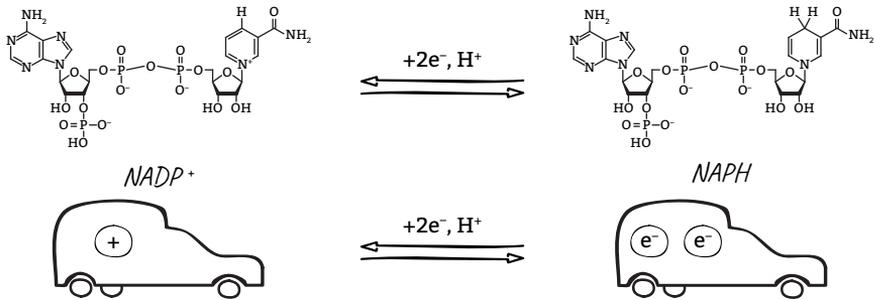
**Figura 52.** Las dos fases de la fotosíntesis



Fuente: elaboración propia.

¿Qué es esa molécula tan estrambótica denominada NADPH y para qué sirve? La NADPH sirve para transportar electrones. Como en las células no podemos tener cables de cobre para llevar electrones de un lado a otro, lo que la naturaleza desarrolló fue una serie de transportadores electrónicos, y entre ellos el más célebre y universal (está presente en todos los seres vivos), es la NADPH. ¿Y cómo funciona? La figura 53 nos la presenta, y aunque sé que tal vez es un poco complicada, me disculparán porque no puedo negarme a la belleza química de su estructura.

**Figura 53.** Representación de la estructura del NADP oxidado y reducido



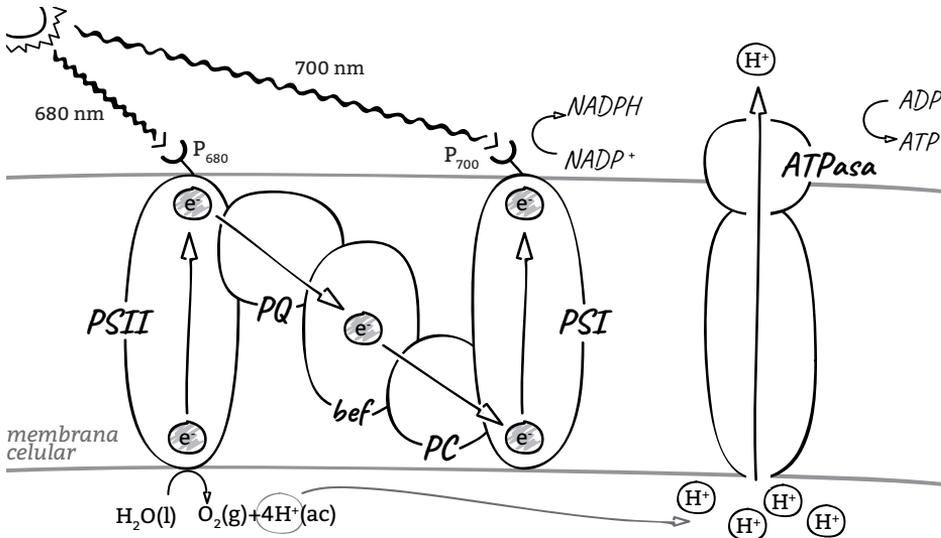
Fuente: elaboración propia.

Como decía antes, el NADP<sup>+</sup> (NADP oxidado) es un transportador de electrones, y dado que para muchas reacciones químicas el aporte de electrones es fundamental, la naturaleza desarrolló un sistema discreto (en el sentido de que no es continuo) de *delivery* de electrones. Es decir, la NADPH (forma reducida) es un camioncito de reparto de electrones. También me podrían preguntar: ¿para qué nos hacen falta los electrones? En algún momento previo, allí por el capítulo 4, les había contado que hay una serie de reacciones que se llaman de óxido-reducción o redox. Estas reacciones son fundamentales para el desarrollo de la vida: la respiración de oxígeno es un proceso redox, y la fase bioquímica de la fotosíntesis –la reacción sobre la cual quiero hablar ahora– también lo es. La otra cosa importante es recordar que en una reacción redox lo que se intercambia son electrones (la especie oxidada cede electrones, la especie reducida los acepta). El ciclo de Calvin, que es el nombre que tiene la fase bioquímica de la fotosíntesis, está formado por tres pasos: la carboxilación (asimilación de CO<sub>2</sub>(g)), la reducción y la regeneración. En la reducción es fundamental contar con una fuente de electrones, y adivinen quién viene a entregarlos: sí, efectivamente, la NADPH. Por otro lado, en la etapa de regeneración es necesario contar con ATP, que también es producido en la fase fotoquímica de la fotosíntesis.

Pero volviendo al origen de nuestra discusión: ¿cuál fue la ventaja adaptativa que desarrollaron las cianobacterias? Se puede decir que si bien es posible que en ese momento existieran otros organismos que aprovechando la luz del Sol pudieran producir ATP, el combustible básico para mantenerse funcionando, no podían producir NADPH porque eso requería la captación de una cantidad de energía del Sol muy grande. Las cianobacterias desarrollaron un sistema de captación de energía solar en dos etapas, que les permitió poder sintetizar NADPH y por lo tanto tener un insumo fundamental para el ciclo de Calvin, con lo cual la ventaja que adquirieron fue la de poder producir sus propios hidratos de carbono (¡producir sus propias moléculas!) a partir de CO<sub>2</sub>(g), y no depender más de lo que podían tomar del medio. Genial ¿no?

Sé que no es fácil entender este punto, y que tal vez a alguno de ustedes (o a todos) ya los haya aburrado un poco con la fotosíntesis, pero déjenme contarles muy esquemáticamente cómo se produce la NADPH en el sistema fotosintético, porque realmente es un milagro bioquímico (esto dicho por un ateo). La figura 54, esquematiza lo que ocurre en las vesículas tiliarias de las cianobacterias, pero que es esencialmente el mismo proceso que ocurre en todas las plantas de las macetas de nuestras casas. Existe adherida a la membrana de las cianobacterias (representada en la figura 54 con las líneas horizontales que simbolizan la doble capa lipídica), una proteína que se llama fotosistema II. Esta proteína tiene una *antena* formada por una serie de moléculas orgánicas (clorofila a, clorofila b y carotenoides) que puede captar la luz del Sol; en particular capta los fotones que tienen una longitud de onda específica (680 nm) y por eso esa *antena* se llama  $P_{680}$ .

**Figura 54.** La bioquímica del proceso fotosintético



Fuente: elaboración propia.

La energía que capta la *antena*  $P_{680}$  la transfiere a una proteína a la cual está unida llamada PSII, que utiliza esa energía para romper los enlaces hidrógeno-oxígeno del agua, produciendo en este proceso oxígeno molecular ( $O_2(g)$ ), protones ( $H^+(ac)$ ) y electrones. Los electrones son introducidos en una *cadena de transporte* que está formada por una serie de proteínas (PQ, *bef*, PC, figura 54) que los llevan hasta el PSI (fotosistema I). Allí, el PSI, gracias a otra antena denominada  $P_{700}$  (porque captura fotones de 700 nm), vuelve a captar más energía solar como para darles a los

electrones la energía suficiente para reducir el  $\text{NADP}^+$  en  $\text{NADPH}$  (figura 54). Esta acción de reducir el  $\text{NADP}^+$  es la acción de llenar el camioncito con electrones que representamos en la figura 53. Ahora que el camioncito está lleno de electrones ya puede ir hacia el ciclo de Calvin, para cumplir su papel fundamental en la síntesis (preparación) de azúcares.

## **La aparición de oxígeno en la atmósfera**

Ahora bien, hay una consecuencia química importantísima del proceso fotosintético realizado desde hace aproximadamente 2500 Ma, que cambió para siempre el destino de la Tierra. Este hecho fue la liberación masiva de oxígeno a la atmósfera. A decir verdad, es probable que antes de la aparición de la fotosíntesis existieran en nuestra atmósfera cantidades muy pequeñas de  $\text{O}_2(\text{g})$ . Si bien se especuló muchas veces con el carácter reductor de la atmósfera primigenia (recuerden el experimento de Miller-Urey), la radiación ultravioleta, que por ese entonces llegaba a la Tierra, tenía la energía suficiente como para fotolizar directamente al agua, esto quiere decir que la podía transformar en  $\text{H}_2(\text{g})$  y  $\text{O}_2(\text{g})$ . Como el hidrógeno molecular es más liviano que el oxígeno, pudo escapar de la atracción gravitacional de la Tierra, mientras que el oxígeno no pudo hacer lo mismo. Tal vez haya sido consecuencia de estos niveles iniciales de oxígeno, y debido al carácter *tóxico* de este gas para la materia orgánica (en un rato hablaremos de ello), que LUCA haya debido desarrollar algunos sistemas de defensa contra algunos subproductos del metabolismo del oxígeno (por ejemplo los radicales oxigenados, los peróxidos y superóxidos), sistemas de defensa que curiosamente tienen algunas características comunes con las antenas de los fotosistemas PSI y II (o en realidad fueron su paradójico origen: de protección contra, a producción de...).

Como les decía recién, la aparición del oxígeno produjo una de las mayores transformaciones biológicas de la Tierra, generando presumiblemente extinciones masivas de microorganismos que no estaban acostumbrados a vivir en un mundo rico en oxígeno. Esas extinciones fueron consecuencia de que el oxígeno es una sustancia muy tóxica para aquellas bacterias cuyo metabolismo no estaba preparado para procesarlo (microorganismos anaerobios), con lo cual estableció una presión de selección que relegó a estos últimos a lugares remotos, adonde era muy difícil llegar para el oxígeno (fondo del mar, fondo de pantanos y ciénagas).

El efecto del oxígeno no fue solo sobre la biósfera, sino que también afectó profundamente la geología de la corteza terrestre, cambiando los estados de los metales y minerales. Solo por poner un ejemplo, antes de la aparición masiva del oxígeno, las aguas de los océanos eran muy ricas en sales ferrosas (que están formadas por el catión  $\text{Fe}^{2+}$ ), que es una especie muy soluble en agua. La aparición del oxígeno oxidó a casi todo el  $\text{Fe(II)}$  a  $\text{Fe(III)}$ , que es una especie mucho menos soluble y que precipitó bajo la forma de óxido férrico (la famosa herrumbre de las piezas de hierro).

Pero vayamos por partes, y tratemos de ver cómo pudo haber sido el mecanismo de la aparición del oxígeno, qué relación tuvo con los procesos en los océanos y la atmósfera y cómo modificó definitivamente la biología y la geología terrestres.

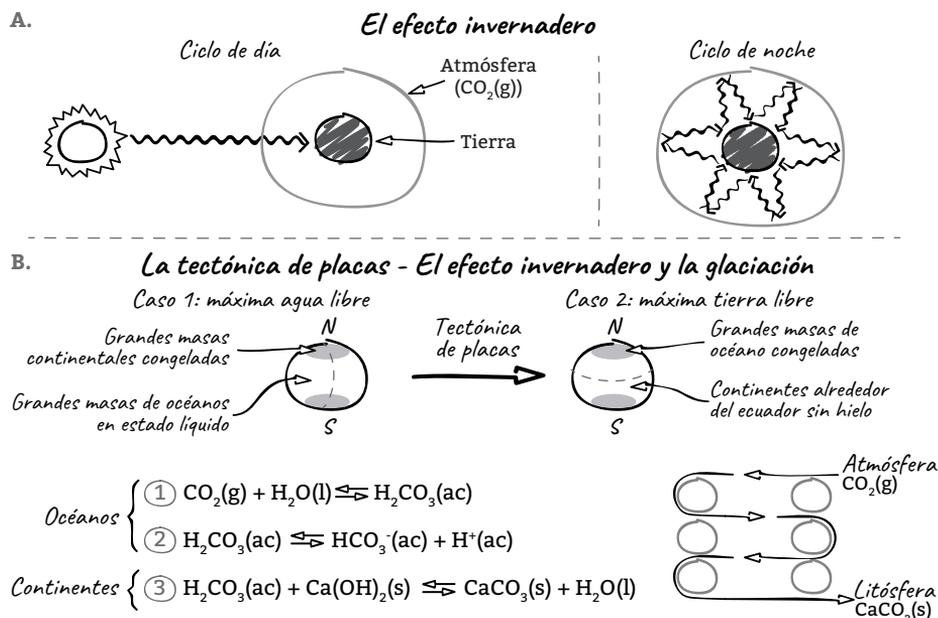
El período de relativa estabilidad climática que se extendió por buena parte del Precámbrico, hace unos 2300-2200 Ma, se vio perturbado por una serie de glaciaciones globales unos 750 Ma atrás, durante una era geológica que se conoce como criogénica. Entre las dos glaciaciones más grandes de este período encontramos la que se denomina Sturtian (750 Ma) y la Varanger (600 Ma). Ahora, ¿qué tendrá que ver el desarrollo de un período glaciario masivo con la aparición del oxígeno? Pues parece que bastante. Nick Lane,<sup>7</sup> en su libro *Oxygen*, recoge la evidencia –parcial, pero cada vez más aceptada– de la relación que pudo haber existido entre estos dos acontecimientos.

Estos procesos glaciarios pudieron haber sido provocados por la tectónica de placas. ¿Se acuerdan que habíamos dicho que en el caso de la Tierra su constitución geológica es parecida a la estructura de un huevo crudo, con la diferencia de que la cáscara no es de una pieza sino que está constituida por un conjunto de parches que se desplazan unos respecto de otros (capítulo 2, pág. 55)? Lo que se supone que ocurrió unos 1000-900 Ma atrás es que como consecuencia de este movimiento todas las masas continentales (es decir, *el suelo emergido sobre los océanos*) se encontraban agrupadas en un gran supercontinente dispuestas alrededor del ecuador, es decir, no había *tierra a la vista* ni en el norte ni en el sur, con lo cual el efecto más importante es que todas esas masas continentales quedaron totalmente expuestas a la atmósfera, porque ya no tenían la *cubierta protectora* de hielo, que tenían cuando se ubicaban estiradas de N a S (figura 55).

Pero veamos primero qué es el efecto invernadero para entender mejor el rol que jugó el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2(\text{g})$ ) en el proceso de aparición del oxígeno ( $\text{O}_2(\text{g})$ ). No sé si alguna vez estuvieron en un invernadero, por ejemplo uno de horticultura. Es una estructura sencilla, habitualmente hecha con tirantes de madera, sobre la cual se coloca polietileno en forma de film. En general, se usan para hacer crecer hortalizas en condiciones protegidas contra las bajas temperaturas. El efecto es tratar de impedir que la temperatura dentro del invernadero baje por la noche, y evitar así que las plantas se congelen. ¿Cómo se logra esto? Como el polietileno que se usa es traslúcido, durante el día deja pasar la luz del Sol, que calienta el interior. El calor generado durante el día es *guardado* en el invernadero de noche, debido a que los films de polietileno disminuyen la velocidad con la cual el interior del invernadero pierde calor hacia el frío de la noche. El efecto invernadero a nivel planetario (figura 55) es similar, nada más que en este caso el rol del film de polietileno lo juegan una serie de gases que están en la atmósfera, siendo los dos más importantes el metano ( $\text{CH}_4(\text{g})$ ) y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2(\text{g})$ ).

<sup>7</sup> Nick Lane. *Oxygen: The Molecule that Made the World*, capítulo 4. Oxford University Press, 2002, edición en formato Kindle.

**Figura 55.** Efecto invernadero, tectónica de placas y glaciaciones.



Fuente: elaboración propia.

Durante el día el planeta se calienta, como producto de la llegada de la radiación electromagnética del Sol (ciclo de día, figura 55, A), y durante la noche el planeta irradia hacia el espacio exterior parte de ese calor recibido durante el día (ciclo nocturno, figura 55, A). Pero parte del calor irradiado es absorbido por las moléculas de metano y dióxido de carbono, consecuencia de la excitación de los niveles rotacionales y vibracionales de las moléculas (vengan a cursar Química Orgánica con nosotros...), y este calor es devuelto entonces hacia la Tierra. Probablemente hayan escuchado hablar del efecto invernadero en años recientes, con una connotación negativa, como consecuencia del aumento general de la temperatura de la Tierra. Lo que hay que decir, complementariamente, es que sin el efecto invernadero la Tierra sería una bola de hielo tal que las condiciones para el desarrollo de la vida se hubieran complicado muchísimo.

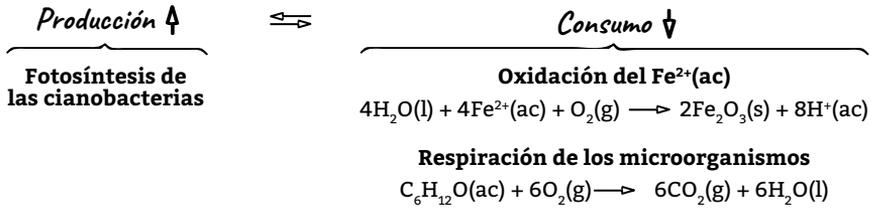
Entonces, la cantidad de  $\text{CO}_2(\text{g})$  en la atmósfera tiene un efecto directo sobre la temperatura de la Tierra, y la pregunta que podríamos hacernos es: ¿qué relación hay entre esta cantidad de  $\text{CO}_2(\text{g})$  y la aparición del oxígeno? Es curioso, pero la relación, o la cadena de eventos para ser más preciso, que asocia estos dos fenómenos está relacionada con la tectónica de placas, es decir, con la geología, y en particular tiene que ver con la disposición de la tierra continental sobre nuestro planeta.

La historia pudo haber sido aproximadamente de la siguiente forma: el  $\text{CO}_2(\text{g})$  de nuestra atmósfera puede disolverse en el agua de los océanos para dar una especie llamada bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ); el bicarbonato disuelto en los océanos puede reaccionar con componentes alcalinos de la litósfera (es decir, de la masa continental), como por ejemplo (por poner un caso sencillo), el hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{s})$ ), la cal. Ahora, mientras las masas continentales se distribuían más o menos aleatoriamente, pero dejando parte de ellas sobre los polos N y S (figura 55, B, caso 1), la cubierta de hielo que se formaba sobre estos suelos aislaba gran parte de las rocas que podían reaccionar con el bicarbonato, de forma que la producción de rocas calcáreas como el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3(\text{s})$ , figura 55, B) ocurría a una velocidad limitada. Esta velocidad cambió completamente cuando la tectónica de placas agrupó las masas continentales cerca del ecuador (caso 2, figura 55, B), dejando mayor cantidad de rocas descubiertas para que pudieran reaccionar con el bicarbonato de los océanos produciendo enormes depósitos calcáreos. Esto fue en definitiva lo que produjo la desaparición de la atmósfera de una gran cantidad de dióxido de carbono, a través de esa serie de reacciones que los químicos llamamos equilibrios combinados. La situación es equivalente a tener una soga vinculada con roldanas, de forma tal que al tirar desde abajo el primer reactivo (el dióxido de carbono) tiende a reaccionar y desaparecer (figura 55 B, caso 2), produciendo la radical disminución del efecto invernadero con el consecuente descenso de la temperatura del planeta, lo que condujo a una glaciación global. Cuando finalmente los continentes y los mares quedaron cubiertos de hielo (efecto conocido como *Snowball planet*), prácticamente no hubo evaporación de agua y por lo tanto no hubo lluvia, de forma que todo el dióxido de carbono inyectado en la atmósfera por la actividad volcánica, que tozudamente atravesaba la capa de hielo, quedó en la atmósfera, comenzando a aumentar nuevamente el efecto invernadero, desencadenando un proceso de deshielo. De esta forma la glaciación se revirtió, quedando gran parte de los continentes y los océanos libres de hielo. Este proceso de glaciaciones planetarias y deshielos se repitió cíclicamente al menos cuatro veces entre los 950 Ma y los 650 Ma atrás, hasta que las masas continentales, durante el período Cámbrico, se desparramaron en dirección norte-sur, cambiando la causa original de este ciclo glaciación-deshielo.

Ahora, legítimamente, se estarán preguntando: ¿qué tiene que ver este período de glaciaciones y deshielos con el aumento del oxígeno atmosférico?, que era nuestra pregunta original. Estos ciclos glaciarios alteraron en definitiva el balance entre la producción y el consumo de  $\text{O}_2(\text{g})$  atmosférico (figura 56). ¿Por qué?

La producción de oxígeno está fundamentalmente asociada a la fotosíntesis de las cianobacterias. Aunque podría haber existido una pequeña contribución de la fotólisis directa del agua producida por la radiación ultravioleta del Sol, de forma tal que a esa altura de nuestra historia ya existiera una incipiente capa de ozono ( $\text{O}_3(\text{g})$ ), la contribución de la fotólisis directa se presume que fue prácticamente despreciable.

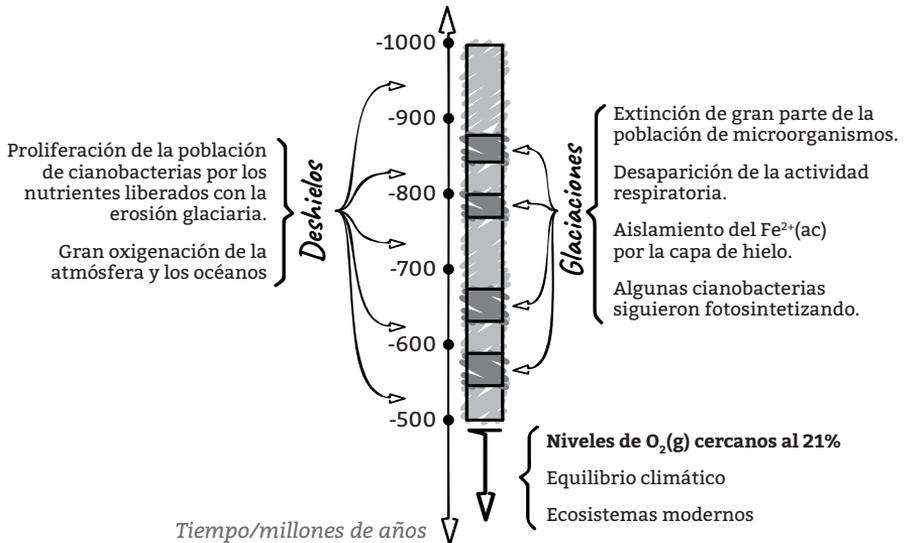
**Figura 56.** Balance entre la producción y el consumo de oxígeno



Fuente: elaboración propia.

Si volvemos sobre la idea de nuestro balance de oxígeno, en la parte del consumo tenemos fundamentalmente dos procesos. El primero es la oxidación del Fe, en particular de los abundantes cationes Fe<sup>2+</sup>(ac) presentes en los océanos (figura 56), y el otro es el proceso de respiración de los microorganismos, representado utilizando un monosacárido (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O(ac)) como *combustible* (figura 56). A partir de las reacciones planteadas en esta figura, se puede llegar a la conclusión de que la respiración consume cuatro veces más oxígeno (necesito dos átomos de oxígeno por átomo de C) que la oxidación del Fe<sup>2+</sup> (necesito 0,5 átomos de oxígeno por átomo de Fe). Esto quiere decir que de los dos procesos el que tiene mayor peso es la respiración.

**Figura 57.** Relación entre las glaciaciones y la producción de oxígeno



Fuente: elaboración propia.

En los procesos de glaciación disminuyó tanto la respiración como la oxidación del hierro, como consecuencia de la capa de hielo que tapizó continentes y océanos. Se supone que las cianobacterias que quedaron confinadas en reservorios naturales de agua no congelada siguieron contribuyendo al proceso de oxigenación de la atmósfera.

Durante los procesos de deshielo, los numerosos nutrientes inorgánicos que se generaron producto de la erosión glaciaria (los glaciares *rasparon* las rocas, con un *efecto rallador* que envió a los océanos gran cantidad de compuestos inorgánicos), permitió nuevamente la proliferación de muchas cianobacterias, que volvieron a repoblar masivamente los océanos produciendo un proceso de oxigenación tanto de la atmósfera como de las masas acuosas.

Este proceso se supone que se repitió cíclicamente cuatro veces entre los 900 Ma y los 500 Ma, permitiendo que en los albores del Cámbrico (500 Ma) los niveles de oxígeno en la atmósfera fueran similares a los actuales (21% v/v, figura 57).

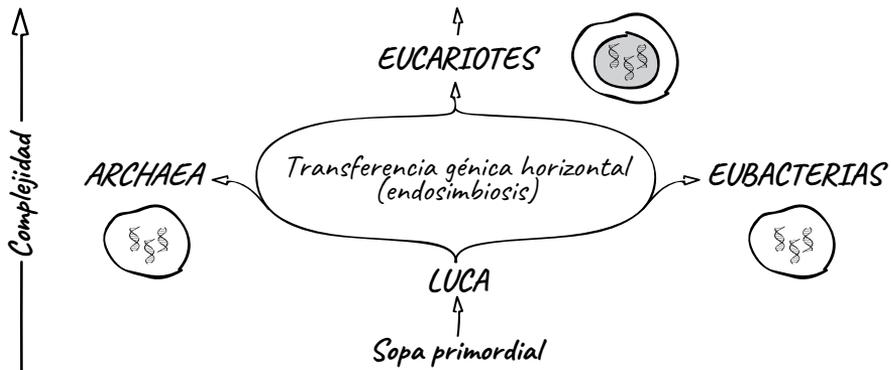
Veremos más adelante que estos altos niveles de oxígeno molecular en nuestra atmósfera fueron fundamentales para la aparición del ciclo de Krebs, que en términos de producción de energía para nuestras células fue como pasar del motor de un Fiat 600 al de un auto de carrera.

## La aparición del núcleo celular

Hay una afirmación de la biología molecular que dice que el desarrollo de la complejidad celular exige la regulación de la expresión de los genes. Recuerden lo que habíamos planteado en el capítulo 4, figura 36, como dogma central de la biología molecular: *la información fluye del ADN nuclear al citoplasma vía el ARN mensajero y allí se traduce en proteínas*. Es decir, el ADN se encuentra organizado en estructuras denominadas genes que contienen la información necesaria para *armar* una proteína, y este proceso es el que dirige toda la construcción celular. Ahora, si esa construcción celular va a ser cada vez más compleja, el tráfico de información entre el ADN y los ribosomas (el lugar donde se sintetizan las proteínas) va a ser cada vez más grande. Ese tráfico va a ser no solo muy importante en términos de su intensidad, sino que también debe ocurrir con una temporalidad específica (por ejemplo: los genes para que se desarrollen nuestros ojos se *activan* o regulan en el momento en que somos embriones y luego se apagan). De esta forma, la existencia de una frontera física entre el ADN y los ribosomas permitiría que el tráfico de información esté más y mejor regulado en tiempo y espacio. La pregunta que surge es: ¿cómo se produjo el paso de las células sin núcleo (procariotas) a las células con núcleo (eucariotas)? Para eso debemos primero repasar los tres grandes reinos celulares que existen. Los tres grandes *tipos celulares* que hoy existen derivan todos de LUCA y son: las Eubacterias (células sin núcleo, bacterias), las *Archaea* (células sin núcleo pero con diferencias genómicas muy grandes respecto de las Eubacterias), y las Eucariotes o células con núcleo (figura 58). Una de las posibilidades es

que se hayan generado primero a partir de LUCA las eubacterias y las *archaea*, ambas sin núcleo y con diferencias genéticas importantes. Mientras que las *archaea* tienen mayor grado de desarrollo de los genes que controlan el procesamiento del ADN, las eubacterias tienen un mejor desarrollo genético en relación con las funciones de metabolismo energético. Una posibilidad es que en algún momento una eubacteria se tragara una *archaea*, no digiriéndola, sino incorporando sus genes. La membrana de la *archaea* se transformaría con el paso del tiempo en la membrana celular. Este proceso llamado endosimbiosis implica una transferencia genética entre individuos de la misma clase (microorganismos), a la que se denomina transferencia de genes horizontal. De esta forma pudieron haber aparecido las células eucariotas, capaces de controlar un tráfico genético más complejo, lo que permitió avanzar y dar el siguiente paso, el camino hacia individuos multicelulares. Es gracias a las células eucariotas que pudieron desarrollarse estructuras vivas tan complejas como los hongos, las plantas y los animales.

**Figura 58.** Los tres grandes reinos celulares



Fuente: elaboración propia.

### El ciclo de Krebs

La aparición del  $O_2(g)$  atmosférico tuvo un efecto extraordinario sobre los metabolismos energéticos. Ya habíamos visto en el capítulo 4 (figura 39), que el ciclo de Krebs (o ciclo de los ácidos tricarbónicos) era un ciclo biológico en el que entraba acetilcoenzima A, ADP y  $O_2(g)$  y salían como producto agua y ATP, de forma que este ciclo puede producir una gran cantidad de energía química, almacenada bajo la forma de los enlaces oxígeno-fósforo del ATP. El ciclo de Krebs es equivalente a inyectar un compuesto nitrado en el motor de un auto (como hacen en las películas de carreras callejeras cuando inyectan *nitrox*). Es decir, lo que el oxígeno atmosférico permitió a las células fue obtener mayor cantidad de energía partien-

do de la misma cantidad de nutrientes, aumentando notablemente la eficiencia del metabolismo energético, y esto es fundamental, lo vamos a ver más adelante, para alimentar algunas cosas que consumen mucha energía, como por ejemplo los *sistemas de control*, como es el caso de nuestros cerebros.

### **La multicelularidad**

Una pregunta que podríamos hacernos es: ¿por qué evolucionamos desde los organismos unicelulares a los multicelulares?, ¿cuál fue el impulso evolutivo de este proceso? Entre algunas de las ventajas que tiene la multicelularidad y que pudieron haber funcionado como presión selectiva podemos mencionar las siguientes: a) la reducción de la predación (es más difícil meterse con alguien más grande), y b) el aumento de la eficiencia en el consumo de nutrientes (los desperdicios de unos puede ser la comida de otros).

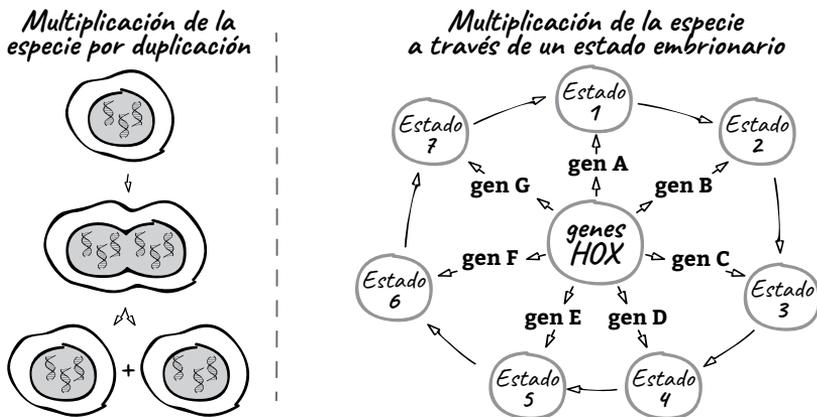
Por otro lado, el paso a la multicelularidad implicó necesariamente el desarrollo de herramientas genéticas relacionadas con funciones celulares nuevas como: a) la adhesión celular (para pasar de una célula a un organismo con varias, hay que ver cómo *pegarlas*); b) la comunicación celular (al tener varias células asociadas en un organismo hay que *organizarlas* y para ello es necesario desarrollar procedimientos de *comunicación*); c) la diferenciación celular, que implica la especialización funcional (si el ser vivo tiene ahora muchas células, se pueden formar entonces distintos grupos celulares, con funciones diferentes).

Es muy difícil saber cómo pudo haber sido el paso de los organismos unicelulares a los multicelulares porque como los primeros seres multicelulares no tuvieron tejidos duros, no dejaron restos fósiles. Recién durante el período Cámbrico (541-485 Ma) se generó una enorme cantidad de registros fósiles de animales con exoesqueleto, como por ejemplo los trilobites, por lo que los paleontólogos hablan de este período como la *explosión del Cámbrico*, en relación con el enorme desarrollo de formas multicelulares de vida, en contraste con el Precámbrico, del cual casi no hay registro fósil. Sin embargo, ya hemos visto que durante el Precámbrico se produjo una verdadera revolución celular que fue la que permitió que la biota *explotara* en diversidad más tarde. Por otro lado, hay algunos registros fósiles sutiles de animales multicelulares en el Precámbrico, en particular los conocidos como *fauna ediacárica*, estudiada por las impresiones que dejaron en rocas. Hoy se tiene registro de una gran cantidad de estos fósiles, todos constituidos por *animales* formados con tejidos blandos, con formas parecidas a gusanos (es decir con simetría bilateral) y muchos con forma parecida a las actuales medusas (simetría radial), y que llegaron a tener hasta 1 m. No está clara la posición evolutiva de estos animales, en el sentido de que todavía no hay acuerdo sobre si constituyeron los ancestros de los animales del Cámbrico o fueron una rama independiente, un *intento fallido* de la vida. De todas maneras, lo que es interesante es que esta fauna ediacárica, también denominada *vendobionte*, permitió desarrollar la estrategia del embrión. ¿Qué quiero de-

¿cómo? El embrión es la etapa inicial de un ser vivo que va a experimentar un cambio (en su tamaño, forma y capacidades) a lo largo del tiempo. Este es un gran invento de la naturaleza, porque los microorganismos no tienen estados embrionarios; cuando se reproducen, ya tienen todas las características de un *microorganismo adulto*. En el caso de un microorganismo esto es posible, porque lo que hay que *multiplicar* primero, antes de dividir, es relativamente sencillo (enfático la relativización del término *sencillo*, una única célula es una cosa bastante compleja). Pero si lo que queremos multiplicar es algo un poco más complejo, como por ejemplo alguno de los vendobiontes que tenían forma de medusa, la simple *duplicación* del individuo no es un proceso biológicamente viable, porque lo que hay que duplicar es una enorme cantidad de células eucariotas que encima se encuentran diferenciadas (figura 59; me recuerda a un episodio de *The Big Bang Theory* donde Leonard sueña que Sheldon se reproduce por duplicación).

La estrategia de reproducción en los organismos multicelulares cambió radicalmente: los animales pasaron a tener ciclos embrionarios, es decir, etapas de desarrollo en las que la forma adulta se obtenía por un proceso de maduración de una forma más sencilla. Tomemos como ejemplo el ciclo de vida de las actuales medusas (que no necesariamente tiene que ser igual al de los antiguos vendobiontes). Las medusas tienen sexo, de forma que las gametas masculinas y femeninas por fusión dan origen a un óvulo fecundado. Este luego se transforma en larva, que a su vez se transforma en una forma fija sobre el suelo marino denominada escifistoma (figura 59). El escifistoma da origen a una larva éfira que se transforma en una medusa juvenil, y esta en una medusa adulta. Una pregunta posible en este punto es: ¿quién gobierna todo este proceso de transformaciones maravillosas del individuo?

**Figura 59.** Cambios en la estrategia de multiplicación de los seres multicelulares



Fuente: elaboración propia.

La respuesta a la pregunta que acabamos de hacernos es: *los genes Hox*. Los genes Hox son un conjunto de genes que dirigen la formación de cuerpos diferenciados. Son un conjunto de *genes maestro*, que como si fueran un director de orquesta van indicando qué otros genes se activan y en qué orden (primero los dedos, luego las uñas, luego los ojos...). Lo interesante es que están presentes en todos los seres vivos multicelulares de todos los reinos (animales, vegetales y hongos), por lo cual es una herramienta genética básica que debe haberse desarrollado durante el período Precámbrico y que puede haber favorecido la posterior explosión de vida del Cámbrico, permitiendo especialmente el paso de seres con simetría radial más simple a seres con simetría bilateral y cuerpo segmentado (por ejemplo los insectos), que son más complejos. Lo que ocurrió durante el Cámbrico es que los genes Hox se duplicaron, lo que les permitió asumir nuevas funciones. La repetición de partes en los cuerpos permitió, gracias a la evolución, la especialización. Por ejemplo, lo que al principio fue un par de patas repetidas en un segmento superior del cuerpo, pudo dar origen a antenas sensoras.

Probablemente, las múltiples posibilidades genéticas basadas en contar con un *switch genético maestro*, junto con las grandes oportunidades ambientales (muchos nutrientes, oxígeno y espacio vacío) hayan estado entre los factores importantes que impulsaron la explosión de la vida multicelular durante el período Cámbrico.

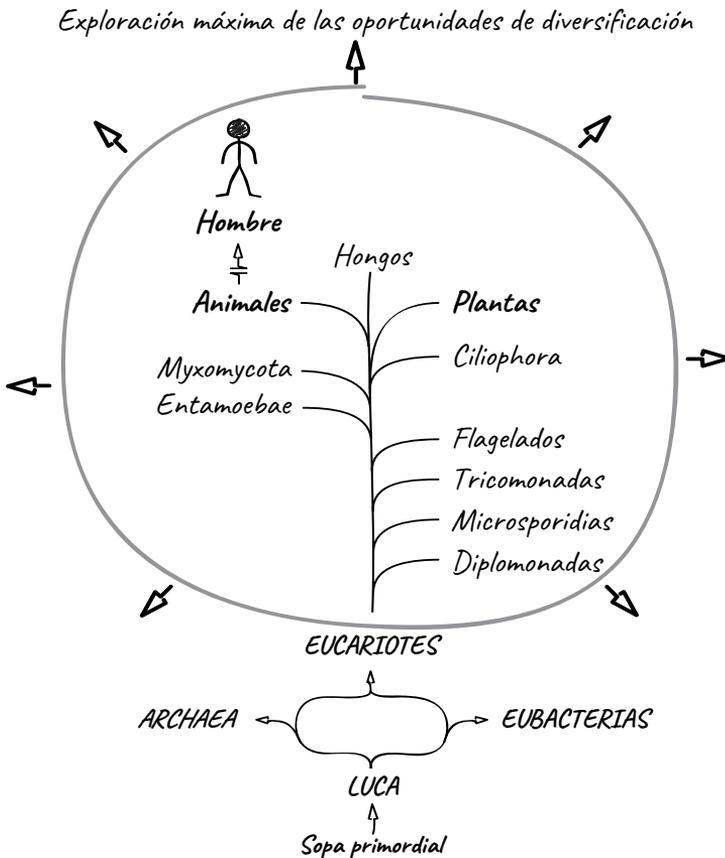
## El árbol de la vida

Vimos en las secciones precedentes que el Precámbrico fue un silencioso período revolucionario intracelular, durante el cual se fueron dando los pasos arquitectónicos necesarios para el desarrollo de organismos vivos más complejos. Las células eucariotas (dotadas de un núcleo), con metabolismos adaptados a la presencia de oxígeno atmosférico, fueron la piedra fundamental de ese cambio ascendente (si esta expresión es adecuada...) desde la sopa primordial (figura 60). A partir del agrupamiento de células eucariotas los seres vivos exploraron todos los nichos ecológicos posibles. Esto quiere decir que siguiendo el mecanismo de selección natural fueron experimentando cambios en sus genes que los fueron diferenciando. Fue la diversidad de entornos ambientales, con variaciones de las condiciones climáticas, geológicas, de la disponibilidad de nutrientes y de la presencia o no de otras especies, lo que generó diferentes presiones de selección, que produjeron una notable diversificación de los seres vivos.

Esta exploración de la diversidad ambiental fue la que llevó a la diversidad de la vida (figura 60) y al consecuente desarrollo de una innumerable cantidad de seres diferentes. Un punto interesante es que es posible reconstruir la relación evolutiva entre esos seres estudiando su material genético, en particular el ARN ribosomal. Esto fue lo que propuso Carl Woese en la década de los setenta (no hace tanto). Él se dio cuenta de que era posible reconstruir las relaciones ancestro-des-

endencia mirando el grado de similitud del ARN ribosomal. Con esto lo que se puede armar es un árbol filogenético, como el que se muestra para los eucariotes en la figura 60. El árbol filogenético es un diagrama tipo espina de pescado con puntos de bifurcación en cuyas intersecciones tiene que haberse producido un proceso de diferenciación, como consecuencia de la exploración de la diversidad ambiental. Lo interesante, en mi modesta opinión, es que parece que los hombres existimos como especie porque otras especies se dedicaron a cubrir otros huecos de desarrollo posibles. Existimos porque otros, distintos de nosotros, existen y existieron, y ambas existencias están relacionadas de una forma íntima. En una estrategia de generación de la máxima diversidad, uno es de una forma porque necesariamente otro es de una forma diferente.

**Figura 60.** El camino hacia la complejidad de la vida



Fuente: elaboración propia.

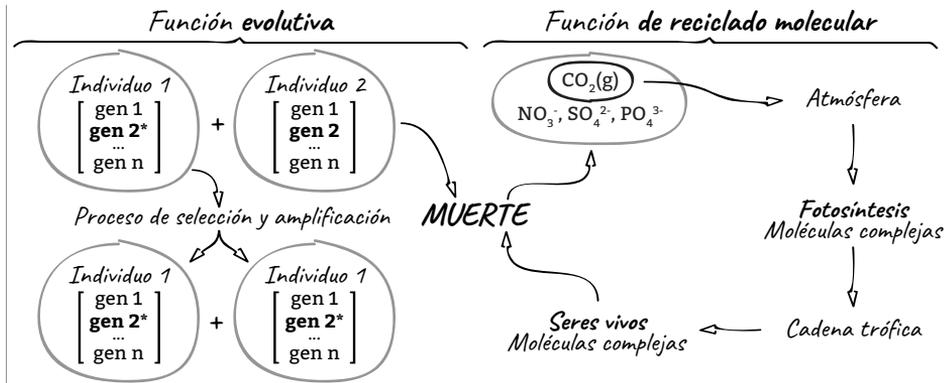
## La muerte: sin muerte no hay evolución genética (la necesidad de que una generación muera para que la siguiente evolucione)

Me gustaría en este punto decir algunas palabras sobre el significado de la muerte en el contexto de la evolución de la vida. Por supuesto la muerte individual, en particular nuestra propia muerte, es un hecho traumático. Yo mismo cuando me imagino dentro de un féretro, pálido y rodeado de la gente que me quiso (espero), me estremezco casi convulsivamente, lo que pone de manifiesto un temor muy poderoso a imaginar nuestra propia desaparición.

Pero tal vez podríamos pensar desde una perspectiva diferente la muerte, no solo como la desaparición individual de un ser biológico, sino como parte del mecanismo de la vida. ¿Qué quiero decir con esto?: quiero decir que sin la muerte no podría entenderse la vida como la concebimos. Tyler Volk, profesor de Biología de la New York State University, plantea en su interesante libro *What is death*<sup>8</sup> que la muerte cumple la función biológica de *reprocesado molecular*, en el sentido de permitir que algunas moléculas fundamentales para los ciclos biológicos sean pasadas de una generación a la siguiente, en un proceso de reciclado que involucra a los organismos que descomponen la materia orgánica y a los organismos fotosintetizadores, que vuelven a producir la complejidad molecular a partir de las moléculas sencillas. Sin este proceso de reciclado molecular no habría suficiente cantidad de materia disponible para sostener un aumento exponencial de la biota (porque no habría muerte). En particular, esto puede verse para el ciclo del carbono. El dióxido de carbono total en la atmósfera disponible para ser fotosintetizado es de  $100 \cdot 10^{12}$  tn/año, de los cuales solo  $0,5 \cdot 10^{12}$  tn/año proviene de la inyección de  $\text{CO}_2(\text{g})$  *fresco* desde la corteza terrestre, a través de los volcanes. Esto quiere decir que aproximadamente el 99,5% del  $\text{CO}_2(\text{g})$  proviene de la descomposición de la materia orgánica de los seres vivos. Seguramente todos hemos visto el proceso de descomposición de algún ser vivo (desde las plantas de albahaca que se pudren en la cocina hasta el cuerpo de un perro abandonado en una ruta). Ese proceso de transformación es llevado adelante por un ejército de microorganismos que tienen como función principal transformar ese cuerpo biológico con moléculas complejas, en moléculas más sencillas como  $\text{CO}_2(\text{g})$ ,  $\text{H}_2\text{O}(\text{v})$  e iones como  $\text{NO}_3^-$  (nitrato),  $\text{SO}_4^{2-}$  (sulfato) y  $\text{PO}_4^{3-}$  (fosfato), todos ellos fundamentales para el proceso de la vida. En particular, esos microorganismos descomponedores transforman el esqueleto de las moléculas orgánicas en  $\text{CO}_2(\text{g})$ , que es enviado a la atmósfera (figura 61).

<sup>8</sup> Tyler Volk, John Wiley. *What is death. A scientist looks at the cycle of life*, 2002. Edición en formato Kindle.

**Figura 61.** Función de reciclado molecular y función evolutiva de la muerte



Fuente: elaboración propia.

Ese CO<sub>2</sub>(g) atmosférico es tomado por las plantas y algas fotosintetizadoras y transformado maravillosamente, como ya hemos visto, en moléculas complejas como los hidratos de carbono. Esas moléculas complejas entran en la cadena trófica y se van pasando a otros seres vivos más complejos, hasta que estos son alcanzados por la muerte y el proceso de reciclado molecular nuevamente se pone en funcionamiento.

El otro gran aporte de la muerte al proceso de la vida es permitir la ocurrencia de la selección natural, y por lo tanto la evolución de las especies. Ya hablamos en este mismo capítulo sobre en qué consistía el proceso de selección natural ante una presión del medio. En ese momento planteamos el mecanismo en términos de supervivencia de la especie más apta, pero lo que no enfatizamos –tal vez por negar el tema– es en que eso implica la desaparición física, es decir la muerte, del menos apto (figura 61). Es la muerte del organismo menos apto lo que contribuye a que se propague el individuo con la mutación que le permite mayor aptitud (gen 2\* en la figura 61).

Es decir, parece que tenemos que amigarnos con la muerte; después de todo, sin la muerte sería muy difícil imaginar la vida. Pero volveremos sobre el impacto existencial de la muerte sobre nuestra propia especie un poco más adelante.

## El proceso de hominización

Hay algunas preguntas interesantes que podríamos hacernos en relación con la aparición del hombre: ¿cuál es su posición en el árbol filogenético de la vida (figura 60)?, y ¿cómo llegó allí?

Para poner un poco de precisión a la primera pregunta deberíamos aclarar un punto: ¿a qué hombre nos referimos? La pregunta parece tonta, pero en un momento van a ver que no lo es tanto, porque en realidad han existido muchos *homínidos*. Entonces, la cuestión podría reformularse así: ¿qué posición ocupa el *Homo sapiens* (nosotros) en el árbol filogenético de la vida? Es decir, tratemos de establecer algún grado de detalle filogenético mayor alrededor del fenómeno de la aparición del hombre. Me gustaría enfatizar la idea de que el fenómeno de aparición del hombre es un *proceso*, no un *suceso*, es decir fue un lento cambio evolutivo que se dio a través de 6 Ma, punto en el tiempo a partir del cual nos separamos del último ancestro común con los chimpancés. Digo esto porque probablemente aquí es donde comenzamos a romper el frágil armisticio entre ciencia y religión. Cuando digo que la hominización es un proceso, lo que quiero decir es que no solo las características biológicas distintivas de la especie (marcha bípeda, disminución del tamaño de la cara y dientes, aumento del tamaño del cerebro, disminución del largo de brazos y aumento del largo de piernas, aparición de pulgares oponibles, apoyo de toda la planta del pie), sino las características consideradas como *superiores* (razonamiento, conciencia, planificación, comportamiento social, capacidad emocional y afectiva) son el resultado de un proceso natural. Contrariamente, la mayor parte de las religiones, en particular las occidentales, afirman la existencia de un *alma* humana responsable de las funciones cognitivas y emocionales superiores del hombre. Es decir, la idea subyacente es que estas *propiedades superiores* son el resultado de una entidad que es independiente de su animalidad biológica.

Por supuesto, la existencia de evidencia paleontológica en relación con el *proceso de hominización* no es un argumento que pueda excluir la posibilidad de una *intervención divina* insuflando un *alma humana* a alguno o algunos miembros de nuestra especie; simplemente creo que hace este argumento más inverosímil.

Pero ahora volviendo sobre las dos preguntas originales: ¿qué posición ocupa el *Homo sapiens* (nosotros) en el árbol filogenético de la vida?, y ¿cómo llegó ahí?, podríamos abusar, resumiendo la evidencia paleontológica en la figura 62.

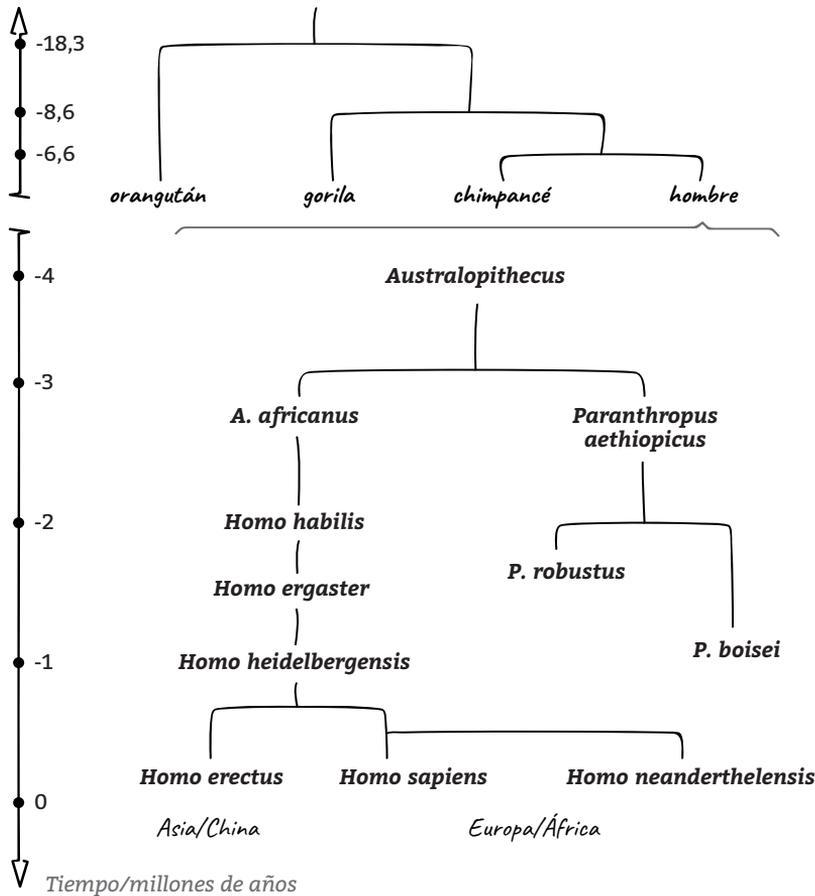
Por poner un punto arbitrario de inicio de nuestra historia de hominización, podemos rastrear al último ancestro que compartimos los homínidos (orangután, gorila, chimpancé, hombre) que fue hace 18,3 Ma. El ancestro común entre el gorila, el chimpancé y el hombre se remonta a 8,6 Ma, mientras que el chimpancé, el primate más cercano a nosotros se diferenció de la línea evolutiva de los hombres hace solo 6,6 Ma (figura 62). Es decir, nos llevó 6,6 Ma diferenciarnos de los chimpancés.

Si hacemos una ampliación de la historia evolutiva luego del alejamiento de nuestros primos los chimpancés (ampliación figura 62), el primer rastro lo encontramos con los *Australophitecus*, hace aproximadamente 4 Ma. Hace 3 Ma, la línea homínida se dividió en la rama de los *Paranthropus*, que se extinguieron hace 1 Ma, y la línea de los *Homo*, que reconoce su ancestro en el *Australophitecus africanus*. Luego se sucedieron el *Homo habilis*, el *Homo ergaster* y el *Homo heidelbergensis*, que vivió en Europa hace aproximadamente 1 Ma. Allí la línea *Homo* se

dividió en tres: los *Homo erectus*, que habitaron Asia y China; los *Homo neanderthalensis*, que habitaron Europa, y los *Homo sapiens*, que finalmente llegaron a habitar toda la Tierra.



Figura 62. Árbol filogenético que explica la aparición del *Homo sapiens*



Fuente: elaboración propia.

Un aspecto interesante es que convivieron por un tiempo tres *líneas homínidas*: *erectus*, *neanderthal* y *sapiens*, habiéndose extinguido finalmente las dos primeras. Una interesante pregunta para hacer a las distintas religiones es, entonces, si todos tenían alma, o esa es una propiedad exclusiva del *Homo sapiens*.

## ¿Estamos solos en el universo?: la probabilidad de la existencia de vida en otros planetas

Me gustaría terminar este capítulo diciendo algo sobre la posibilidad de que este fenómeno natural, la vida, que hemos visto que se desarrolló en la Tierra, sea un proceso que pudiera tener algún grado de generalidad y que existiera en alguna otra parte de nuestro universo; y, en términos más cercanos, que en nuestra galaxia la Vía Láctea exista algún otro planeta donde se haya desarrollado vida.

Este problema ha sido un tópico popular instalado en nuestra imaginación colectiva, ocupando espacios que van desde lo artístico (desde la *Guerra de los Mundos* de George Orwell y la psicodramatización de Orson Welles, pasando por multiplicidad de series televisivas), llegando a pseudocientíficos e investigadores del fenómeno OVNI (*Fabio Zerpa tiene razón: hay marcianos entre la gente...*). Evidentemente esto quiere decir que la pregunta sobre si estamos solos en el universo es razonable. En particular teniendo en cuenta que solo en la Vía Láctea hay  $10^{12}$  estrellas, y que se supone que en nuestro universo hay  $5 \cdot 10^{11}$  galaxias, la probabilidad de que haya vida en alguna otra parte parecería razonable, al menos en términos probabilísticos. La pregunta tiene también una resonancia emocional profunda para el ser humano. Estar solos, de alguna manera, es afrontar la finitud y limitación del fenómeno de la vida, lo que naturalmente nos enfrenta a la angustia de la *nada*.

Pero me puse demasiado pseudopsicofilosófico, y no era mi intención ahora. En términos científicos, probablemente el esfuerzo más serio para intentar contestar la pregunta sobre si estamos solos en el universo haya sido el proyecto SETI (Search of Extraterrestrial Intelligent Life), que tuvo como pionero a Francis Drake en la década de los sesenta, en la Universidad de Cornell. Los comienzos del programa fueron muy austeros hasta que la NASA lo financió y puso en funcionamiento un ambicioso programa que solo estuvo activo entre 1990 y 1992, ya que fue desfinanciado por el Congreso estadounidense. En la actualidad, Drake dirige el SETI Institute, que prosigue con esta actividad en el campo privado, con aportes particulares como el de Paul Allen, cofundador de Microsoft, y que funciona en colaboración con la Universidad de California.

Lo que me interesa en este punto es contarles una ecuación que desarrolló Drake para intentar estimar la probabilidad de encontrar vida inteligente (naturalmente cuando estaba buscando financistas para su proyecto tenía que mostrar que esa probabilidad no estaba muy cerca de cero). Esta ecuación indica la cantidad de posibles civilizaciones de la Vía Láctea cuyas ondas radiales podrían captarse en la Tierra en un año, y se puede escribir de la siguiente forma:<sup>9</sup>

<sup>9</sup> K. W. Plaxco, M. Gross. *Astrobiology*, p. 246. Baltimore: John Hopkins University Press, 2006.

$$N = R^* \times f_p \times n_e \times f_1 \times f_i \times f_c \times L$$

donde:

$R^*$  = cantidad de estrellas que se forman cada año en la Vía Láctea.

$f_p$  = cantidad de estrellas que cuentan con planetas.

$n_e$  = número de planetas ubicados en una zona compatible con el desarrollo de vida.

$f_1$  = fracción de esos planetas que podrían desarrollar vida (con agua, materia orgánica, nutrientes inorgánicos, etcétera).

$f_i$  = fracción de los planetas donde evolucionaría la vida inteligente.

$f_c$  = fracción de vida inteligente con capacidad tecnológica para comunicarse.

$L$  = período que cada civilización podría durar transmitiendo señales.

Por supuesto, el resultado final depende de los valores de cada uno de los estimadores que Drake propuso. Algunos son medibles científicamente, como por ejemplo  $R^*$ ,  $f_p$ ,  $n_e$ ; el resto, por el momento, son conjeturas educadas. Pero veamos en una tabla qué valores asignó Drake y cuáles asignaron otros científicos (Shermer),<sup>10</sup> para evaluar el grado de optimismo de cada uno. La siguiente tabla nos presenta estas consideraciones.

Autor	$R^*$	$f_p$	$n_e$	$f_1$	$f_i$	$f_c$	$L$	$N$	Fuente	Optimismo
Drake	10	0,5	2	1	0,01	0,01	$10^4$	10	Nota 9	altísimo
Shermer	1,379	0,33	0,005	0,13	$5 \cdot 10^{-5}$	0,002	420	$1 \cdot 10^{-8}$	Nota 10	moderado

Lo que me interesa señalar es que las diferencias fundamentales entre los valores numéricos de Drake y Shermer están en los factores  $f_1$  y  $L$ , que están relacionados con la cantidad de planetas donde evolucionaría vida inteligente y con el tiempo que una civilización duraría transmitiendo señales radiales. Ahora, el parámetro  $f_1$ , que mide la fracción de los planetas dentro de la ecósfera de su sistema orbital donde podría desarrollarse vida, es altísimo en ambos casos. Para Drake es de 100%, mientras que para Shermer es del 13%. En mi opinión aquí hay un punto de discusión científico-filosófica fundamental. Semejantes guarismos tienen implícita la idea de que la vida es un fenómeno universal. Es decir, que dado cierto conjunto de condiciones iniciales, digamos temperatura, agua, material orgánico, radiación ultravioleta y atmósfera correcta, la vida se desarrollará inexorablemente, como una bola que rueda de arriba abajo por un plano inclinado. Creo que esto se parece bastante a una visión animista del fenómeno de la vida: *¡pongan los ingredientes correctos que alguna fuerza desconocida hará que se cocine la torta!* Me parece que  $f_1$  está totalmente sobreestimado en ambos casos, porque detrás de ello hay una postura, humanamente comprensible pero científicamente dudosa, de no

<sup>10</sup> Michael Shermer en: <http://www.michaelshermer.com/2002/08/why-et-hansnt-called/>.  
Accesado en abril 2014

querer asumir la extrema contingencia del fenómeno de la vida, y por lo tanto la extrema contingencia de cada una de nuestras existencias personales.

Tomemos como ejemplo para ilustrar este punto la elevación de los niveles de oxígeno atmosférico hasta el 21% (nivel actual), que como les conté fue fundamental para el desarrollo de seres multicelulares complejos, porque nos permitió pegar un salto en la eficiencia de nuestro metabolismo energético. Ese aumento en los niveles de oxígeno se produjo, como vimos, por una serie de ciclos de glaciación-deshielo, que permitieron aumentar la producción y disminuir el consumo de este gas. Pero la causa primera del ciclo glaciación-deshielo fue la tectónica de placas, que ubicó los continentes sobre el ecuador. ¿Cómo ponderar este hecho fortuito? ¿Cómo estimar la necesidad de la existencia de un satélite como la Luna para estabilizar la precesión de la Tierra y evitar enormes variaciones climáticas? ¿Cómo tener en cuenta la necesidad de un gigante gravitacional como Júpiter, que ha funcionado como una aspiradora de cometas y asteroides evitando que impacten en la Tierra y dándonos la estabilidad geológica necesaria para que se desarrolle la vida? Para que la vida se desarrolle no solo son necesarias ciertas condiciones fisicoquímicas iniciales; nuevamente, si pongo huevos, azúcar y un paquete de Exquisita sobre la mesa la torta no se hace sola. Es necesario realizar una serie de operaciones físicas y químicas en un orden específico. Entonces, y en mi ignorante opinión, hay dos posibilidades: o hay un cocinero que ha llevado adelante directa o indirectamente esos pasos, o hay un número tan grande de cocinas y de configuraciones huevos/azúcar/Exquisita tal que en alguna de ellas la torta se haya podido hacer sola. Para mí este último escenario es un poco más probable, y lo discutiremos en relación con la teoría del multiverso, sobre la que comentaremos algunas ideas en el capítulo 7.

## Lecturas sugeridas

Nick Lane. *Oxygen. The Molecule that made the World*. Oxford, EE.UU.: Oxford University Press. 2002.

Tyler Volk. *What is Death? A Scientist Looks at the Cycle of Life*. Nueva York: Newraumont Publishing Company, 2002.

Richard G. Klein. *The Human Career*, tercera edición. Chicago: The University of Chicago Press, 2009.

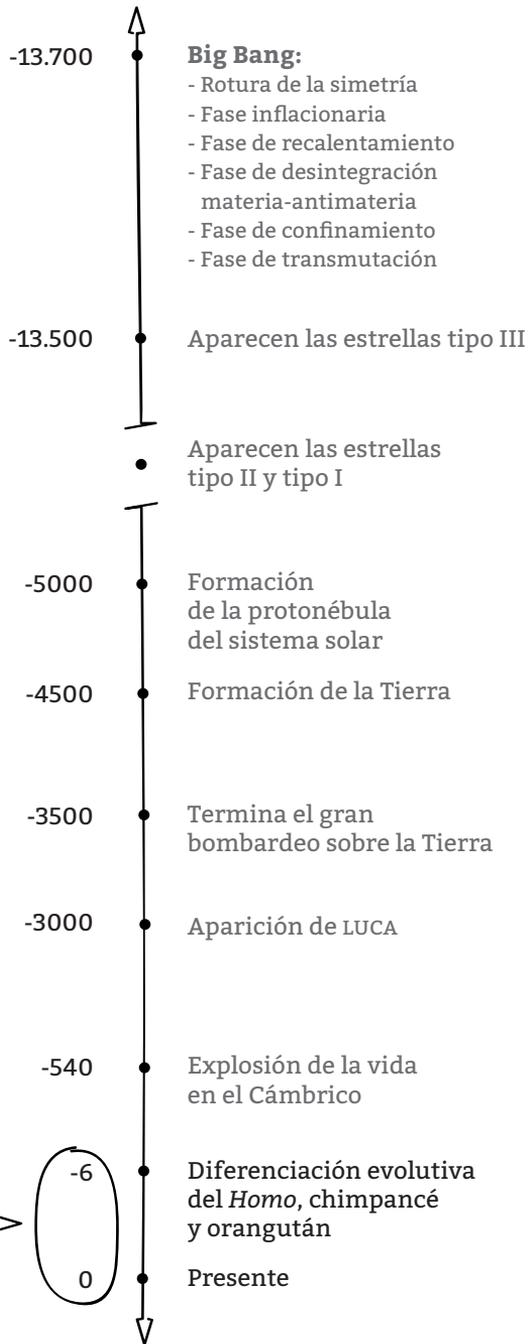
## Resumen del capítulo 5

	Tiempo/Ma	Comentario	Cap. 5
<p><b>LUCA</b></p> <p>↓</p> <p><i>La quintuple revolución silenciosa</i></p> <p>↓</p> <p><b>VIDA</b></p> <p>↓</p> 	-3800 a -3500	¿Qué es la vida? ¿Qué significa evolucionar?	123
	-2500 a -1500	Fotosíntesis Primeras huellas de la aparición de O <sub>2</sub> (g) Aparición del núcleo celular (eucariotas) Aparición de las mitocondrias (ciclo de Krebs) Multicelularidad	133
	-542	La explosión de la vida en el Cámbrico	145
	-18,3	La hominización	150

# 06

**Lo humano de lo humano**





**Capítulo 6**  
Ud. está aquí



**Tiempo**  
en millones de años

*¿Qué es lo humano de lo humano?, o ¿qué nos hace únicos?: el cerebro humano. - ¿Pero qué tenés en la cabeza, pibe? (Brevisima descripción de la anatomía del cerebro humano). - ¿Qué es la conciencia? - ¿Existió entonces una evolución de la mente? - Mente, inteligencia y cerebro. - El problema de la aparición de la mente y la conciencia en un contexto evolutivo. - La evolución de los sistemas de procesamiento de la información. - Lo esencialmente humano. - La cultura como mecanismo de evolución extragenómico.*

## **¿Qué es lo humano de lo humano?, o ¿qué nos hace únicos?: el cerebro humano**

Luego de este viaje tan largo, llegamos al punto en que necesitamos describir, al menos parcialmente, uno de los objetos más complejos de nuestro universo conocido. Si la descripción hecha hasta ahora y en forma totalmente preliminar, dado nuestro actual estado del conocimiento, del pasaje de los sistemas químicos prebióticos a LUCA les pareció un paso increíble en la complejización, permítanme afirmar que nada, nada de lo descrito hasta ahora se compara con la complejidad del cerebro humano.

Como habíamos dicho antes en este libro, el diccionario de Real Academia Española define como *complejo* a lo compuesto por múltiples partes. En este caso, lo maravilloso no solo son las múltiples *partes* (o, tal vez mejor, *circuitos*) del cerebro humano, sino sobre todo las maravillosas funciones que emergen de esa complejidad: la capacidad de hablar, de escribir e interpretar esa escritura, la capacidad de desarrollar un método de comprensión de lo existente, la capacidad de sentir y de amar. Todo eso reside en una masa gris y grasosa de 1,3 kg de peso que está en el interior de nuestro cráneo.

Podemos perder los brazos o las piernas, pero nuestra capacidad de comprender la realidad no va a cambiar. Podemos experimentar un trasplante de corazón, pero nuestra capacidad de amar va a estar intacta. Somos esencialmente nuestro cerebro, no solo en lo referente a nuestro componente racional, sino también en lo referente a nuestro componente emocional. Si entonces nos preguntamos: ¿qué es lo humano de lo humano?, yo diría, aunque fuera acusado por mis colegas de simplificador y por otros de ateo, que lo humano de lo humano, es decir, lo que nos distingue del resto de la naturaleza, es nuestro cerebro.

Ahora, ¿cómo entender la aparición de ese órgano maravilloso?, ¿es el resultado de la evolución biológica, o hay que invocar *razones extraordinarias* para jus-

tificar sus funciones superiores? (no olvidemos que buena parte de la humanidad cree en la existencia de un *alma* que *anima* a nuestro cuerpo).

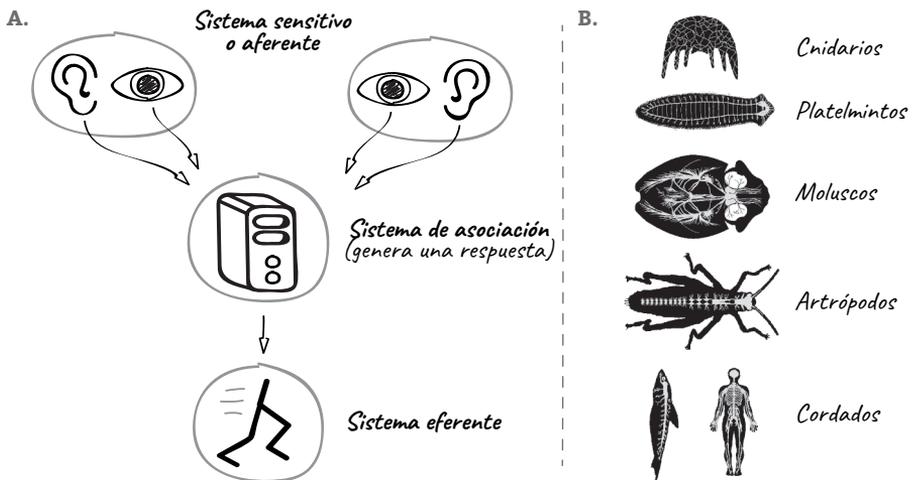
Se podrán imaginar, por la línea de discusión que hemos tenido en las páginas precedentes, que yo creo que el cerebro humano –en términos más correctos, el cerebro del *Homo sapiens*–, y su característica animal más distintiva, *la cultura*, son parte de la evolución natural del universo. Esto lo creo no con certeza absoluta, sino de acuerdo con las evidencias científicas que tenemos hasta la fecha, y aun aceptando que tenemos en el campo de la neurobiología muchísimas más preguntas que respuestas.

Vayamos por partes...

### ¿Pero qué tenés en la cabeza, pibe? (Brevísima descripción de la anatomía del cerebro humano)

El cerebro humano es el órgano principal de nuestro sistema nervioso, y entonces podríamos hacernos la siguiente pregunta: ¿cómo está formado y para qué sirve nuestro sistema nervioso? En realidad, la pregunta debería ser formulada en un contexto más amplio, ya que los seres humanos no son los únicos animales con sistema nervioso, sino que este sistema se encuentra distribuido en un amplio conjunto de especies, que van desde los cnidarios (aguas vivas), los platelmintos (gusanos) y los moluscos hasta los artrópodos y cordados (figura 63).

**Figura 63.** Utilidad del sistema nervioso



La parte B de esta figura es una adaptación de la existente en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_nervioso](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_nervioso) (consultada en junio de 2013).

De todas maneras, la pregunta sigue siendo válida en este contexto ampliado: ¿cuál es la función evolutiva del sistema nervioso de un ser vivo? En una primera aproximación, el sistema nervioso es el que permite a un determinado ser vivo dar una respuesta adaptativa rápida a todos los órganos y sistemas de ese ser ante un estímulo del medio ambiente. Quiero decir, si el sistema nervioso de un ratón detecta el estímulo de un gato que se acerca va a desencadenar una señal de respuesta (“rajemos”) que es transmitida de forma coordinada al sistema motor (los músculos). Por supuesto, esto implica la existencia de funciones especializadas, necesitamos sensores (vista, oído, olfato, tacto, gusto), necesitamos una unidad de procesamiento de la información, es decir, algo parecido a la CPU de nuestra computadora, que nos permita hacer algo con esa información (memoria para retenerla y capacidad de procesarla), y necesitamos además un circuito que conecte esa unidad de procesamiento con los sistemas que ejecutan las acciones (los músculos). En general, al aumentar la complejidad de un organismo aumentan la centralización y la plasticidad de su sistema nervioso. Con el término plasticidad quiero decir que no hay una única respuesta *programada* ante un determinado estímulo, sino que existen múltiples alternativas. Todo ese maravilloso sistema está constituido por un tipo especial de célula, denominada neurona, cuya función principal es la *conectividad*.

La característica de la velocidad en la respuesta al estímulo es una propiedad particular de los seres vivos con sistema nervioso, porque existen otros seres vivos, como los girasoles, sin sistema nervioso, que tienen una respuesta ante un estímulo externo que es dada por el fototropismo, pero difícilmente calificaríamos a esto como una respuesta rápida ante el estímulo del Sol.

Si bien el cerebro del *Homo sapiens* es anatómicamente semejante, o al menos con zonas que mantienen correlaciones con el cerebro de los grandes simios (chimpancés y gorilas), hay zonas en el cerebro humano que por su complejidad se distinguen con claridad. En particular:

- el área de Wernicke en el lóbulo temporal, asociada a la sintaxis del lenguaje,
- el gran desarrollo de todo el lóbulo frontal, con funciones asociadas también al lenguaje (área de Broca) junto con la imaginación, creación y represión (lóbulo izquierdo), y
- los lóbulos parietales inferiores de ambos hemisferios cerebrales (figura 64, B).

Un aspecto interesante del cerebro es que aparecen *funciones específicas* en *regiones específicas*. En primer lugar, si miramos nuestro cerebro desde arriba (figura 64, B), las funciones se encuentran distribuidas en forma especializada entre el hemisferio izquierdo y el derecho. Mientras que el hemisferio izquierdo desarrolla funciones más relacionadas con la creatividad, la imaginación y la introspección, el hemisferio derecho se ocupa más de la lógica, el razonamiento, el lenguaje y las habilidades matemáticas.

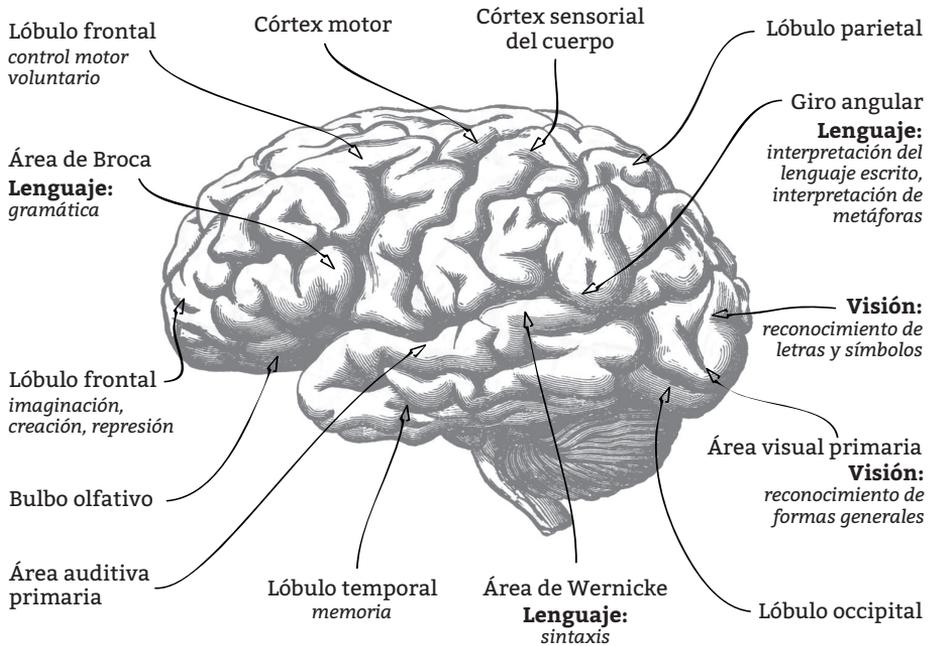
A su vez, dentro de cada hemisferio aparecen zonas específicas con funciones específicas; por ejemplo, nuestra capacidad de hablar está íntimamente relacionada con el área de Broca, que se ocupa de la gramática, es decir de la buena

construcción del lenguaje, y el área de Wernicke, que es la que se ocupa de asignar el correcto significado a las palabras.

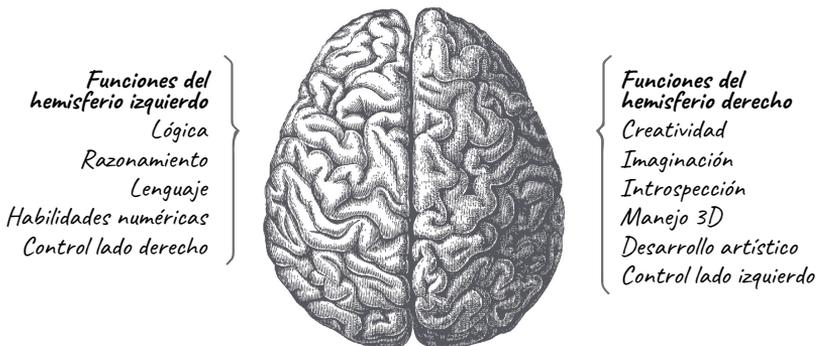
**Figura 64.** Localización de algunas funciones cerebrales.

A.

*Diagrama del hemisferio cerebral izquierdo del ser humano*



B.



Fuente: elaboración propia.

Otro ejemplo: todo lo que tiene que ver con el procesamiento de imágenes y reconocimiento de formas generales y específicas (es decir, casi como nuestra placa de video) está en el lóbulo occipital, que interacciona fuertemente con el giro angular en el lóbulo parietal, en relación con la interpretación del lenguaje escrito y la asignación de sentido en estructuras lingüísticas un poco más complejas, como las metáforas.

Las preguntas que podríamos hacernos son: ¿de todas estas funciones, cuál es la que hace a los humanos únicos?, y ¿podríamos resumir en solo dos palabras algún rasgo biológico de nuestro sistema nervioso que nos diferencie del resto de las especies? Tal vez, una posible respuesta a esta pregunta podría ser: la *cooperación e intercambio de información* entre los individuos. Creo que no existe otra especie animal que haya establecido lazos de cooperación entre los miembros de su especie como nosotros. Esa cooperación tiene diferentes niveles, existe en el simple gesto de indicar una dirección a un desconocido en la calle; en el ámbito familiar, en los innumerables quehaceres de la crianza de nuestros hijos, y en el ámbito organizado de las sociedades, de forma manifiesta. En relación con el intercambio de información, tampoco existe otra especie animal que genere un flujo tan grande de información entre sus miembros (yo soy una excepción, mi mujer me critica que nunca le cuento nada). Pensemos en el intercambio casual o formal de información que tenemos a lo largo de un día con los miembros de nuestra familia, con nuestros compañeros de trabajo o simplemente con desconocidos. Por supuesto, este intercambio de información ha ido creciendo con el desarrollo de la tecnología, la imprenta, la radio, la televisión e internet. En particular, en el año 2010 el 22% de la población mundial tenía acceso a internet, y generaba mil millones de búsquedas en Google diarias.<sup>1</sup>

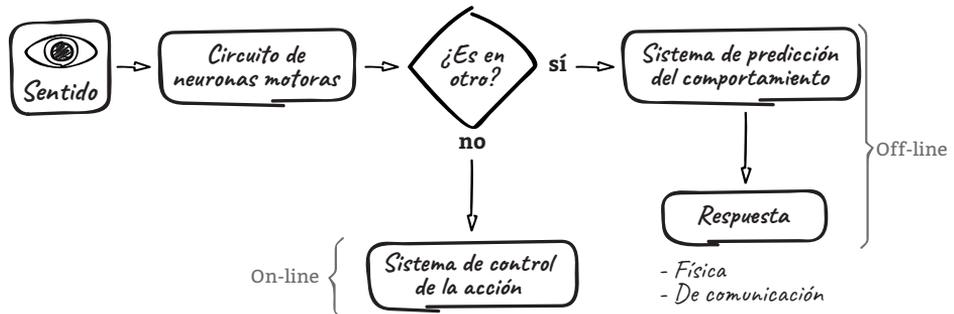
*Cooperación e intercambio de información*: esa es nuestra ventaja evolutiva, por eso nos hemos transformado en la especie dominante del planeta. ¿Pero cómo es que tenemos esas capacidades? O hagamos la pregunta de otra forma: ¿cuál es la *maquinaria biológica* que sustenta esas capacidades? La respuesta es: son capacidades naturales de nuestro propio cerebro. En particular creo que sería interesante contarles algunas hipótesis que tienen algunos neurobiólogos alrededor de la idea de un circuito o sistema denominado de *neuronas espejo*. Déjenme contarles un experimento notable que recoge el neurocientífico V. S. Ramachandran en su más que interesante libro *The Tell Tale Brain*.<sup>2</sup> En ese experimento se sentaron dos personas enfrentadas; a una de ellas se le aplica anestesia local en el brazo derecho y se cubre este brazo con un paño. Se procede a pinchar el brazo derecho de la persona anestesiada para confirmar que la anestesia haya hecho efecto. Acto seguido se pincha el brazo derecho de la persona enfrentada al anestesiado

1 [http://es.wikipedia.org/wiki/Internet#Tama.C3.B1o\\_de\\_Internet](http://es.wikipedia.org/wiki/Internet#Tama.C3.B1o_de_Internet) (consultado el 25 de mayo de 2013).

2 V. Ramachandran. *The Tell Tale Brain*, capítulo 9 “An Ape with asoul: how introspection evolved”. Nueva York: Norton & Company Ltd., 2011.

y, sorpresa, el anesthesiado *siente un pinchazo en su brazo derecho*. ¿Cómo podemos explicar este hecho increíble, que una persona no sienta nada cuando pinchan su propio brazo anesthesiado pero que lo sienta cuando ve que se lo pinchan a otra persona? La respuesta es que existe un circuito neuronal que nos permite correr una simulación *on-line* de las situaciones externas a nosotros y reconocerlas (cognitiva y emocionalmente): ese sistema está constituido por las *neuronas espejo*. Pero ¿qué son las neuronas espejo? Estas neuronas en realidad constituyen circuitos que se disparan no solo cuando tienen que controlar alguna acción motora, sino que se disparan también cuando vemos esa misma acción motora ejecutada por otra persona. Tomemos el ejemplo del famoso *qué linda manito que tengo yo...* al que todos seguramente hemos jugado con nuestros hijos cuando eran bebés. Los circuitos de neuronas espejo de los bebés se disparan cuando nos ven ejecutar el movimiento de la mano, y eso produce que muevan su mano. Por supuesto, si nos hicieran ahora *qué linda manito* a nosotros, no moveríamos la mano. ¿Por qué?, porque ejercemos una acción de inhibición consciente de esa otra acción. Nosotros podríamos mover la mano haciendo el movimiento de *qué linda manito* y se dispararían los mismos circuitos neuronales que cuando vemos ese movimiento, pero el hecho de que lo *veamos* establece un estímulo inhibitorio sobre nuestro cerebro que le permite distinguir que es un estímulo externo, no una orden motora originada en nuestro propio cerebro. Este proceso de *distinción* entre las acciones de *uno mismo* y del *otro* es el que se encuentra representado en la figura 65.

**Figura 65.** Representación esquemática del circuito de neuronas motoras



Fuente: elaboración propia.

Cuando alguno de los circuitos de neuronas espejo de nuestro cerebro recibe el estímulo de uno de nuestros sentidos la pregunta que se dispara es: ¿es en otro? Esta pregunta es fundamental y permite distinguir si el estímulo está ocurriendo en uno mismo o en el otro. ¿Cómo se contesta esa pregunta?, utilizando la información de nuestros sentidos, por ejemplo en el caso del experimento del *pinchazo* que

les conté antes, el sentido de nuestro tacto permitiría enviar la información de si el pinchazo es en nosotros o no, pero al estar anestesiado, esa acción de represión (en el caso de que el pinchado sea otro) no puede ejercerse y entonces nuestro cerebro *corre la simulación del pinchazo*, con la sensación del pinchazo y todo. La respuesta a la pregunta *¿es en otro?* es fundamental para que nuestro cerebro decida si debe disparar los circuitos de predicción del comportamiento (figura 65) para interpretar las acciones de nuestro interlocutor. Si la acción no ocurre sobre otro sino sobre nosotros mismos, el cerebro disparará entonces los circuitos de control de la acción, que para el caso del pinchazo puede ir desde no reaccionar (como en el caso de una vacunación), hasta propinar un golpe al pinchador.

Entonces, lo que permiten los circuitos de neuronas espejo es *leer* las acciones (o intenciones) de otra persona. Lo que hacemos es correr una simulación de las acciones de esa otra persona, que dispara en nuestro cerebro las mismas neuronas que si lo hubiéramos hecho nosotros, pero como nuestros sentidos nos dicen que no lo estamos haciendo nosotros, *interpretamos* que lo está haciendo ese otro. Estamos corriendo continuamente simulaciones del *otro* para anticipar y entender sus acciones, usando nuestros circuitos de neuronas espejo como *hardware*, y así poder establecer relaciones de *cooperación e intercambio de información*.

## ¿Qué es la conciencia?

Metámonos en un nuevo lío y veamos si podemos pensar el fenómeno de la conciencia desde una perspectiva natural. Podríamos proponer como definición de conciencia una que dijera que *es la capacidad de asignación de sentido a las cosas, y en particular a uno mismo*. Esta capacidad de asignación de sentido a las cosas no es exclusivamente humana. Cuando un ratón ve a un gato, no solo lo identifica como animal sino que le asigna otro sentido, el de depredador, lo que dispara en su cerebro una respuesta de fuga. Seguramente estaremos de acuerdo en aceptar que si bien la capacidad de asignación de sentido excede a nuestra especie, es en los humanos donde esta capacidad encuentra su mayor grado de despliegue en la naturaleza. A tal punto es así, que algunas creencias religiosas postulan que esa capacidad, más que una capacidad de nuestra *animalidad*, es una propiedad del *alma humana*, afirmando la existencia de una dicotomía cuerpo-espíritu (o alma). En relación con este punto me parece interesante recoger un caso clínico que relata nuevamente V. Ramachandran en su libro antes citado. Jason Murdoch era un paciente en rehabilitación en un hospital de San Diego, luego de haber sufrido un grave accidente automovilístico. Como consecuencia del daño cerebral producido por el accidente, permanecía en un estado de semiconciencia vigilante denominado *mutismo aquinético*. El lóbulo anterior del cerebro de Jason estaba dañado y no podía hablar, caminar ni iniciar ningún tipo de acciones. Mantenía sus ciclos de vigilia-sueño normales, respondía ante un pinchazo y podía seguir con sus ojos el movimiento de una lapicera. Lo curioso de su caso era que cuando su padre lo llamaba

por teléfono (por ejemplo desde la habitación de al lado), Jason recobraba todas las acciones propias de la conciencia, volvía a hablar y se enganchaba en la conversación con su padre. Cuando su padre colgaba el teléfono Jason volvía al estado de mutismo aquinético, transformándose en un zombi. Lo curioso del caso es que cuando el padre de Jason entraba en su habitación y trataba de mantener una conversación directa con su hijo, él seguía en ese estado de mutismo aquinético.

Ahora, pensemos en lo que significa esto: la acción de ser llamado por teléfono por el padre cambiaba el estado de conciencia de Jason. Es como si hubiera dos Jasons, uno en estado zombi y otro plenamente consciente, que aparecía cuando era llamado telefónicamente por su padre. Desde el punto de vista de la dicotomía cuerpo-espíritu es un caso un poco difícil de explicar: ¿acaso el alma de Jason solo se expresaba al escuchar a su padre? Algunos defensores del dualismo cuerpo-espíritu podrían plantearnos: ¿pero es que el alma de Jason está, solo que no se puede expresar! ¿Pero no es una hipótesis más sencilla suponer que en realidad no hay un alma y que la función neurológica está alterada porque el cerebro está dañado? ¿Si esto último es cierto, cómo podríamos explicar el comportamiento de Jason? En el lóbulo frontal, por debajo del giro superior frontal hay una zona denominada córtex del cíngulo anterior, que es adonde llegan las señales de nuestros sentidos (audición y vista) y donde a esas señales se les *asigna un significado*, es decir un sentido. Si esa zona está dañada de manera tal que solo son afectadas las señales visuales pero no las auditivas, tenemos el diagnóstico del caso de Jason (que luego de él pasó a denominarse *síndrome del teléfono*). ¿Qué quiere decir esto para mí?: que lo que denominamos *conciencia* o asignación de sentidos tiene un soporte neurológico, si se daña no hay función, es decir, no hay Jason, lo que en mi opinión es un argumento contrario a la existencia de entidades externas a lo neurológico como generadoras de conciencia. Otro corolario que podría desprenderse del caso de Jason es que las metarrepresentaciones visuales tienen prioridad de procesamiento sobre las auditivas, a tal punto que las anulan, por eso cuando el padre de Jason entraba en su habitación y le hablaba, Jason seguía en su estado zombi. Como la zona de asignación de significado visual estaba dañada, no disparaba el reconocimiento de su padre, pero anulaba el reconocimiento auditivo de su voz.

De aquí se desprende una sospecha también muy bien planteada por V. Ramachandran, que podríamos resumir de la siguiente manera: si la conciencia es una función definida, que surge de una localización neurológica en múltiples circuitos, y que puede ser alterada sin que otras funciones del cerebro lo sean, entonces, lo que denominamos *uno mismo* (el *self*), es decir Jason, Javier, Roberto, Melisa... ¿no será la resultante de la integración de una serie de subsistemas neurológicos? Idea perturbadora ¿no? Me estoy poniendo casi religioso, al mejor estilo oriental. Lo que estoy tratando de decir es que tal vez no hay un yo, pero por razones diferentes de las que proponía Buda, simplemente porque ese yo es la función neurológica que surge de la integración de una serie de subsistemas, y si alguno de esos subsistemas se daña físicamente, ese yo desaparece, como en Jason, con la notable particularidad en este caso de que puede volver a aparecer ante un determinado estímulo.

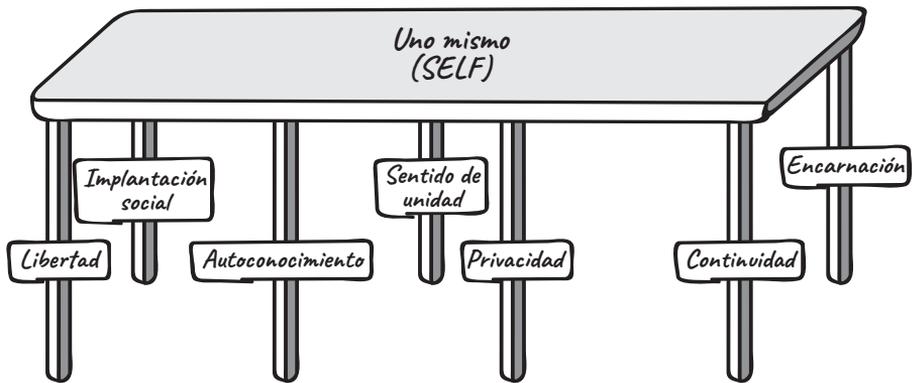
Pero ¿cuáles podrían ser esos subsistemas neurológicos que constituyen el *uno mismo*? Es Ramachandran también quien sugiere una lista de posibles subsistemas neurológicos, en función de su experiencia clínica. El listado de estos subsistemas o *atributos del uno mismo* es el siguiente:

- Continuidad: Es el subsistema que se encarga de mantener un sentido de identidad a lo largo del tiempo, fundamentalmente recurriendo a la integración de nuestra memoria episódica, es decir aquella que acumula los recuerdos particulares de nuestra vida.
- Encarnación: Es el subsistema que nos transmite la sensación de que somos nuestro propio cuerpo, es decir que el *uno mismo* es indistinguible de nuestro cuerpo, a tal punto de darse el caso de personas que han sufrido amputaciones y siguen experimentando sensaciones en el miembro amputado (síndrome del miembro fantasma).
- Privacidad: Es el subsistema dedicado a generar la sensación de que nuestras experiencias físicas, emocionales o mentales son personales, es decir inobservables para otro.
- Implantación social: Es el subsistema dedicado a establecer vínculos sociales con nuestros congéneres. Somos esencialmente seres sociales y la mayor parte de nuestros sentimientos han sido evolutivamente desarrollados para optimizar ese vínculo.
- Libertad: Es el subsistema neurológico que genera la capacidad de elegir entre opciones. Este es un buen ejemplo de un subsistema donde la localización física es compleja porque está dispersa. En el giro supramarginal, en el cerebro izquierdo, reside el circuito neuronal que permite la presentación de opciones diferentes. En el cíngulo anterior reside el circuito que nos hace *desear* una opción en función de valores jerárquicos preestablecidos, y es la corteza prefrontal la que establece esa jerarquía de valores.
- Autoconocimiento: Es el subsistema dedicado a monitorear en tiempo real el estado físico, mental y emocional. Esto nos da una mirada sobre nosotros mismos que no puede tener otro.
- Sentido de unidad: Es el atributo que unifica todos los anteriores. Pese a estar formado por distintos subsistemas, uno tiene la impresión de ser *uno*, un individuo.

El *uno mismo* surge entonces por la interacción dinámica de estos subsistemas neurológicos. Cuando pensemos en subsistemas, no debemos pensar en circuitos neuronales que tienen una única y cercana localización en el cerebro; pueden ser circuitos, como describimos para el caso de la libertad, con una dispersión espacial y una interconexión compleja. Podemos pensar en estos atributos o subsistemas como las siete patas de una mesa (figura 66): alguna puede romperse parcial o totalmente y tal vez el *uno mismo*, como en el caso de Jason por momentos, siga estable, sin caerse. Pero no pueden *fallar* muchos subsistemas simultáneamente sin que el *uno mismo* empiece a tambalearse fuertemente y eventualmente desaparezca.

No está de más volver a enfatizar que este *uno mismo* surge de la complejísima interacción en tiempo y espacio; hay interconexiones neuronales definidas y efectos con relaciones temporales, pero finitas, y por lo tanto comprensibles. Nuestro actual grado de conocimiento no nos permite tener un modelo acabado de esas interacciones –en realidad estamos muy lejos de alcanzarlo–, pero muy lejos es muy diferente de imposible.

Figura 66. Atributos del *uno mismo*

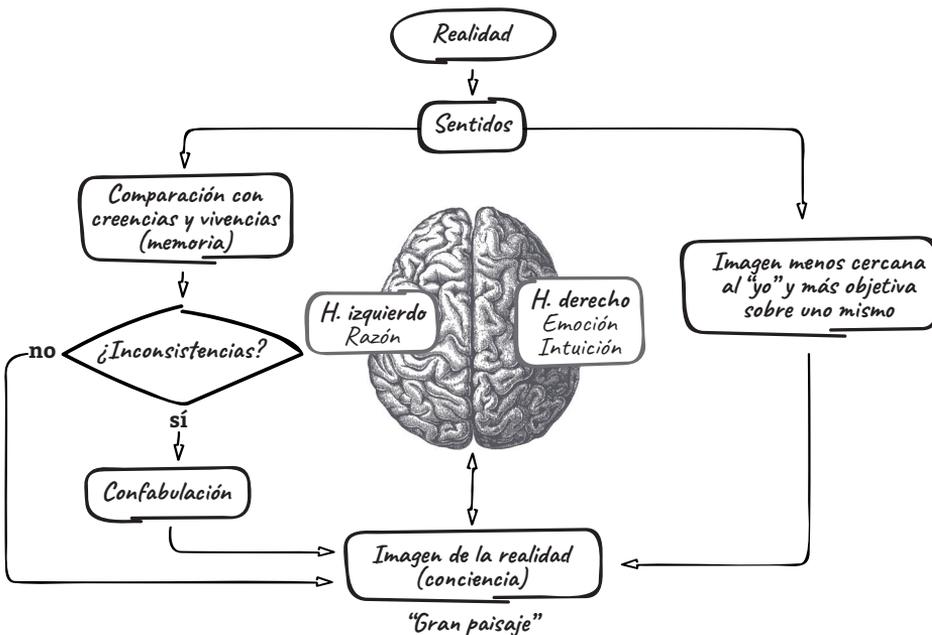


Fuente: elaboración propia.

Volviendo sobre el punto de partida de esta sección, que planteaba que la conciencia es la capacidad de asignación de sentido a las cosas, es interesante discutir cómo es la interacción entre los dos hemisferios cerebrales en ese ejercicio de asignación de sentido, y por lo tanto en la creación consciente y coherente de nuestra realidad. Nuestros sentidos toman algunas características de la realidad, como por ejemplo cómo reflejan la luz los objetos, la emisión de ondas mecánicas en el aire (sonido), la presencia de ciertas moléculas volátiles (olores), o las características físicas de su superficie (tacto). Esos *datos de la realidad* llegan a nuestro cerebro y son procesados en forma paralela, tanto en nuestro hemisferio izquierdo, más relacionado con la razón, como en nuestro hemisferio derecho, relacionado con la intuición y las emociones. El hemisferio izquierdo se encarga de crear una *imagen coherente* entre esos datos de la realidad y los que tenemos en nuestro banco de memoria. Hay que aclarar que en nuestra memoria reside no solo un montón de información puntual (el color de las hojas de los árboles, el registro del canto de los pájaros, etcétera), sino también información sistematizada en forma de creencias y vivencias (experiencias amorosas de nuestros padres, creencias religiosas, y otras). Si la información que percibimos (por ejemplo el color de las hojas de los árboles) coincide con nuestro banco de datos (las hojas son verdes en pri-

mavera y en verano), esa información (fundamentalmente procesada por nuestro hemisferio izquierdo) constituye lo que podríamos llamar *el gran paisaje de la realidad* (figura 67). Ahora, imaginemos que lo que nos llega como estímulo es algo más complejo que la percepción del color de las hojas de los árboles; por ejemplo, estamos teniendo una discusión con nuestra mujer que nos dice que somos unos obsesivos con el trabajo y que le dedicamos mucho tiempo, restando dedicación a la familia (toda similitud con la realidad es pura coincidencia...). Toda esa información: el discurso, los gestos y la mirada de la persona con la que estamos teniendo la discusión son procesados nuevamente en forma paralela por nuestros dos hemisferios: el izquierdo coteja esa información con nuestro banco de datos, donde tenemos una *imagen armada sobre nosotros mismos*. Es altamente probable que esa imagen no se corresponda con la realidad y que sea una imagen de *padre dedicado y marido excepcional*. ¿Qué ocurre? Ante esa inconsistencia entre la realidad (la opinión de mi mujer) y mi banco de datos, el hemisferio izquierdo tiene un mecanismo que se llama *confabulación* y que consiste en crear información falsa o manipular la existente para suavizar o limitar las incoherencias entre los datos de la realidad y los datos almacenados.

**Figura 67.** Procesamiento de la información por los dos hemisferios cerebrales



Fuente: elaboración propia.

En general este mecanismo funciona en forma moderada, y la *tergiversación* de la realidad suele ser leve. El procesamiento de la realidad que hace el hemisferio derecho permite balancear esos desvíos, porque este hemisferio es más independiente de nuestras creencias y vivencias y por lo tanto *un poco más objetivo*, haciendo las veces de abogado del diablo. El sentido evolutivo del mecanismo de confabulación es tratar de estabilizar nuestro comportamiento e imponer un sentido de coherencia a nuestras vidas, a expensas por supuesto de algunas distorsiones de la realidad. Es interesante enfatizar entonces cómo la imagen de la realidad que construimos está mediada por procesos neurológicos específicos, basados en circuitos neuronales determinados.

Una evidencia a favor de esta interpretación de la construcción del *sentido de las cosas* es analizar lo que ocurre en un desorden denominado anosognosia. Esta enfermedad está relacionada con la negación de una discapacidad física, pero veamos el caso concreto que V. Ramachandran plantea, de una paciente llamada Nora.<sup>3</sup> Nora tuvo un ataque cerebral en el hemisferio derecho, que dejó el lado izquierdo de su cuerpo paralizado. Cuando el ataque es sobre la región frontoparietal, como en el caso de Nora, el sistema que funciona como *abogado del diablo* en el hemisferio derecho queda desactivado, permitiendo que el hemisferio izquierdo lance el mecanismo de confabulación llegando hasta límites absurdos. Cuando los médicos le pedían que tocara su nariz con su brazo izquierdo paralizado, Nora afirmaba que lo estaba realizando, aunque obviamente su brazo izquierdo no se movía. Su mecanismo de confabulación se había disparado para suavizar la realidad de haber sufrido un ataque cerebral, y como el mecanismo compensador del hemisferio derecho estaba dañado, las *mentiras* desarrolladas por el hemisferio izquierdo eran llevadas hasta límites máximos.

A mí me parece que esta experiencia nos permite sacar un corolario interesante. La conciencia de Nora, es decir, el mecanismo de creación de una imagen de la realidad y de asignación de sentido no funciona porque Nora sufrió un ataque cerebral que alteró una parte de ese complejo circuito neuronal. No hay algo llamado *alma de Nora* que permanece *intacto* por debajo de sus circuitos neuronales, son sus circuitos neuronales los que constituyen el *alma de Nora*, en todo caso un alma biológica y por lo tanto mortal.

## ¿Existió entonces una evolución de la mente?

Charles Darwin en 1871, cuando escribió *El origen del hombre*, estableció con firmeza la idea de que los hombres son versiones evolucionadas de los primates. Darwin proponía la hipótesis de que no solo los rasgos anatómicos sino también las habilidades cognitivas experimentaron un proceso evolutivo. Es decir, lo que

---

3 V. Ramachandran. *The Tell Tale Brain*, capítulo 9 “An Ape with a Soul: how introspection evolved”. Nueva York: Norton & Company Ltd., 2011.

planteaba es la idea de un “gradualismo” en muchas de las funciones que consideramos entre las más propias de los humanos. De acuerdo con su visión somos una versión ultramejorada de características ya preexistentes en nuestros antecesores. Algunas características que a Darwin le llamaron la atención estaban asociadas a habilidades como la imitación, la atención, la toma de decisiones, el uso de herramientas, la memoria, la asociación de ideas, la autorreflexión, pero también destacaba la evolución de características emocionales como los celos, la ambición y el agradecimiento.

La pregunta que surge entonces acerca de lo que Darwin plantea es: ¿efectivamente lo que consideramos habilidades cognitivas y emocionales humanas existen en estado primitivo en otros animales?, ¿o esas habilidades deben considerarse como exclusivas de nuestra especie? Como mencionaba en el punto anterior, desde la filosofía, y fundamentalmente desde la religión, se ha tendido a considerar estas habilidades cognitivas de la mente como exclusivamente humanas, estableciendo un *salto fundamental (fundamental gap)* de estas habilidades entre los animales inferiores y el hombre. El caso extremo de este dualismo en Occidente es el pensamiento teológico cristiano, que propone la *inserción* de un alma en el momento de la concepción humana.

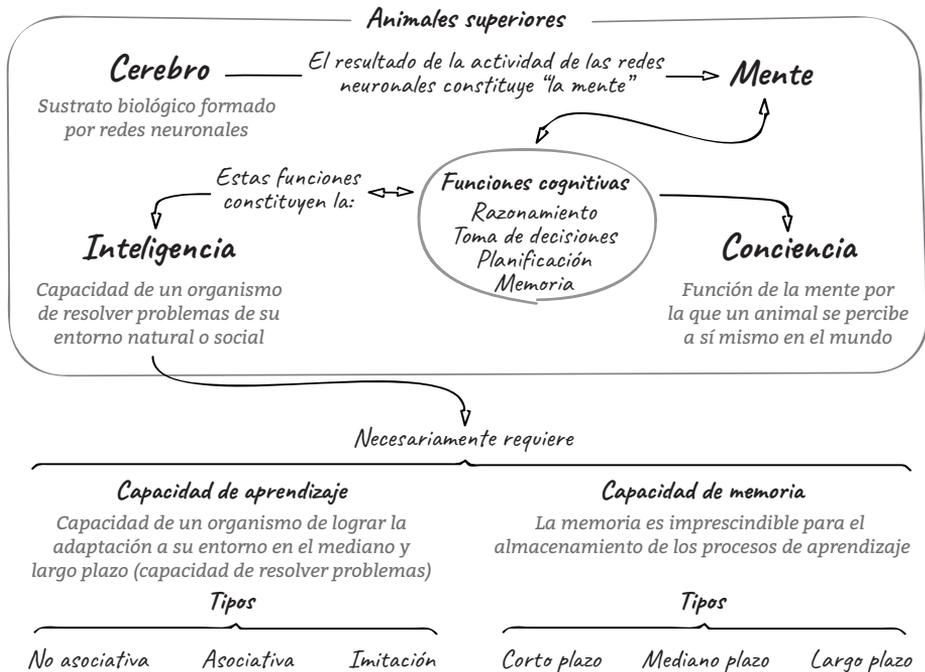
De todas maneras es necesario reconocer que aun partiendo de la premisa de que los animales poseen algún tipo de mente, hay algunas diferencias cualitativas significativas entre la mente humana y la de los primates más cercanos (como mejor ejemplo de desarrollo). El lenguaje sintáctico-gramatical, la autoconciencia, la moralidad, la religión, el arte y la ciencia son habilidades humanas para las cuales parecen no existir antecedentes obvios en el resto del reino animal. Entonces, partiendo de la hipótesis transitoria de que la mente humana pudo haber surgido como resultado de la evolución material, las preguntas que podríamos hacernos son: ¿existe alguna evidencia de este proceso?, ¿cómo pudo haber ocurrido?

Para intentar esbozar una respuesta establezcamos primero algunas definiciones.

## Mente, inteligencia y cerebro

El diccionario de la Real Academia Española en la primera acepción de la palabra *mente* parece tomar posición por una concepción dualista, al decir que la mente es *potencia intelectual del alma*. Sin embargo, la segunda acepción parece congraciarse un poco más con posiciones un poco más liberales sobre este tema, al definir mente como *designio, pensamiento, propósito o voluntad*. De esta forma la palabra mente parece referir a un conjunto de funciones cognitivas como el razonamiento, la toma de decisiones, la planificación y la memoria (figura 68) que son características de los humanos, pero que también existen en otros animales.

**Figura 68.** Relación entre cerebro y mente, inteligencia y conciencia



Fuente: elaboración propia.

Lo que parece resultar claro es que el término *mente* refiere entonces a un conjunto de funciones cognitivas cuyo sustrato biológico es el cerebro. Los dualistas dirían en este punto que si bien el cerebro es el sustrato biológico, es el *alma* la que introduce esa *potencia intelectual* en el cerebro. Los defensores de posiciones *funcionalistas* (como yo), solo dirán que la función es consecuencia directa de los procesos biológicos que operan en los circuitos neuronales del cerebro. Esas funciones cognitivas constituyen lo que habitualmente denominamos *inteligencia* y que está relacionada con la capacidad de resolver problemas (figura 68).

La *inteligencia* solo es posible, en primer lugar, asociada a la capacidad de aprendizaje, entendida esta última como la capacidad de un organismo de adaptación a su entorno a través de la resolución de problemas. En segundo lugar, el proceso de aprendizaje requiere un *sistema de almacenamiento* o *memoria* para que ese aprendizaje sea acumulativo y sirva para la resolución de otros problemas.

Vamos a hacer una distinción entre el término *inteligencia* y *conciencia*, diciendo que esta última es una función cognitiva de la mente por la que un sujeto se percibe a sí mismo en el mundo. Digo sujeto porque parece difícil probar que otros animales tengan conciencia, ya que no podemos interrogarlos directamente.

te. De todas maneras, veremos que no es imposible y que podemos establecer algunas evidencias indirectas sobre los estados de conciencia en otros animales distintos del hombre.

Entonces la pregunta que podríamos hacernos en primer lugar es: ¿los animales tienen inteligencia? No es muy difícil encontrar evidencias que indican la existencia de la capacidad de otras especies de resolver problemas, y no estoy hablando de nuestros primos más cercanos, los chimpancés y los orangutanes, estoy hablando de especies bastante más lejanas a nosotros como los pulpos. Solo por poner un ejemplo que tal vez hayan visto en el canal Encuentro, hay un documental hecho en base al estudio de un grupo de biólogos marinos de la Comunidad Gallega, España (no es un chiste sobre el pulpo a la gallega), donde se puede ver a una serie de pulpos del mar Cantábrico resolver problemas, como por ejemplo el de abrir un frasco con tapa a rosca para extraer un cangrejo (alimento) que se encontraba adentro.

Entonces, la siguiente pregunta que podríamos hacernos es: además de inteligencia, ¿existe algún grado de conciencia en el resto del reino animal? Recordemos que habíamos definido conciencia como la función cognitiva de la mente por la cual un sujeto se percibe a sí mismo en el mundo. Por supuesto que si por sujeto nos referimos a un humano sería un poco más sencillo preguntarle si se percibe a sí mismo en el mundo, pero ¿cómo le preguntamos eso a un gato o a un pulpo? Aquí viene en nuestro auxilio el biólogo Gerhard Roth,<sup>4</sup> que plantea que cada función mental tiene asociada a su vez una serie de subfunciones (o funciones asociadas) que son un poco más fácilmente identificables. Estas subfunciones son: el conocimiento de nuestro cuerpo, el conocimiento de la realidad, el conocimiento autobiográfico, el conocimiento del control de pensamientos y acciones, y todas estas funciones se despliegan en el tiempo y en el espacio. A su vez, la conciencia puede tener diferentes modos: vigilancia, fatiga, ansiedad, enojo, tranquilidad, y suele activarse en los humanos cuando es necesario, es decir *no está prendida todo el tiempo*. En general se activa cuando es necesario lidiar con *información compleja* de forma detallada, y en el contexto de la comprensión, planificación o la comunicación.

El punto de la conciencia como atributo exclusivamente humano es un aspecto muy sensible en el discurso de los apologistas cristianos, como por ejemplo Dinesh D'Souza. Veamos qué plantea este autor sobre la posibilidad de la existencia de conciencia en otras especies:

Consciousness has no good evolutionary explanation either. Psychologist Nicholas Humphrey argues in *Consciousness Regained* that consciousness helps us to be aware of how other are thinking so that we can better cooperate with them in getting food and avoiding predators. But millions of other creatures, from amoebas to bacteria to insects, manage to survive without, as far as we can tell, being conscious. In fact, con-

4 Gerhard Roth. *The Long Evolution of Brain and Mind*. Dordrecht, Alemania: Springer, 2013.

consciousness is not required for any of the activities that humans need for survival and reproduction.<sup>5</sup>

*Traducción:* La conciencia no tiene ninguna buena explicación evolutiva. El psicólogo Nicholas Humphrey argumenta en su libro *Consciousness Regained* que la conciencia nos ayuda a entender cómo los demás están pensando para que podamos cooperar mejor con ellos con el objetivo de conseguir alimentos o evitar predadores. Pero millones de otras criaturas, desde las amebas y las bacterias a los insectos, se las arreglan para sobrevivir, hasta donde podemos entender, sin conciencia. En realidad, la conciencia no se requiere para ninguna de las actividades que necesitan para sobrevivir y reproducirse.

En otro párrafo de este mismo libro afirma: “But whether Chalmers is right or not, we are quite safe in concluding that consciousness lies beyond all known scientific laws and explanations” (Pero si Chalmers está acertado o equivocado, estamos bastante seguros en concluir que la conciencia reposa más allá de todas las explicaciones y leyes de la ciencia).

Veamos si estas afirmaciones son ciertas.

## **El problema de la aparición de la mente y la conciencia en un contexto evolutivo**

Lo que voy a intentar plantear respetuosamente aquí es el contrapunto con las ideas del párrafo anterior, donde se afirma que el fenómeno de la conciencia es un fenómeno exclusivamente humano. Este asunto en mi opinión es fundamental, porque si esa afirmación no es verdadera, y la conciencia es una función cognitiva gradual en el reino animal y por lo tanto no es exclusiva del hombre, entonces el hombre no tiene alma (en el sentido de los apologistas cristianos que sostienen que la conciencia es animada por el alma), por lo tanto no hay inmortalidad, por lo tanto es bastante improbable que exista Dios (no puedo ni imaginarme la injusticia de un Dios inmortal y un hombre mortal).

Pero vayamos por partes. ¿Puedo mostrarles algún argumento definitivo para respaldar mis afirmaciones? Por supuesto que no, lo único que puedo hacer (en realidad: la ciencia) es mostrar una serie de hechos y que ustedes intenten (ya no en una acción científica, sino más bien de reflexión filosófica) hilvanar con el hilo de un sentido integrador esos hechos.

Déjenme simplificar las distintas teorías que existen sobre el problema de la relación entre la mente y la conciencia (o alma), que están muy bien descritas en el libro de Gerhard Roth *The long evolution of brains and minds*, ya citado. En principio hay dos posiciones claramente diferenciadas: por un lado, el dualismo

---

<sup>5</sup> Dinesh D’Souza. *Life after Death. The evidence*. Regnery Publishing, 2009. Edición en formato Kindle.

que considera que la mente (conciencia o alma) es ontológicamente diferente de su sustrato biológico (el cerebro) y no obedece a las leyes naturales. Por otro lado tenemos al monismo, que sostiene que la actividad de la mente, es decir sus funciones, es consecuencia de la fisiología cerebral, como lo pone de manifiesto la desaparición selectiva de ciertas funciones con ciertas enfermedades neurológicas.

El dualismo presupone un principio inmaterial que *anima* la actividad de nuestro sistema nervioso. Descartes ya postulaba que esta animación estaba fuera de la causalidad física y que poseía una propia causalidad mental. Por supuesto, como esto era posible, Descartes no lo explicaba. Leibniz y Kant también fueron dualistas. El premio Nobel de Fisiología John Eccles propuso que la relación mente-sistema neurológico era recíproca y ocurría en la corteza cerebral. Hay que reconocer que en lo que el dualismo es eficaz es en sostener la idea de que nuestros pensamientos y emociones son entidades muy diferentes de las entidades del mundo material, y por lo tanto parece responder en alguna medida el interrogante del origen de las funciones de la mente.

Una mezcla particular de monismo y dualismo la constituye el emergentismo, que propone que hay propiedades de un sistema complejo que no pueden explicarse a partir de las propiedades de los subsistemas componentes, y por lo tanto emergen como propiedades nuevas. Entre sus defensores estaba Karl Popper, quien creía en el origen natural de la mente, pero sostenía que en determinado momento de la evolución algunas propiedades nuevas del cerebro emergieron constituyendo la mente, que por lo tanto trascendió al mundo natural, pero con una transcendencia natural, no divina. El biólogo y filósofo Konrad Lorenz (premio Nobel de Fisiología 1973) denominaba a ese proceso de transcendencia natural *fulguración*.

Por otro lado, el monismo (naturalismo o materialismo biológico), contrariamente, propone que no hay una diferencia ontológica entre la mente y su sustrato biológico, y por lo tanto esa relación puede ser descripta usando el método científico. Hay una versión más orientalizada del monismo que se denomina pansiquismo, que contaba entre sus seguidores a Spinoza, Leibniz, Bertrand Russell y Einstein. Esta teoría propone que hay un psiquismo innato en la materia, de forma tal que aun la materia más sencilla tiene algún grado de actividad psíquica.

Entonces la pregunta que podríamos hacernos es: ¿es posible encontrar algún tipo de argumento objetivo que nos permita inclinarnos por alguna de estas teorías? Es lo que intentaremos hacer en los próximos párrafos.

Vamos a tratar de encontrar los rastros de la evolución de la mente en la historia de la aparición de la vida en nuestro planeta, siguiendo la afirmación de Gerhard Roth: *la mente comienza con la vida*. Para entender esta afirmación probablemente sea bueno empezar pensando cómo definir la vida, o más acotadamente, qué es un ser vivo. Pero como habíamos visto en el comienzo del capítulo

5, definir a un ser vivo no es un problema sencillo.<sup>6</sup> Es difícil encontrar características que sean lo suficientemente generales como para definir a un ser vivo. Por ejemplo, la característica más elemental, que es la reproducción, no se aplica a una mula, que es estéril, pero sí se puede aplicar a una PC que autorreplique los datos de su disco rígido. Si bien, como ven, definir *algo vivo* no es sencillo, algunas de las características generales que podríamos asignar a los seres vivos podrían ser las siguientes:

- Autoproducción: elaboración de las moléculas necesarias para desarrollar todas las funciones vitales (por ejemplo moverse, reproducirse).
- Autoensamblado: es la asociación de estas moléculas (biomoléculas) en procesos con etapas concatenadas (sucesivas); es lo que denominamos ciclos biológicos.

De esta forma podemos pensar que un ser vivo, por ejemplo la bacteria más sencilla, es un sistema que mantiene un estado de orden determinado (figura 69), a expensas de desordenar moléculas orgánicas que toma del medio, y transformarlas en moléculas más sencillas como agua y dióxido de carbono. Es lo que los químicos denominamos mantener la variación de entropía en cero ( $\Delta S=0$ ), es decir no desordenarnos. Esto tiene que ver con el segundo principio de la termodinámica, que dice que la variación de la entropía del universo (es decir, la variación del desorden del universo) es mayor que cero: es decir, el universo se desordena. Es una afirmación bastante razonable, solo pensemos en la expansión del universo conocido y tendremos un ejemplo de este principio.

**Figura 69.** Isoentropismo y necesidad de un sistema de procesamiento de la información (SPI) en un organismo vivo



Fuente: elaboración propia.

<sup>6</sup> Ver por ejemplo: a) S. Tirard, M. Morange, A. Lezcano. "The Definition of Life: A brief History of an Elusive Scientific Endeavor". *Astrobiology* 10, 1003-1009, 2010; b) M. A. Bedau. "An Aristotelic Account of Minimal Chemical Life". *Astrobiology* 10, 1011-1020, 2010; c) S. A. Benner. "Defining Life". *Astrobiology* 10, 1021-1030, 2010.

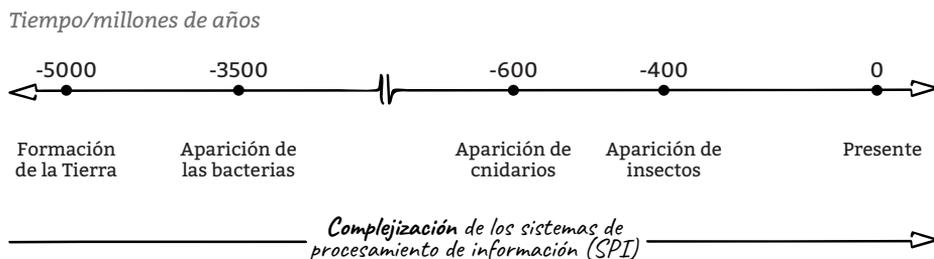
La pregunta siguiente sería: si el universo tiende al desorden, ¿cómo es que pueden existir cosas tan ordenadas como los seres vivos? No hay contradicción desde la perspectiva del segundo principio de la termodinámica, puede existir el orden en forma localizada, mientras en el balance entre ese orden localizado y el desorden que lo rodea gane el desorden. Ahora, para que pueda aparecer un sistema con un grado de orden significativo y ese orden se mantenga, ese sistema debe desordenar el entorno (lo que lo rodea). Eso es lo que hace una bacteria (figura 69), al transformar fuentes químicas complejas en sencillas, o fuentes energéticas ordenadas en desordenadas (por ejemplo, luz en calor). Pero para poder realizar estas funciones (generar un flujo de materia y energía), los organismos vivos tienen que tener lo que podemos denominar *sistema de procesamiento de la información* (SPI, figura 69).

El SPI es la parte de los seres vivos que permite asegurar esos flujos de materia y energía en el sentido orden-desorden, de forma de poder mantener su propio estado de entropía. Este SPI es el origen evolutivo de nuestros cerebros, y voy a tratar de mostrarles a través de tres ejemplos concretos cómo fueron evolucionando y adquiriendo nuevas funciones.

## La evolución de los sistemas de procesamiento de la información

Déjenme plantearles tres ejemplos de la evolución del SPI a lo largo de la historia de la aparición de la vida en nuestro planeta, para poder tener una perspectiva de la dirección de esta evolución. Lo que intento decir es que los SPI evolucionaron gracias al mecanismo de evolución natural, y con ellos evolucionaron las propiedades que esos SPI eran capaces de ejecutar. Veamos entonces tres momentos de esa línea evolutiva: la aparición de las bacterias, de los cnidarios (medusas) y de los insectos.

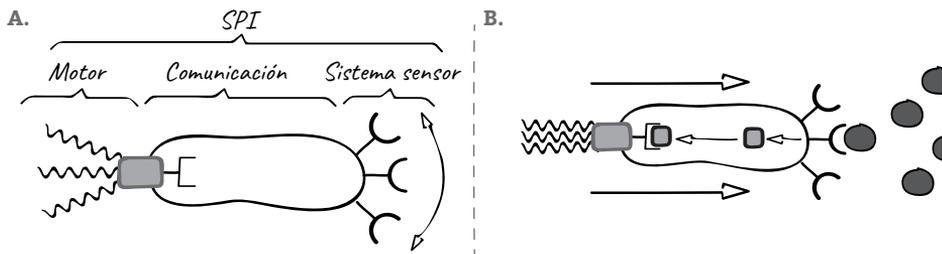
**Figura 70.** Evolución de los sistemas de procesamiento de la información



Fuente: elaboración propia.

Empecemos con el ejemplo más sencillo, una simple bacteria, la *Escherichia coli* (¿3500-3000 millones de años?). Parece difícil pensar que un organismo formado por una sola célula tenga un SPI, pero así es. El SPI de la *Escherichia coli*, como casi todos los SPI, está formado por un *sistema sensor*, un *sistema motor* y un *módulo de comunicación* (figura 71). El sistema sensor *mide* la presencia de un determinado estímulo; en el caso de la bacteria, por ejemplo, la presencia de alguna molécula orgánica que pueda ser utilizada como nutriente, como por ejemplo el ácido pirúvico. El sistema motor está formado por una serie de cilias (pelitos) que le permiten a la bacteria nadar en los medios líquidos en los que habita. ¿Cómo funciona el SPI de la bacteria?: en ausencia de piruvato (el nutriente) el receptor de su membrana (específico para piruvato) no genera moléculas que puedan ser reconocidas por un receptor que está acoplado al sistema motor (figura 71, representado por el receptor con forma de C unida a la caja gris del motor).

**Figura 71.** Sistema de procesamiento de la información de la *Escherichia coli*



Fuente: elaboración propia.

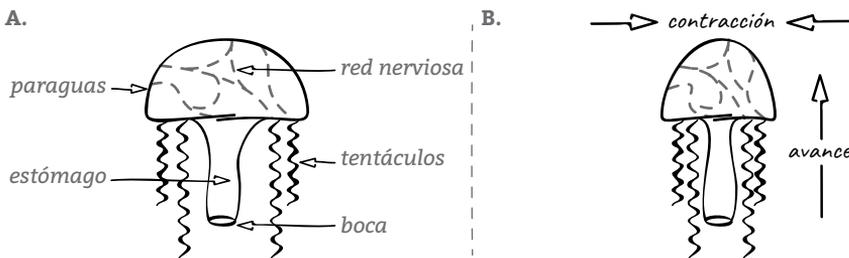
El receptor del sistema motor (representado por la cajita rectangular en la figura 71, A) en esas condiciones genera un movimiento aleatorio de las cilias que produce que la bacteria tenga un movimiento *al azar* en el medio líquido. Pero ¿qué ocurre si en alguno de esos devaneos un receptor se encuentra con una molécula de piruvato (representada por los círculos grises en la figura 71, B)? El receptor de piruvato sintetiza una señal química (representada por el cuadrado gris oscuro de la figura 71, B), que ahora sí es interpretado por el receptor del sistema motor, produciendo un movimiento sincronizado de todas las cilias, que provoca un movimiento hacia adelante, es decir en la dirección hacia donde se encontró el nutriente. Este maravilloso SPI se reproduce con variantes en cuanto a los estímulos (nutrientes, productos tóxicos, luz) y las distintas reacciones químicas involucradas en el módulo de comunicación. Me gustaría enfatizar el hecho de que en el caso de los sistemas unicelulares no quedan muchas alternativas más que tener un módulo de comunicación de naturaleza química.

Si bien buena parte de la biomasa de nuestro planeta sigue estando constituida por organismos unicelulares, hace unos 2700-2500 millones de años aparecieron los primeros organismos multicelulares.

En los organismos multicelulares el funcionamiento de los SPI se vuelve un poco más complejo. Si bien podemos encontrar órganos sensoriales y motores, es muy difícil que los módulos de comunicación funcionen exclusivamente en base a intermediadores químicos: las distancias a cubrir por el módulo de comunicación son muy grandes y es necesario desarrollar estrategias de comunicación *rápidas* para que sean eficaces. Aparecen así los primeros *sistemas nerviosos*, es decir, un conjunto de células que se especializan en la función de comunicación entre un sistema sensor y uno motor.

Probablemente las esponjas (o poríferos) sean los organismos multicelulares que aparecieron primero, como consecuencia del agregamiento de organismos unicelulares flagelados, que al principio formaron colonias donde todavía cada célula mantenía su independencia, pero donde las funciones cooperativas fueron imponiendo una presión de selección que hizo que esas *colonias de organismos unicelulares* se transformaran en un verdadero organismo multicelular. En las esponjas no existe un *sistema nervioso* que organiza a la esponja como un todo, pero existen en los poros de su tejido un tipo de células denominadas miocitos que funcionan abriendo y cerrando esos canales, que sirven para que pasen los nutrientes. Es decir, la esponja es un organismo multicelular que no tiene sistema nervioso, pero que ha especializado parte de sus células para *sensar, abrir y cerrar* los canales por donde circulan los nutrientes.

**Figura 72.** Sistema nervioso sin ganglio de las medusas



Fuente: elaboración propia.

Otro de los ejemplos más antiguos de organismos multicelulares, ahora sí con sistema nervioso, es el de los celenterados (o antiguamente cnidarios, 500-600 millones de años), entre los que están nuestras conocidas medusas. Si bien en el caso de las medusas hay un sistema nervioso, ese sistema nervioso no está centralizado, es decir, no hay nada parecido a un *ganglio* o *cerebro*, sino simplemente

es un sistema tipo red, que inerva todo el cuerpo contráctil de la medusa, denominado paraguas (figura 72), y que es el que le permite a ese tejido muscular tener un movimiento organizado de contracción y relajación de forma que la medusa pueda avanzar con la elegancia que la caracteriza.

Es interesante destacar que este es el primer ejemplo de un organismo multicelular cuyo sistema nervioso articula las funciones de un conjunto de células, y ese sistema requirió el desarrollo de un tipo de célula especial, la neurona, que utiliza en forma alterna la transmisión eléctrica y la química. Así, el sistema nervioso difuso de las medusas comunica sus células sensoriales (de posición: estato-cistos, y fotorreceptores: ocelos) ubicadas en la parte superior del paraguas, con un sistema motor complejo, formado por una cantidad importante de células, de forma que pueda desplazarse con *conciencia de su posición relativa*.

Avancemos sobre el tercer ejemplo de evolución de los SPI: el sistema nervioso de los insectos. Los insectos, o más propiamente hexápodos (dado que todos tienen tres pares de patas), constituyen el grupo animal con mayor cantidad de especies (aproximadamente 10 millones) en nuestro planeta, la mayoría de ellas terrestres, pudiendo ser alados o no. El cuerpo de los insectos tiene una clara división en cabeza, tórax y abdomen (cosa que no ocurría con los cnidarios), y en su cabeza aparecen órganos sensitivos complejos constituidos fundamentalmente por un par de ojos compuestos y un par de antenas (órganos mecanosensibles y olfativos). En el tórax se implantan los tres pares de patas o eventualmente las alas (si fueran insectos voladores).

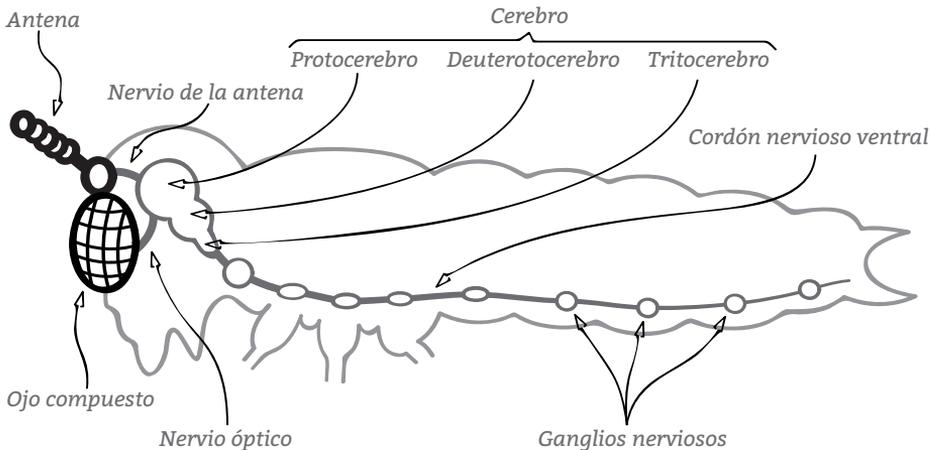
A diferencia de las medusas, cuyo sistema nervioso es radial, y no hay un *órgano nervioso centralizado* (figura 72), en los insectos aparece un cerebro, es decir una acumulación neuronal estructurada con circuitos nerviosos definidos (figura 73). Este fue un gran paso en la evolución de los SPI. El cerebro de los insectos está dividido en tres partes: el protocerebro, el deutocerebro y el tritocerebro (figura 73). Estas tres partes no son otra cosa más que ganglios desarrollados. En el protocerebro hay dos hemisferios que están conectados a los ojos a través del nervio óptico y a las antenas a través de su correspondiente nervio. Es el protocerebro el que desempeña la función de *integrar* los estímulos externos y desencadenar *respuestas* ante estos estímulos. El cerebro de los insectos está conectado a un cordón nervioso ventral con ganglio, que establece el control motor de sus patas y eventualmente de las alas.

Fíjense que esta arquitectura de SPI es más compleja que en el caso de las medusas, existen aglomeraciones neuronales con circuitos definidos, y por lo tanto aparece la posibilidad de funciones más complejas que en las medusas. Con esta organización cerebral algunos insectos pueden desplegar procesos de aprendizaje y habilidades cognitivas. Por ejemplo, se puede condicionar a una abeja (es decir, enseñarle) a que establezca una relación entre un olor (por ejemplo el olor a zapatilla vieja) y una solución de azúcar; es decir, las abejas responden a experimentos de condicionamiento clásico, como los conocidos experimentos de Pavlov con perros.

Dos neurofisiólogos alemanes, Martin Hammer y Randolph Menzel, descubrieron que el funcionamiento de una neurona especial (VUMmx1) en el cerebro de las abejas relaciona el centro de estímulo del placer con el proceso de aprendizaje, permitiendo entonces establecer relaciones entre el olor de una flor y su contenido de néctar. Por otro lado, Giurfa y Menzel descubrieron que las abejas son capaces de desarrollar, en alguna medida, aprendizaje categórico, es decir distinguir propiedades generales de un grupo de objetos, como que tengan rayas verticales o que sean cuadrados. Esto es interesante porque implica que el cerebro de las abejas tiene que tener una memoria de trabajo (como la memoria RAM de una computadora) de al menos unos segundos.

Otra capacidad maravillosa de las abejas, y consecuencia de la complejidad de su SPI, es la de la ubicación espacial de las flores ricas en néctar y la transmisión de esta información al resto de las abejas obreras. Este fenómeno fue estudiado sistemáticamente por quien puede considerarse el padre de la etología animal, Karl von Frisch, que obtuvo el Premio Nobel de Biología en 1973. Frisch descubrió que las abejas exploradoras utilizan movimientos en forma de *danza* para comunicar a otras abejas los datos de ubicación (dirección y distancia) y de atractivo (cantidad de néctar) de las flores. Esta información está codificada en los distintos movimientos que llevan adelante las abejas exploradoras.

**Figura 73.** Sistema nervioso con ganglios (cerebro) en los insectos



Fuente: elaboración propia.

7 a) M. Giurfa. "Cognitive Neuroethology: dissecting non-elemental learning in honeybee brain". *Curr. Opin. Neurobiol.* 13, 726-735, 2003; b) R. Menzel, M. Giurfa. "Cognitive architecture of a mini-brain: the honeybee". *Trend Cogn. Sci.* 5, 62-71, 2001.

Vemos así que el pequeño cerebro de las abejas, que tiene aproximadamente un millón ( $10^6$ ) de neuronas es capaz de realizar funciones cognitivas relacionadas con el condicionamiento clásico, la capacidad de aprender, la ubicación espacial y la transmisión de información a otros congéneres. Estas funciones son claramente más complejas que las que puede llevar adelante el sistema nervioso de una medusa, que carece de un SPI centralizado. Entonces, si el simple cerebro de la abeja con  $10^6$  neuronas puede hacer lo que acabamos de describir, ¿no es razonable pensar que un cerebro con muchas más neuronas y circuitos neuronales va a ser capaz de realizar funciones todavía más complejas?

Pero entonces las funciones cognitivas superiores, como la conciencia, ¿están presentes en algunos otros miembros del reino animal? Ya habíamos visto que inteligencia y conciencia eran funciones diferentes, y que esta última tenía que ver con la percepción de uno mismo en el mundo. De esta forma, uno de los experimentos más clásicos para evaluar un grado elemental de conciencia es el reconocimiento de la propia imagen en un espejo. Esto quiere decir que el sujeto debe darse cuenta de que lo que ve es una imagen de sí mismo. Este experimento ha sido realizado con cierto grado de éxito con distintas especies, como chimpancés,<sup>8</sup> delfines<sup>9</sup> y elefantes.<sup>10</sup> Estos resultados indican que la capacidad de autorreconocimiento es una propiedad que tiene que haber evolucionado varias veces en forma independiente en los vertebrados, dada la distancia biológica que existe entre los chimpancés, los delfines y los elefantes (no es posible pensar en un antepasado común que compartiese esta función cognitiva).

Recientemente se ha mostrado –al menos en forma parcial– que los chimpancés y los delfines comparten con los humanos la conciencia sobre lo que saben y lo que desconocen (metacognición), hecho descubierto a través de una serie de experimentos donde se puso de manifiesto la capacidad de dudar. En estos experimentos se sometió a los animales a una serie de ensayos de distinción de patrones (por ejemplo, tonos musicales), donde la diferencia entre los patrones se hizo cada vez de forma más sutil. Cuando los sujetos reconocían la diferencia de patrones eran recompensados (con comida), dándoles además la posibilidad no solo de reconocer la diferencia (a través de la presión de dos botones diferentes) sino también de expresar duda (a través de la elección de un botón comodín). En los experimentos realizados con estas dos especies la elección de los comodines (es decir, la expresión de la duda por el reconocimiento de patrones) coincidió con el nivel en el cual sujetos humanos expresaban la misma duda en la diferencia del reconocimiento de los patrones.<sup>11</sup>

---

**8** G. G. Gallup. “Chimpazees: self-recognition”. *Science* 167, 86-87, 1970.

**9** D. Reiss, L. Marino. “Mirror self recognition in the bottlenose dolphin: a case of cognitive convergence”. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 98, 5937-5942, 2001.

**10** J. M. Plotnik, F. B. M. de Waal, D. Reiss. “Self-recognition in an Asian elephant”. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 103, 17053-17057, 2006.

**11** J. D. Smith. “The study of animal metacognition”. *Trends. Cogn. Sci.* 13, 389-396, 2009.

Con lo que he presentado torpemente hasta aquí (pero que se encuentra desarrollado con profusa bibliografía en el libro de G. Roth), creo que es posible afirmar la existencia tanto de inteligencia como de cierto tipo de conciencia distribuidas ampliamente en el reino animal. Cuando digo ampliamente me refiero, como indicaba en párrafos anteriores, a especies con antepasados comunes muy lejanos. Esto implica que estos niveles de inteligencia y conciencia tienen que haber evolucionado independientemente varias veces. Ahora, si bien es posible observar una tendencia general que indica que existen más funciones cognitivas cuanto más complejo es el SPI (cerebro), esta relación está muy lejos de ser lineal, y aparecen irregularidades en su gradualismo a medida que nos acercamos a animales con una relación evolutiva más cercana a la humana.

Pero entonces, si ciertos grados de inteligencia y conciencia son posibles en animales no humanos, la pregunta que podríamos hacernos es: ¿es entonces el ser humano único?, y si la respuesta fuera afirmativa, ¿de qué forma lo es?

## **Lo esencialmente humano. La cultura como mecanismo de evolución extragenómico**

Según Julio Moreno, lo que nos caracteriza más profundamente, *lo humano de lo humano es la autogeneración del cambio*.<sup>12</sup> Por ello, la especie humana es la primera en el planeta en no permanecer en un *estado de equilibrio* en su nicho ecológico. A diferencia de los tiburones, que evolucionaron hasta adaptarse perfectamente al medio ambiente y luego *no cambiaron*, los humanos tienen como su propia esencia el provocar el cambio continuo, cosa que nos afecta tanto a nosotros mismos como al resto del planeta. Si bien hubo otras especies que provocaron cambios fundamentales sobre los miembros de su misma especie y sobre el planeta, por ejemplo los primeros microorganismos fotosintetizadores, que contribuyeron a la aparición del oxígeno atmosférico, esta transformación constituyó un evento único, un cambio significativo pero único. Por el contrario, en el caso de la humanidad el cambio es una parte constitutiva de su historia, que podría describirse como la sucesión de esos cambios, que no solo implican los aspectos culturales sino también los físicos y psíquicos, y por supuesto impactan sobre el destino del resto de la vida en nuestro planeta.

Moreno sostiene que el proceso de hominización sufrió un salto cualitativo hace unos 40.000 años, cuando comenzaron a generarse cambios radicales entre los individuos de la especie *Homo sapiens* y su entorno, y esos cambios fueron registrados y transmitidos al resto de la comunidad y su descendencia. Tal vez podríamos señalar este evento como el nacimiento de la cultura humana, entendiendo por esta cualquier actividad susceptible de ser registrada y transmitida

---

12 Julio Moreno. *Ser humano: La inconsistencia, los vínculos, la crianza*. Buenos Aires: Del Zorzal, 2002.

a otros individuos de la especie, en el mismo plano temporal o a aquellos que todavía están por venir. Moreno señala que estas actividades registrables y transmisibles surgen como consecuencia de una característica del *Homo sapiens* que no está presente en otras especies: la capacidad de enfrentar las dificultades físicas, psíquicas o sociales a nivel individual y superarlas. Las otras especies animales deben afrontar estas dificultades de forma estadística; frente a una dificultad (presión de selección), la mayoría de los individuos mueren, y los que tienen alguna capacidad individual que les permite superar la dificultad sobreviven y transmiten esa propiedad a la especie. En el caso de la humanidad, la capacidad de superar las dificultades (en realidad las inconsistencias) se transmite de forma extragenómica (no biológica) a través de la cultura. Así, la capacidad de cocinar la carne para ablandarla y que sea más sencilla su masticación y digestión no está asociada al *gen de la cocina*, sino que fue una habilidad desarrollada por un individuo frente a la dificultad de procurarse mejor alimento y que registró (en este caso mentalmente) y transmitió oralmente al resto de su comunidad, incorporándola a la cultura y transformándola en una ventaja evolutiva. Es decir, los hombres constituimos la primera especie que ha ido más allá de su carga genómica; es más, probablemente nos hemos librado de su limitación biológica y también probablemente, en el futuro cercano, la modifiquemos.

Según Moreno, esta capacidad de superar las inconsistencias a nivel individual pudo surgir cuando nuestro *hardware* biológico, el cerebro humano, evolucionó lo suficiente como para generar una representación de la realidad, que no es exactamente fiel, tiene algunas diferencias y matices, admite variaciones, a partir de las cuales entonces pueden aparecer alternativas, actos creativos, que permiten superar esas inconsistencias.

De esta forma, esa capacidad básica de *cooperación e intercambio de información*, sustentada por las capacidades biológicas de nuestro cerebro, produjo el desarrollo de la *cultura*, que se transformó en un mecanismo de evolución extragenómico de nuestra especie. No necesitamos desarrollar alas para volar, creamos aviones. Tampoco necesitamos branquias para sobrevivir bajo el agua, inventamos sumergibles. Este mecanismo de evolución extragenómico (no me canso de repetirlo) es muchísimo más rápido que el mecanismo de evolución por selección natural: en unos 50.000 años pasamos de vivir en cuevas pintadas con nuestros dedos a llegar a la Luna. ¡Piensen si eso no es rápido!

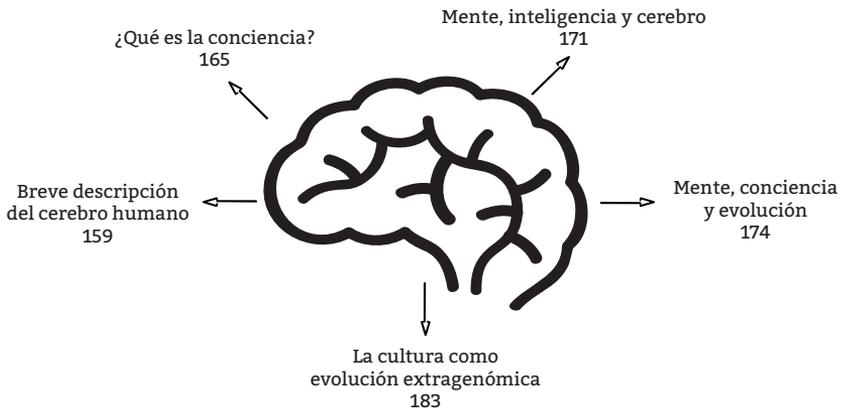
## **Lecturas sugeridas**

- V. Ramachandran. *The Tell Tale Brain*. Nueva York: Norton & Company Ltd., 2011.
- Gerhard Roth. *The Long Evolution of Brain and Mind*. Dordrecht, Alemania: Springer, 2013.

Julio Moreno. *Ser humano: La inconsistencia, los vínculos, la crianza*. Buenos Aires: Del Zorzal, 2002.

John F. Hoffercker. *Landscape of the mind: human evolution and the archeology of the thought*. Nueva York: Columbia University Press, 2011.

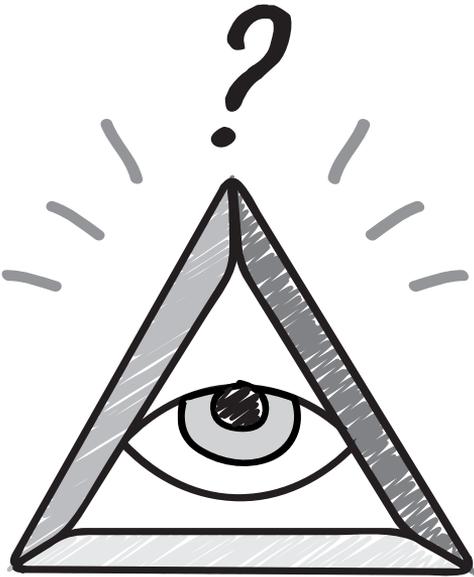
## Resumen del capítulo 6





# 07

**El problema del origen  
del universo: hacia un  
escenario de lo posible**





*Crítica de las posturas que recurren a un Dios creador. - La evolución de los argumentos creacionistas: el fine tuning. - Un escenario alternativo: la teoría del multiverso. - La hipótesis de la inflación y las fluctuaciones cuánticas del vacío. - Un posible modelo de multiverso: universos más allá del horizonte (beyond the horizon multiverse). - Otros modelos de multiverso. - Mi posición respecto de algunas cuestiones que se desprenden de esta discusión. - Mi posición respecto del problema del sentido, si es que en algo importa.*

*“Not only we are stardust, we are the children of the chaos”.*

*Peter Atkins, On being.*

Llegados a este punto del relato, y habiendo atravesado el recorrido desde el Big Bang hasta la aparición del hombre, me atrevería a resumir el estado de ánimo de los lectores sobrevivientes con la siguiente pregunta:

*Entonces, ¿vivimos en un universo diseñado para nuestra existencia (la de los hombres) o en un universo sin diseño y diseñador, y solo producto del azar?*

*En el caso de que no exista un Dios creador, ¿cuál es entonces el sentido de la existencia del hombre?*

Las preguntas son un poco pretenciosas, pero realmente recogen un problema filosófico y moral central. Intentaré en los próximos párrafos darles un pantallazo de mis puntos de vista sobre esta pregunta, antes de entrar en la opinión más autorizada de la filosofía que nos presentará Mario en el próximo capítulo.

## **Crítica de las posturas que recurren a un Dios creador**

Si el lector es tan amable de releer las preguntas que acabo de plantear en el párrafo anterior, creo que es más o menos evidente que podrían ser contestadas desde dos puntos de vista diferentes: uno el estrictamente científico, y otro el estrictamente religioso. Las respuestas posibles desde estas dos perspectivas seguramente estarían dentro un abanico de posibilidades muy diferentes, muchas de ellas totalmente contradictorias. Este combate entre opiniones tan distintas, como las que pueden tener un testigo de Jehová y un físico (o un químico) ateo sobre el problema del origen del universo, o de la vida, marca, creo yo, un claro conflicto en la relación ciencia-religión.

Pero permítanme explicarme un poco más y contarles mis críticas a la idea de la existencia de un dios creador. En el contexto del cristianismo la idea de la exis-

tencia de un universo complejo ha sido utilizada a lo largo de los años como uno de los argumentos a favor de la existencia de Dios: hay universo porque hay Creador, y hay un Dios porque hace falta un arquitecto para ese universo que alberga vida. Así, muchos pensadores cristianos han desarrollado a lo largo de los años una serie de argumentos a favor de la existencia de un Dios creador basados en la existencia de nuestro universo. Solo por mencionar un caso notable del siglo XIX, podemos destacar a William Paley, quien es el autor del famoso argumento del *reloj-implica-relojero*. Permítanme citar un breve párrafo de su libro *Teología natural*:

*In crossing a heath, suppose I pitched my foot against a stone, and were asked how the stone came to be there, I might possibly answer, that for anything I knew to the contrary it had lain there forever; nor would it, perhaps, be very easy to show the absurdity of this answer. But suppose I had found a watch upon the ground, and it should be inquired how the watch happened to be in that place, I should hardly think of the answer which I had before given, that for anything I knew the watch might have always been there. Yet why should not this answer serve for the watch as well as for the stone; why is it not as admissible in the second case as in the first? For this reason and for no other, namely that when we come to inspect the watch, we perceive what we could not discover in the stone, that its several parts are framed and put together for a purpose, e.g. that they are so formed and adjusted as to produce motion, and that motion so regulated as to point out the hour of the day; that if the different parts had been differently shaped from what they are, or placed after any other manner or any other order than in which they are placed, either no motion at all would have been carried on in the machine, or none which would have answered the use that is now served by it.<sup>1</sup>*

[Supongan que cruzando un parque golpeo mi pie contra una piedra y me pregunto cómo esa piedra llegó allí. Podría contestar, por todo lo que sé, que contrariamente a la suposición de mi pregunta, esa piedra podría haber estado allí desde siempre, aunque sería muy fácil demostrar el absurdo de la generalidad de esta afirmación. Supongamos, en cambio, que en lugar de la piedra he encontrado un reloj sobre el césped, y me pregunto entonces cómo es que ese reloj llegó allí. Difícilmente se podría pensar en la respuesta que he dado antes para la piedra, que aplicada al caso del reloj sería: que por todo lo que sé ese reloj ha estado allí desde siempre. La razón es que cuando nos disponemos a analizar el reloj, percibimos algo que no habíamos observado en la piedra, que es que las múltiples partes del reloj están ensambladas y puestas juntas con un

---

**1** William Paley. *Natural Theology; or Evidence for the Existence and Attributes of Deidity*, capítulo 1 “State of the argument”. Londres: Wilds and Taylor, 1802.

propósito, esto es, están ajustadas y formadas para producir movimiento, y ese movimiento está tan regulado como para dar las horas del día; que si las diferentes partes hubieran sido diferentemente moldeadas, o puestas antes que ningún hombre u orden en ese lugar, ningún movimiento hubiese ocurrido en el reloj, o ninguno hubiese contestado la pregunta del sentido de su uso].<sup>2</sup>

Casi 180 años más tarde, el filósofo cristiano William Lane Craig,<sup>3</sup> siguiendo con la utilización de *argumentos lógicos* que fundamentaran la existencia de un dios creador, propuso lo que él denominó argumento cosmológico Kâlam, supuestamente inspirado en fuentes filosóficas tanto islámicas como occidentales (supongo que en Santo Tomás). El argumento puede resumirse en el siguiente silogismo:

*Todo lo que comienza a existir tiene una causa.*  
*El universo comenzó a existir.*  
*Por lo tanto el universo tiene una causa.*

Tanto el argumento de Palley como el de Craig parecen bastante convincentes a primera vista, si nos atenemos a nuestra experiencia personal y al sentido común. Por supuesto que si nos encontramos con un reloj podemos suponer la existencia de un relojero, de la misma manera que si nos encontramos con una tablet podemos imaginar que existió un grupo de chinos ensamblándola en algún lugar de China, o si nos encontramos con un asado jugoso podemos suponer la existencia de un asador. Craig le da una vuelta de rosca al argumento y nos dice: *Todo lo que comienza a existir tiene una causa*. Bueno, parece bastante cierto, nuestros padres son la causa de nuestra existencia, el relojero es la causa del reloj, los chinos ensambladores son la causa de la tablet y el asador es la causa del asado. A continuación este autor afirma *el universo comenzó a existir*; bueno, parece bastante cierto, hemos escuchado bastantes veces que el Big Bang fue el comienzo del universo, por lo que la conclusión sobre la existencia de una *causa* del universo no parece muy alocada.

Tanto Palley como Craig creo que de alguna manera reelaboran ideas que hace 350 años propuso el gran matemático y filósofo Leibniz, que en un atrevimiento simplificador podría citar bajo la siguiente forma: *todo en el universo es contingente, es decir, tiene un comienzo, excepto Dios, que es la causa primera de todo lo que existe*. Además, Leibniz era un optimista teológico, creía que Dios siempre elegía lo mejor, por lo que deberíamos estar en el mejor de los universos que podrían ser creados.

¿Dónde está el problema?, ¿dónde está el error que atraviesa estos argumentos desde Leibniz hasta Palley y Craig? (en mi humilde y pretenciosa opinión). El

<sup>2</sup> Traducción libre de Javier Montserrat.

<sup>3</sup> William Lane Craig. *The Klam Cosmological argument*. Library of Philosophy and Religion. Londres: Macmillan, 1979.

error es la mera utilización de la lógica deductiva a partir de premisas falsas. La lógica nunca va a poder acercarnos a la verdad si las premisas de sus razonamientos son falsas. ¿Por qué digo que son falsas? Veamos cada una de ellas.

En primer lugar Palley nos dice que, a diferencia de la piedra, la existencia de un ser con propósito, como el reloj, implica la existencia de un ser que le otorgó sentido a ese propósito, un creador. Ahora, la extrapolación de la existencia de un propósito desde un reloj a, por ejemplo, un ser humano, es una exageración filosófica, que la lógica deductiva no fundamenta. Que un reloj tenga propósito no quiere decir que la existencia de las cucarachas o de los seres humanos tenga un propósito. Si Palley quería probar que *todo tiene un sentido* y que eso supone la *existencia de alguien que generó un sentido*, no alcanza con que lo haya probado para el caso del reloj, hay que probarlo para todos los casos: el reloj, la tablet, la cucaracha y nosotros.

Así, retomando el sentido del índice de este libro, la primera parte ha tratado de ser una explicación alternativa al relato del *reloj-implica-relojero*, acudiendo a la posible ocurrencia de procesos naturales dominados por el azar y las leyes naturales.

En el caso de Craig, la falta de verdad en cada una de las premisas del silogismo se repite. Para el caso de la primera premisa: *todo lo que comienza a existir tiene causa*, también es falsa. Pensemos por ejemplo en los pares partícula-antipartícula que aparecen y se aniquilan en el vacío; esos pares de partículas aparecen sin causa, o mejor dicho, su causa es la propia ausencia de causa, el principio de incertidumbre de Heisenberg, por lo que se verifica para este caso la falsedad de la afirmación de la primera premisa (para probar la falsedad de una premisa basta un contraejemplo). En cuanto a la segunda premisa, hay bastante discusión entre la comunidad de cosmólogos sobre que se pueda afirmar inequívocamente que el Big Bang haya sido el comienzo estricto, en el sentido de que nada haya existido antes. El problema es que cuando volvemos la película atrás y pensamos en los primeros instantes del Big Bang, cuando el universo tenía un tamaño mucho más pequeño que cualquier partícula subatómica, allí no podemos aplicar las nociones relativistas del espacio-tiempo, porque el objeto de estudio es tan pequeño que cae dentro del dominio de la mecánica cuántica, por lo que se hace difícil hablar de un *comienzo absoluto*.

Creo que el problema, tanto en el caso de Palley como el de Craig, es el hecho de que las premisas en las que están fundamentados sus razonamientos lógicos se encuentran alejadas de la observación científica. Si bien el *sentido común*, que podríamos definir cómo la búsqueda de razones simples, funciona en muchos casos, en particular en el mundo de las velocidades moderadas (mecánica clásica) o de lo extraordinariamente grande (mecánica clásica), las cosas suelen alejarse bastante de nuestra experiencia ordinaria en el mundo de lo extraordinariamente rápido (mecánica relativista) y de lo extraordinariamente pequeño (mecánica cuántica).

Como conclusión, diría que la utilización de *argumentos lógicos* a favor de la existencia de un Dios creador tiene asociadas serias dudas sobre la veracidad de las premisas de las cuales parte.

## La evolución de los argumentos creacionistas: el *fine tuning*

En nuestros días, la batalla a favor y en contra de la existencia de un Dios creador continúa abierta. La posición que simplificadamente podríamos denominar creacionista, es decir, que propone que el universo ha sido creado por Dios, ha sofisticado sus argumentos, y si bien encontramos un arco de posiciones que arrancan desde el infantilismo intelectual de sostener que el universo se creó en siete días, es posible encontrar posiciones más elaboradas que tratan de conciliar el principio de un Dios creador con las ideas más modernas de la cosmología.

Solo para dimensionar la magnitud de la pelea entre creacionistas y evolucionistas recordemos, por ejemplo, que la enseñanza de la teoría de la evolución estuvo prohibida hasta 1968 en el estado de Arkansas, Estados Unidos, y que recién en 1987 el Tribunal Supremo de Estados Unidos declaró anticonstitucional una ley del estado de Louisiana que obligaba a los colegios públicos donde se enseñara la teoría de la evolución a brindar una cantidad equivalente de horas de clase sobre la teoría de la creación. El tribunal sostuvo que las teorías creacionistas no podían considerarse argumentos científicos sino de orden religioso.

Las posiciones creacionistas más extremas están matizadas por posturas *más blandas* que ya no sostienen un *mecanismo de creación explícito* sino que solo se quedan con el orden conceptual del Génesis, es decir, que el universo fue creado por Dios, y el hombre es su *fin o propósito*, aceptando que ese Dios creador pudo utilizar mecanismos naturales para dar origen a su creación. Esta postura ha tenido distintas versiones que difieren en la dureza de las hipótesis iniciales: principio antrópico débil, principio antrópico fuerte, diseño inteligente, y en nuestros días *fine tuning* o *ajuste fino*. Esta última versión propone que el universo fue *diseñado* en sus detalles fundamentales, es decir, en un conjunto de constantes físicas, para que necesariamente evolucionara de forma tal que terminara apareciendo el *Homo sapiens*. Es como si alguien hubiese ajustado los dados de una generala para que siempre saliera full. Implícito en el argumento de *diseño* o *ajuste* está la idea de *diseñador*, y en este sentido hay un hilo conceptual común a todas estas posturas que es la existencia de un Dios creador directo, o diseñador de las condiciones iniciales, para que la evolución del universo necesariamente condujera a la aparición del hombre.

Me gustaría detenerme brevemente en algunos argumentos dados por los defensores y detractores del *fine tuning*, porque me parece que es una discusión todavía en curso. Para pararnos en algún lado, tomemos como punto de partida la postura del biólogo cristiano Richard Deem. En su página web,<sup>4</sup> Deem presenta una lista de 34 parámetros físicos de nuestro universo, que sostiene que han sido *fundamentalmente ajustados*, es decir, que prácticamente no pueden cambiarse,

<sup>4</sup> <http://www.godandscience.org/apologetics/designun.html> (consultado en febrero de 2018).



favor del *fine tuning* en este caso son tendenciosos por la arbitraria elección del sistema modelo.

Stenger argumenta que los restantes parámetros propuestos por Deem y otros defensores del *fine tuning*, como William Lane Craig y Dinesh D'Souza, en realidad admiten un rango relativamente amplio de valores compatibles con el desarrollo de la vida como la conocemos, y que por lo tanto no es posible hablar de un ajuste de las variables cosmológicas de nuestro universo.

## Un escenario alternativo: la teoría del multiverso

Ahora bien, aunque el lector habrá percibido que no soy partidario del *fine tuning*, es una cuestión de honestidad calificar al menos como *curioso* y *poco probable* al conjunto de acontecimientos que finalmente condujeron a la aparición de la vida sobre la Tierra. A lo largo del texto intenté, con malicia, tratar de sembrar una duda en ustedes, que podría resumirse de la siguiente forma: *¿pero qué casualidad que se hayan producido un conjunto de eventos tan singulares, y en un orden temporal tan determinado, que finalmente tuvieron como resultado la aparición de vida inteligente en la Tierra!* Fuimos destacando algunos de esos eventos puntualmente en cada uno de los recuadros que llamamos *¡Uy, pero qué casualidad...!* Como mencionamos antes, una posible explicación a ese conjunto de aparentes casualidades que condujeron a la aparición de la vida es suponer la acción de un Dios creador. Permítame el lector agregar al conjunto de posibles respuestas una explicación alternativa, que de momento es solo una *conjetura educada*, es decir de la que no tenemos evidencia científica directa, pero que explica tan bien nuestra anterior serie de casualidades y muchos otros cabos sueltos de la teoría del Big Bang que vale la pena pensar un poco en ella. Prepárense, creo que la siguiente afirmación los va a estremecer hasta los huesos: *¡hay razones científicas para sostener que existen infinitos universos paralelos!*, incluso en uno de ellos estás vos, lector, leyendo estas líneas frente a la Fontana di Trevi, en Roma, mientras Anita Ekberg y Marcello Mastroianni se meten en la fuente.<sup>7</sup> Les juro que no estoy drogado, no fumé nada, no me hice brownies alucinógenos y mi contenido de alcohol en sangre ahora me permitiría manejar (aunque mi mujer se llevó el auto).

Vamos despacio, otra vez: sí, estoy afirmando que existe un grupo de cosmólogos muy respetados que sostienen la idea de que existe una posibilidad no despreciable de que nuestra realidad no sea más que una de infinitas. Esta teoría se conoce como *teoría del multiverso* (o tal vez en castellano mejor “de múltiples universos”), y en realidad no es una única teoría sino un conjunto de varias, que sostienen distintos posibles modelos de multiverso. Por supuesto no tenemos ninguna evidencia experimental directa de esto, pero esta *conjetura educada* se

<sup>7</sup> Escena de la película *La dolce vita*, de Federico Fellini, 1960. Si no la viste, por favor hacedlo.

fundamenta en una serie de evidencias experimentales indirectas bastante aceptadas dentro de la comunidad científica, y las explicaciones que aportan a las limitaciones de la teoría del Big Bang son tan elegantes, que la posibilidad de la existencia de *universos paralelos* parece desprenderse casi con naturalidad (al menos tanta como la existencia de Dios).

Hay un corolario estremecedor que se desprende de la afirmación de la existencia de estos múltiples (¿infinitos?) universos: si existen infinitos universos entonces todo lo que podría pasar, no importa su probabilidad mientras sea distinta de cero, ya pasó. Aguanten la respiración, vamos a dejar de momento esta afirmación para meternos con ella más adelante en este libro.

Comencemos viendo cuáles son las limitaciones de la teoría del Big Bang, y qué relación hay entre estos hechos y la teoría del multiverso.

## **Las limitaciones de la teoría del Big Bang**

Hay una serie de hechos que la teoría del Big Bang, tal como la formulamos hasta ahora, no puede explicar. Veamos por separado cada uno de ellos.

La homogeneidad en la distribución de las inhomogeneidades de la radiación de fondo.

Parece un trabalenguas, pero es un problema que se origina con la resolución del mapa del fondo de microondas del universo. Tal vez recuerden que en el capítulo 1 les había contado que el fondo de microondas es el Bang que todavía escuchamos del comienzo del universo. A 380.000 años del comienzo, cuando los electrones neutralizaron los núcleos de hidrógeno y helio, los fotones –que hasta ese momento rebotaban entre ellos– se *desacoplaron* y comenzaron a vagar por el universo. Esos fotones fueron perdiendo energía en su viaje, por lo que en el presente solo serían percibidos como un *leve murmullo de fondo* en el universo. Ahora bien, esos fotones no tienen todos la misma temperatura, sino que, si provenían de zonas del universo primigenio levemente más densas, tendrían una energía un poco menor. Imaginen a ese universo primigenio como una polenta mal hecha llena de grumos; los grumos representan zonas *más densas* rodeadas de zonas de *densidad normal*. Imaginen luego que nuestra polenta tiene la maravillosa propiedad de emitir luz (cuántos hubiésemos comido más polenta de chicos...): a la luz le costaría un poco más escapar de las zonas más densas, es decir de *los grumos*. Esto es lo que ocurrió en el momento del desacople de los fotones, y es la razón por la cual la radiación de fondo no es homogénea.

Imaginen ahora que ponemos en órbita satélites para que midan la llegada de estos fotones hasta la Tierra y cuantifiquen si llegan con la misma energía desde cualquier lugar del universo. Esto es lo que han hecho los satélites COBE y WMAP, capaces de medir diferencias de energía muy pequeñas (diferencias entre 100.000 y 100.001 unidades de energía). Lo que les vamos a pedir a esos satélites es que hagan un *mapa del cielo* donde localicen esas diferencias de energía; es decir, van



a hacer para toda la bóveda celeste (una esfera que rodea a la Tierra) un gráfico de energía en función de la posición. La figura obtenida se encuentra en la página de la NASA.<sup>8</sup> ¿Qué representa ese conjunto de manchas? Indica que en el universo, a 380.000 años del comienzo, existían pequeñas inhomogeneidades de temperatura, producidas por pequeñas inhomogeneidades en la distribución de las partículas, es decir en la densidad de la materia, y estas diferencias de energía formaban pequeñas *islas de energía y masa (partículas) levemente diferentes*. ¡Pero he aquí el problema! Cuando se obtuvo el diagrama de inhomogeneidades resuelto por los sensores del satélite WMAP, se pudo observar que esas inhomogeneidades de temperatura estaban igualmente distribuidas en el universo en el instante en que se desacoplaron los fotones. ¿Y qué tiene esto de raro? Lo que tiene de raro es que la equidistribución de las inhomogeneidades significa que el universo, a 380.000 años del Big Bang, estaba en *equilibrio térmico*.

¿Qué es el equilibrio térmico? Imaginen que ponen agua a hervir en una cacerola para hacer fideos, y cuando comienza a hervir introducen un termómetro en diferentes puntos de la cacerola. Lo que observarían es que la temperatura en todas partes es de 100 °C, lo que quiere decir que toda el agua de la cacerola está en equilibrio térmico (es una simplificación, en realidad la cacerola es un sistema abierto). Ahora imaginen que en lugar de la cacerola consideramos el océano Atlántico. El agua en diferentes puntos del océano (por ejemplo, el Caribe y Mar del Plata) tiene distintos valores de temperatura; el océano es tan grande y los fenómenos de transmisión del calor (por ejemplo a través de las corrientes submarinas) son en términos relativos tan lentos, que no es posible que el océano esté en equilibrio térmico. Algo similar sucedió con el universo a 380.000 años del comienzo: ya era lo suficientemente grande como para que fuera imposible, aun moviéndonos a la velocidad de la luz, que estuviera en equilibrio térmico, y por lo tanto tuviera el mismo patrón de distribución de inhomogeneidades de radiación cósmica. Steven Manly<sup>9</sup> utiliza otra metáfora, en este caso colorida: es como si una empresa que se dedica a la pintura de frentes de edificios tuviera que pintar los 1000 balcones de un edificio utilizando 1000 pintores. A cada pintor se le da una lata de pintura roja y otra de pintura azul, y se le indica pintar un balcón de color violeta. Sin ponerse de acuerdo los pintores mezclan los colores y pintan los balcones, resultando que al final la diferencia de tono de violeta entre cualquier par de balcones es menor que 1 en 100.000. ¡Demasiada casualidad!, ¿no?, y la casualidad perturba demasiado a los científicos (casi tanto como la insoportable burocracia académica...).

<sup>8</sup> <http://map.gsfc.nasa.gov/media/080997/index.html> (consultado el 9 de septiembre de 2016).

<sup>9</sup> Steven Manly. *Visions of the Multiverse*. Nueva Jersey: New Page Books, Pompton Plains, 2011.

## La planaridad del espacio-tiempo

Hay otra cuestión cosmológica central que no es explicada por la teoría del Big Bang tal como la describimos hasta ahora, y tiene que ver con la forma del universo. La teoría de la relatividad general de Einstein permite que el espacio-tiempo tenga curvatura. ¿Cómo que el espacio y el tiempo pueden estar doblados?, ¿qué quiere decir esto? En primer lugar, en esta teoría las tres magnitudes del espacio ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) y el tiempo ( $t$ ) aparecen asociadas a un único espacio físico de cuatro dimensiones que se denomina espacio-tiempo ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $t$ ). Ese espacio-tiempo puede curvarse; por ejemplo, cuando la luz de una estrella lejana pasa cerca de Júpiter no sigue una línea recta sino que se curva levemente. ¿Por qué?, debido a la acción de la fuerza de la gravedad de Júpiter, el espacio-tiempo a su alrededor está curvado, y en un espacio curvo la menor distancia entre dos puntos corresponde a una curva. Esto quiere decir que *todo* el espacio-tiempo de nuestro universo podría estar curvado, de hecho podría tener una curvatura *positiva*, *negativa*, o no tener curvatura y corresponder a un espacio *euclídeo*, es decir estirado, como lo concebimos intuitivamente.

Resulta que otra cuestión que se pudo contestar con la resolución detallada del fondo de microondas fue la geometría de nuestro universo. Se pudo determinar que la geometría era euclídea.<sup>10</sup> Ahora ¡nuevamente otra casualidad!: si el universo podría haber adoptado geometrías con cualquier tipo de curvatura, ¿por qué justo eligió la euclídea con curvatura cero? Es como si tuvieran un cordón de zapatillas en la mano y lo tiraran mil veces al suelo, ¿cuántas veces creen ustedes que caería quedando perfectamente extendido como una línea recta?, realmente muy pocas, ¿no? Otra vez demasiada casualidad, y cómo nos molesta eso a los científicos (casi tanto como llenar los formularios de incentivo docente...).

## La hipótesis de la inflación y las fluctuaciones cuánticas del vacío

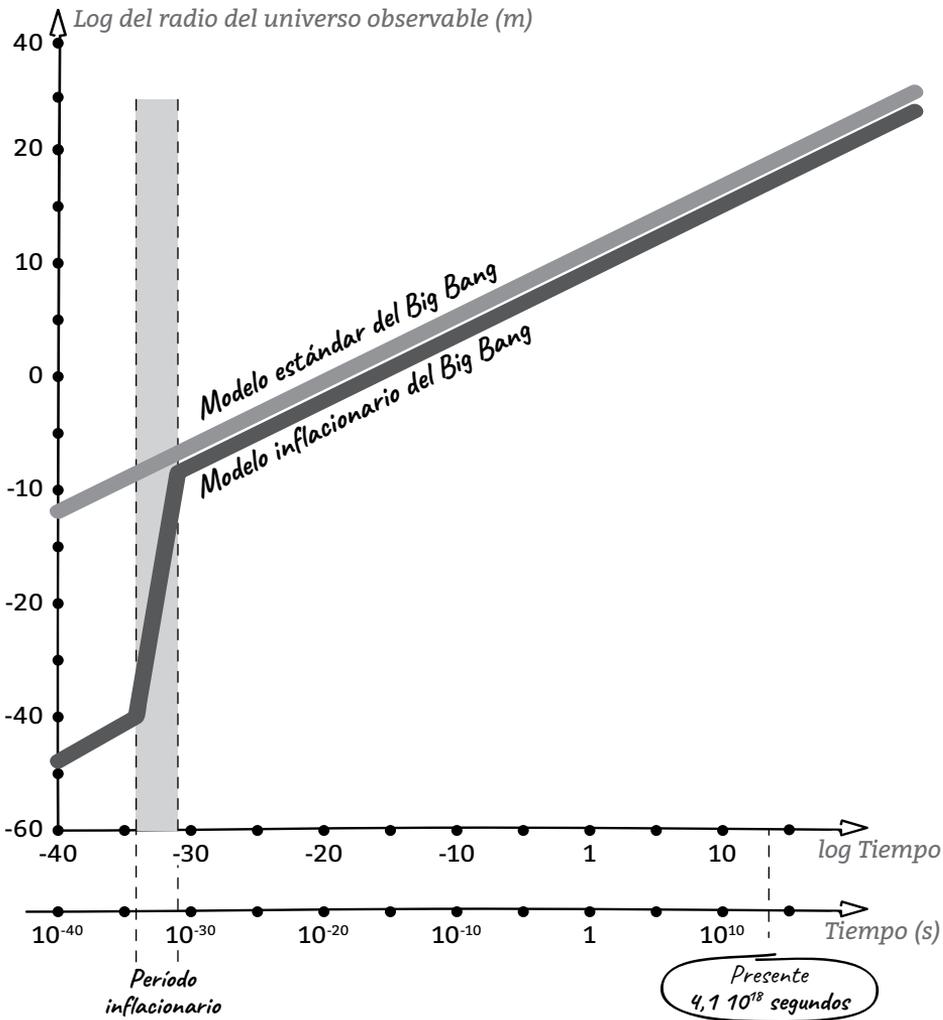
No, no se asusten, no es la combinación del título de un texto de economía de los ochenta y un libro de autoayuda; tampoco es el nombre de un grupo de cumbia exótico, más bien es una hipótesis científica que intenta explicar la equidistribución de las inhomogeneidades de la radiación de fondo y la planaridad del universo.

Vuelvo sobre la idea de que lo que les voy a contar ahora es lo que podríamos definir como una *conjetura educada*, es decir una hipótesis científica que puede explicar y dar sentido a muchos hechos inexplicables hasta este punto, pero de la cual no tenemos evidencia científica experimental directa. No desesperemos, esto ha ocurrido muchas veces a lo largo de la historia de la ciencia.

---

**10** El lector interesado puede revisar cómo lo hicieron en: a) B. Luque, F. Ballesteros, A. Márquez, M. González, A. Agea, L. Lara. *Astrobiología*. Madrid: Ediciones Akal, 2009; b) Steven Manly. *Visions of the Multiverse*, mencionado en la nota anterior.

**Figura 74.** Diferencias entre el modelo estándar y el inflacionario del Big Bang



Fuente: elaboración propia.

La idea básica de la hipótesis de la expansión inflacionaria es que entre los  $10^{-36}$  y  $10^{-35}$  segundos del comienzo de todo ocurrió un hecho excepcional, y fue que el universo aumentó su tamaño desde  $10^{-50}$  a 1 m. Los números pueden variar levemente de cosmólogo a cosmólogo, pero esencialmente lo que quiere decir es que el universo se expandió por una brevísima fracción de segundo a una velocidad

$10^{27}$  veces mayor que la velocidad de la luz ( $300.000 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1} \times 10^{27}$ ). Es un número tan grande que cuesta imaginarlo, y además ¿cómo es posible?, ¿no era que la velocidad máxima a la cual las cosas (materia y energía) se podían mover era la velocidad de la luz? Efectivamente, esa restricción es cierta para cualquier onda o partícula, pero lo que se expandió en ese brevísimo instante fue el *espacio mismo*, y sobre el espacio no hay ninguna restricción para la velocidad de expansión. Creo que el término *inflación* ni de cerca hace justicia a lo que en realidad ocurrió en ese instante; ese increíble aumento de tamaño significó que el universo pasó del mundo de lo infinitamente pequeño, donde valen los postulados de la mecánica cuántica, al dominio de lo macroscópico, donde podemos aplicar las leyes de la física clásica. La figura 74 representa la diferencia entre el modelo estándar y el inflacionario del Big Bang. Fíjense que los ejes del gráfico son logarítmicos, para que entren semejantes magnitudes (siempre les recuerdo a mis estudiantes la característica socialista de la función logarítmica al disminuir las diferencias, y el comportamiento capitalista de la exponencial al incrementar las diferencias...).

Lo importante es que, en el modelo inflacionario, entre los  $10^{-36}$  y los  $10^{-35}$  segundos se produjo una aceleración explosiva en la expansión del universo, que está representada por el cambio de pendiente (denominado período inflacionario) dentro del rectángulo gris.

La siguiente pregunta que podríamos hacernos es: ¿por qué esta aceleración explosiva de la velocidad de expansión del universo explica las limitaciones del modelo estándar? En primer lugar teníamos el problema de la distribución de las inhomogeneidades del fondo de microondas, ¿se acuerdan que nos preguntábamos cómo un universo tan grande a los 380.000 años podría haber estado en equilibrio térmico? Bueno, lo que pudo pasar es que las inhomogeneidades ya estaban a los  $10^{-36}$  segundos, en la forma de *fluctuaciones cuánticas*, y lo que ocurrió en la expansión es que esas fluctuaciones cuánticas *se proyectaron, salieron del mundo de lo cuántico*, por efecto de la inflación, al mundo de lo macroscópico, generando un patrón de distribución homogéneo de esas fluctuaciones, que se transformarían en las inhomogeneidades de la radiación del fondo de microondas.

Yo, inocentemente, deslicé en el texto un concepto un tanto esotérico: el de *fluctuaciones cuánticas*, muy suelto de cuerpo y sin advertirlos. ¿Qué son las *fluctuaciones cuánticas*? Trataré de explicar esta idea sorprendente para el caso de las fluctuaciones del vacío. Piensen en un cubo imaginario de 1 m de lado flotando frente a ustedes, concéntrense en el espacio interior del cubo y lo que puede haber allí. La respuesta no será muy difícil, en un cubo de  $1 \text{ m}^3$  de aire habrá, simplificando el problema, una mezcla de gases con una proporción de 77% de nitrógeno, 21% de oxígeno, más otros gases como componentes minoritarios. Supongamos que hacemos el mismo ejercicio, pero en el espacio entre la Luna y la Tierra. ¿Qué habrá allí? Uno estaría tentado de decir que nada, el vacío, pero en realidad todavía habría algo; si pudiéramos medirlo habría una cantidad de masa equivalente a aproximadamente 1000 átomos de hidrógeno en un  $1 \text{ m}^3$ . Ahora, imaginemos que con alguna *superaspiradora* lográramos sacar esos 1000 átomos de nuestro

metro cúbico en el espacio, sin que se metieran otros. ¿Ese metro cúbico estaría completamente vacío y sería como la nada misma? No, en realidad no, la teoría cuántica de campos nos dice que en ese vacío absoluto aparecen y desaparecen instantáneamente pares partícula-antipartícula que viven solo fracciones de segundo. Imaginen ese metro cúbico como lleno de bichitos de luz que aparecieran de a pares, uno rojo y uno azul, de forma que su radiación se compensara y cuya vida estuviera en el entorno de los  $10^{-40}$  segundos. Es una idea perturbadora, *en la nada hay algo, la nada crea algo*, pero los físicos teóricos están bastante seguros de esta idea, incluso hay alguna evidencia experimental de su existencia (efecto Casimir-Polder), y constituye la hipótesis a partir de la cual se puede calcular la *energía cuántica del vacío*, que permitiría explicar la constante cosmológica repulsiva (experimentalmente medida del orden de  $10^{-120}$ ), y que constituye uno de los mayores problemas no resueltos de la física actual (cuando en los parciales de Física les bajen puntos por las cuentas mal hechas, ustedes pueden mandar a sus profesores de Física a calcular la constante cosmológica del universo...). Pero ¿cuál es la relación entre las inhomogeneidades del fondo de microondas del universo y las fluctuaciones cuánticas? Si hubo una expansión acelerada del universo en sus orígenes (etapa inflacionaria), las fluctuaciones cuánticas contenidas en ese instante del universo, al expandirse, se transformaron en pequeñas inhomogeneidades en la densidad de la energía.

Siguiendo con las cuestiones no resueltas por el modelo estándar del Big Bang, en segundo lugar teníamos el problema de la *planaridad* de nuestro espacio. Si hubo una inflación de nuestro espacio a una velocidad tan grande, esa expansión pudo *aplanar* el espacio. Supongan por un instante que estuviéramos parados sobre una pelota de fútbol (en mi caso imposible por la falta de equilibrio y porque la aplastaría...), claramente observaríamos la curvatura de la pelota. Ahora supongamos que esa pelota sufre una expansión instantánea de su volumen hasta alcanzar el volumen de la Tierra, ¿qué observaríamos? Que la curvatura de la pelota se ha transformado en un plano.

Así, la hipótesis de una expansión inflacionaria del universo resuelve dos grandes problemas cosmológicos, la inhomogeneidad del fondo de microondas y la planaridad del universo, pero a su vez dispara una nueva pregunta: ¿qué provocó la inflación?

En realidad la pregunta no está bien formulada. Cuando nos preguntamos qué provocó tal cosa estamos planteando un interrogante acerca de un agente causal, es decir, algo o alguien que haya provocado un determinado efecto o situación que es consecuencia de esa causa. En realidad, desgraciadamente, la pregunta debe ser reformulada de una manera menos ambiciosa: ¿cómo se produjo la inflación?, es decir, ¿cuál fue la serie de eventos a través de los cuales transcurrió la inflación? La disquisición sobre la formulación de la pregunta no es menor, y volveremos sobre ella más adelante, porque si en este momento nos cuestionamos sobre los agentes causales últimos del Big Bang, seguramente nuestras posiciones se van a atrincherar. De un lado estarán quienes creen en un ser superior y del

otro quienes creemos que no existe tal cosa (o al menos tenemos una inconmensurable duda al respecto...).

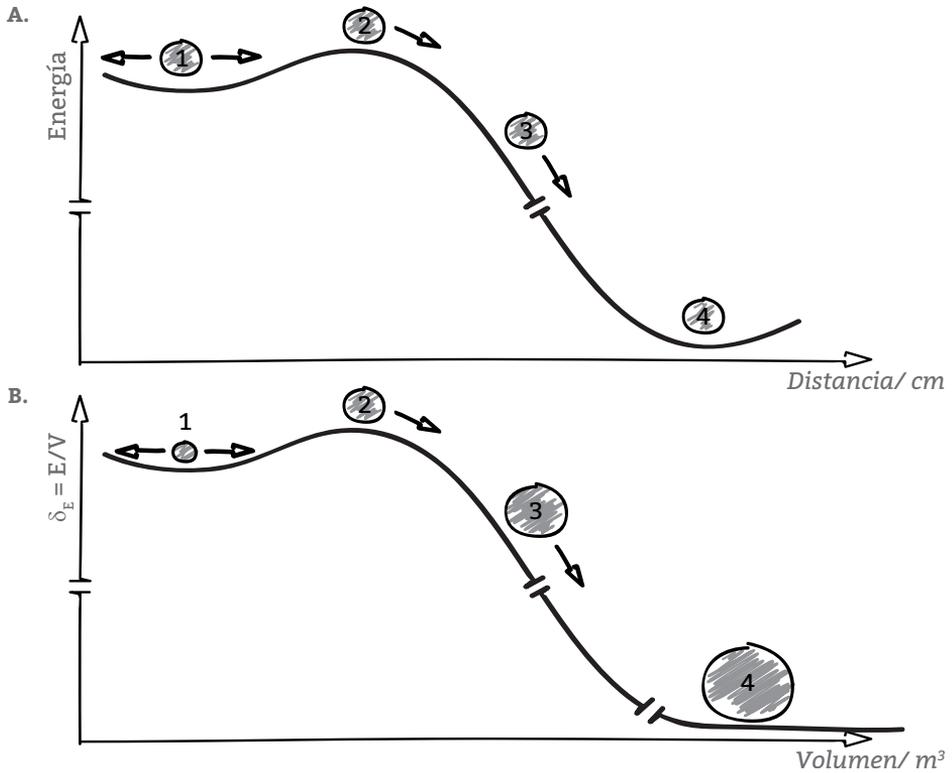
Pero volvamos sobre el punto de discusión: ¿cómo se produjo la inflación?, y para eso pensemos en el Big Bang usando una analogía. Imaginemos que tomamos en nuestros dedos una bolita de vidrio y la soltamos: lo que ocurrirá es que la bolita caerá. Esto es consecuencia, todos lo sabemos, de la ley de gravedad. Este hecho se podría describir usando la idea de campo de fuerzas. ¿Qué es un campo de fuerzas? Es el conjunto de valores que una determinada fuerza, en este caso la gravedad, tiene en distintos puntos del espacio. La idea de campo de fuerzas permite describir el concepto de energía potencial del campo de fuerzas. La energía potencial tiene que ver con el valor de la energía en un determinado punto del campo de fuerzas. Las partículas (en este caso las partículas con masa) siempre se mueven de un punto de energía potencial alto a un punto de energía potencial bajo, razón por la cual llueve de arriba para abajo (gracias a Dios, dijo un ateo...). Con estas ideas, supongamos que hacemos el siguiente experimento: agarramos un bol de casa, esos que se usan para poner la ensalada (a mi mujer le encantan...), pero justo encontramos un bol que tiene un *borde*, como si fuera una canaleta circular, de forma tal que si hiciéramos un corte lateral del bol sería algo parecido al diagrama A de la figura 75. Imaginen ahora que ponen la bolita de vidrio en la canaleta del borde del bol. Por supuesto, si no hacen nada más la bolita quedará ahí hasta el final de nuestros días. Imaginen pues que empiezan a tocar la bolita con el dedo haciéndola rodar levemente para un lado y para el otro, hasta que en un momento determinado la bolita remonta el borde de la canaleta hacia el interior del bol. ¿Qué sucederá entonces? La bolita se desplazará por el borde interior del bol hasta alcanzar el fondo, adoptando una nueva posición de reposo. Resumiendo el experimento, podríamos decir que nuestra bolita de vidrio fue desde una posición de reposo que tenía una energía potencial alta, a otra posición de reposo con una energía potencial menor (el fondo del bol). En esta nueva posición de reposo la energía potencial no tiene por qué ser cero; imaginen que si el bol está sobre una mesa y hago un agujero en el fondo del bol y en la mesa que lo soporta, la bolita va a seguir cayendo, en este caso al piso. Para que el movimiento de la bolita se produzca lo que tiene que existir es un campo de fuerzas –en este caso un campo de fuerza gravitacional– para que la partícula vaya del punto de mayor potencial gravitacional al punto de menor potencial.

Ahora, ¿qué tiene que ver este cuento de la bolita en el bol con una posible explicación sobre como ocurrió el Big Bang? Hagamos el siguiente ejercicio de imaginación. Supongamos que nuestra bolita es el universo antes del estallido inicial, imaginémoslo como una pequeña *bolita* de  $10^{-50}$  m, millones de veces más chica que la partícula más chica conocida. Ahora, lectores, van a tener que hacer un ejercicio de imaginación adicional: a diferencia del caso del bol, en el estado inicial del universo no había espacio fuera de él, el espacio estaba contenido en esa *bolita* tan pequeña. Esta es una gran diferencia, porque el universo no puede expandirse en un espacio preexistente, porque ese espacio no existe; en todo caso, si

se va a expandir, tendrá que crear el espacio en el cual hacerlo. Ese pequeñísimo universo de  $10^{-50}$  m tenía una increíble (a los fines prácticos casi infinita) cantidad de energía, de forma que la densidad de energía, es decir, la cantidad de energía dividida por el volumen en el que se encontraba, era prácticamente infinita. Ese universo pequeñísimo, aparte de tener una densidad de energía casi infinita, estaba sometido a un campo de partículas denominado *campo de Higgs* que estaba en una posición de equilibrio inestable (como en el borde del bol), en un estado de *reposo inestable* que los físicos llaman *falso vacío*. La idea de campo de Higgs es rara ¿por qué? Porque el valor del campo es cero cuando tiene energía infinita y no tiene partículas en él, es decir, es al revés de cualquier otro campo de la naturaleza, tiene un valor de densidad de energía máximo cuando el campo vale cero y está vacío de partículas. Pero ¿qué es lo que hace el campo de Higgs?, ¿hay alguna manera intuitiva de explicarlo? Es muy difícil, porque es un concepto cuántico abstracto, pero imaginen el valor del campo de Higgs como el valor de viscosidad de un fluido. ¿Qué es la viscosidad?: la resistencia de un líquido a fluir sobre sí mismo. ¿Eso qué provoca?: que si queremos mover una pelotita por el seno de un vaso lleno de agua se mueva mucho más rápido que si tratamos de hacerla mover por el seno de un vaso lleno de miel. El valor escalar del campo de Higgs lo que provoca es que todas las partículas del modelo estándar (las que describimos al principio del libro), excepto el fotón, se muevan a una velocidad inferior a la de la luz, y por lo tanto tengan una masa determinada. Podemos decir que dado un valor determinado del campo de Higgs todas las partículas del modelo estándar pasarán a tener un valor determinado de masa: el electrón, el positrón, todos los leptones y quarks que vimos en el capítulo 1.

Ahora, ¿qué pasó a los  $10^{-43}$  segundos del inicio de todo?, es decir al tiempo de Planck, esa pequeña bolita de  $10^{-50}$  m que era el universo primigenio sufrió, por razones que ignoramos, una pequeña expansión que la sacó de su posición de equilibrio, el campo de Higgs dejó de ser cero y se precipitó hacia un mínimo, con lo cual, como el campo dejó de ser cero, aparecieron las primeras partículas con masa, los bosones de Higgs. Esos bosones literalmente *no entraban* en una esfera de  $10^{-50}$  m, lo que produjo un efecto de empuje tan brutal que provocó la expansión del universo de forma inflacionaria. Es decir, lo que explica la inflación es la variación fortuita del campo de Higgs. Al salir del estado aparente de equilibrio y pasar a tener un valor distinto de cero se originó la aparición de las partículas con masa, y la posterior serie de transformaciones que describimos en el capítulo 1, y que permitieron la aparición de los primeros átomos y luego de las primeras moléculas.

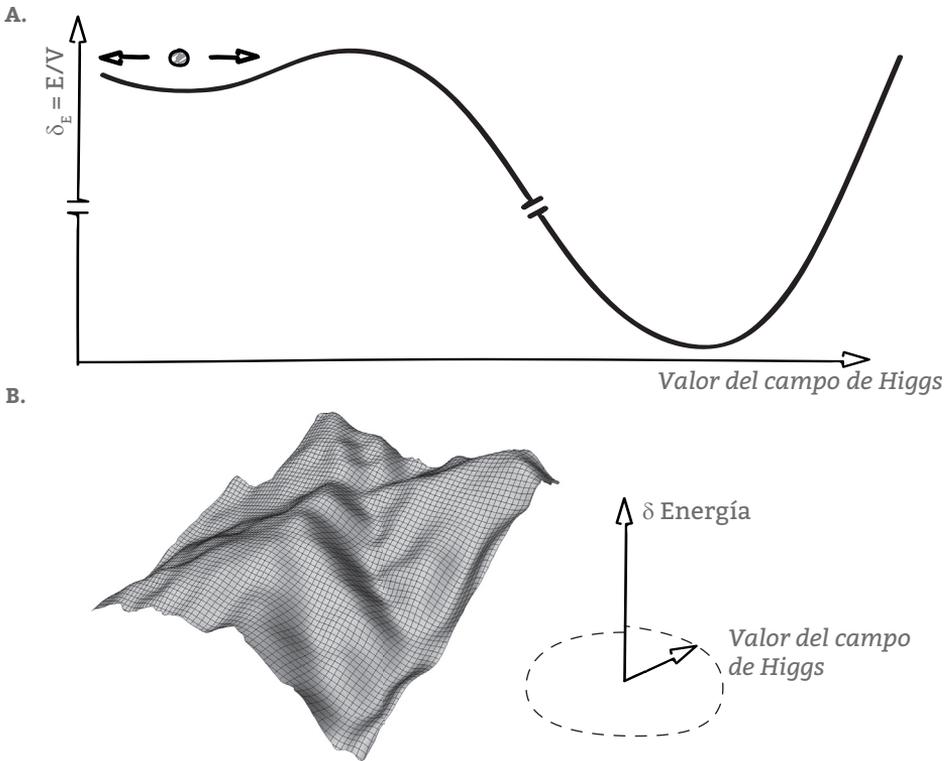
**Figura 75.** Representación esquemática del fenómeno de expansión del universo



Fuente: elaboración propia.

Hay algo que mencionamos cuando hablamos de la etapa inflacionaria del Big Bang, y es que por un brevísimo instante el universo se expandió con una velocidad de  $10^{27}$  veces la velocidad de la luz. ¿Qué consecuencia tuvo esto? Lo que ocurrió es que al haberse expandido el espacio a semejante velocidad hay zonas de él que quedaron sin conexión causal. ¿Qué quiere decir esto?, que dejaron de tener una relación causa-consecuencia entre ellas, es decir, esas zonas no se pueden observar con ningún instrumento, por ejemplo un telescopio, porque la luz de esos lugares nunca ha llegado hasta nosotros. Entonces, un posible escenario es que en realidad cuando se produjo el Big Bang la variación del campo de Higgs no haya fluctuado como en el diagrama A de la figura 76, hacia un único valor de reposo, sino que en realidad cada una de las zonas que quedaron causalmente desconectadas haya quedado con un valor determinado del campo de Higgs, porque cada una de esas regiones es un mínimo relativo diferente.

**Figura 76.** La idea de múltiples valores escalares de Higgs en diversos universos



Fuente: elaboración propia.

En algunas de esas regiones los electrones y protones tendrán 1000 veces la masa que tienen en nuestro universo, y se aniquilarán mutuamente haciendo ese universo estéril para la vida. En otros, tal vez el valor del campo de Higgs sea tal que permita la aparición de todo un juego de partículas equivalentes a las de nuestro modelo estándar, pero con otras masas, lo que originará toda una tabla periódica diferente de la nuestra y, por supuesto, toda una química completamente diferente.

Esta idea es la que Leonard Susskind,<sup>11</sup> uno de los padres de la teoría de las cuerdas, denomina *The Cosmic Landscape* (el paisaje cósmico). Susskind llama *paisaje cósmico* al espacio matemático de unos pocos cientos de valores (menos de 500), entre los cuales está el valor del campo de Higgs, que hace que el universo sea como es. ¿Qué otro ejemplo de estos valores podemos dar? Por ejemplo, la de-

**11** Leonard Susskind. *The Cosmic Landscape*. Nueva York: Back Bay Books, 2006.

nominada constante fina del universo, que es aproximadamente  $1/137$ , y que está asociada con la probabilidad de que un electrón emita espontáneamente un fotón. Este valor es sumamente importante porque en la teoría cuántica de campos el intercambio de fotones entre partículas cargadas es el responsable de la intensidad de las fuerzas electromagnéticas. Dados diferentes valores de constantes finas, las intensidades de las fuerzas electromagnéticas serán diferentes y, por ejemplo, cambiarán totalmente el tamaño de los orbitales electrónicos de nuestros átomos, y con ello todas sus propiedades químicas.

Es decir, la idea que se perfila detrás es que el Big Bang pudo haber sido el origen no solo de nuestro universo, sino de toda una serie de universos, cada uno de ellos con valores diferentes de constantes cósmicas fundamentales, y tal vez con leyes físicas diferentes, la inmensa mayoría totalmente hostiles para el desarrollo de la vida y otros, al menos sabemos de uno, con valores que permitieron la aparición de este fenómeno increíble que es la vida.

## **Un posible modelo de multiverso: universos más allá del horizonte (*beyond the horizon multiverse*)**

Volviendo sobre la idea de que entonces es posible que no haya un solo universo sino tal vez toda una colección de ellos, lo que implicaría una revolución cultural comparable a la que ocurrió en tiempos de Copérnico: ¿cuáles son las formas que esos posibles múltiples universos (multiversos o megaversos) podrían tener? Aquí es donde aparece una familia de modelos de multiversos diferentes. Por supuesto, como esta teoría es hasta ahora solo una conjetura educada, no hay razones de orden *experimental* para inclinarse por un modelo de multiverso u otro. Intentaremos hacer una breve descripción del modelo de multiverso más sencillo, dejando para los lectores interesados los modelos alternativos (por ejemplo, el de la teoría de las cuerdas). Quisiera aclarar que solo nos vamos a limitar a las teorías del multiverso enmarcadas dentro del campo de la cosmología, ya que si lo piensan por un instante el *cielo y el infierno cristianos* son también un tipo de multiverso, en el sentido de una realidad de existencia paralela, con la cual no tenemos contacto. Aunque con esto último no estaría tan de acuerdo Emanuel Swedenborg.<sup>12</sup>

Antes de comenzar con este modelo de multiverso deberíamos explicar por qué los cosmólogos dicen que la observación del espacio interestelar es equivalente a tener una máquina del tiempo que nos permite viajar al pasado. Pensemos en una acción que creo que todos hemos hecho en una noche despejada, mirar la Luna. Lo que observamos cuando miramos la Luna no es *la realidad de la Luna* en el instante de mirarla, sino lo que era la realidad de la Luna aproximadamente 1 segundo antes. ¿Por qué? Porque la Luna está a unos 380.000 km de

---

**12** Emanuel Swedenborg. *Cielo e infierno (Visiones y revelaciones, nuestra vida después de la muerte)*. Madrid: Grupo libro. Colección Paraísos Perdidos, 1991.

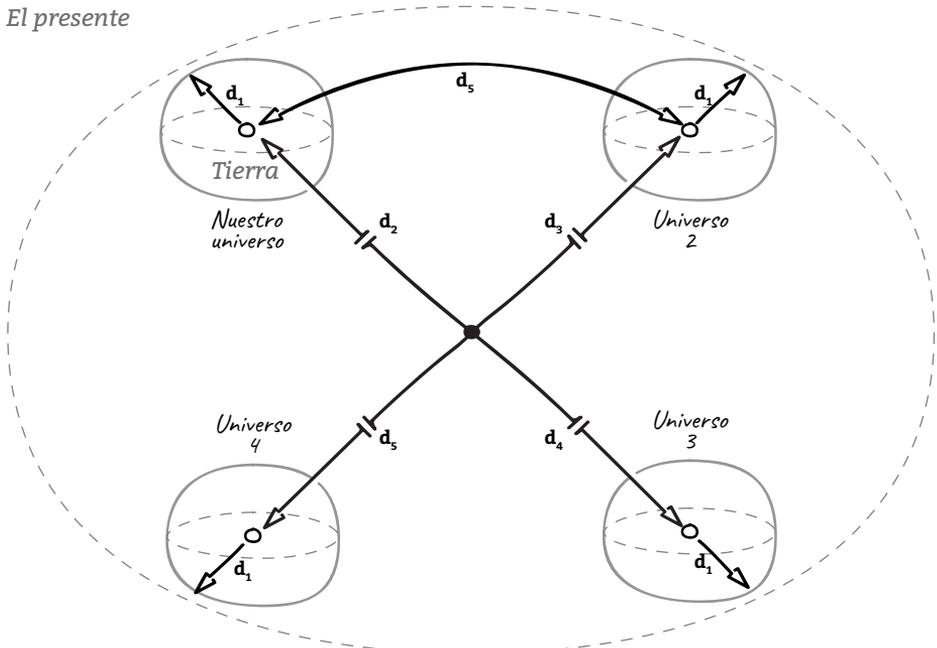
la Tierra, y la velocidad de la luz, que es lo que nos trae la *imagen* de la Luna tiene una velocidad máxima de 300.000 km/s. Lo mismo ocurre con el Sol; si por algún misterio cosmológico el Sol desapareciera instantáneamente, tendríamos luz por ocho minutos y medio más, porque ese es el tiempo que la luz tarda en llegar desde el Sol hasta la Tierra. En este punto puede ser útil recordar que cuando hablamos de *años luz* no nos estamos refiriendo a una unidad de tiempo, sino de distancia (es la distancia que recorre la luz, que viaja a 300.000 km/s en un año). Esto quiere decir que cuando miramos el maravilloso cielo estrellado en una noche oscura, no estamos observando la *actual realidad* de esas estrellas, sino que estamos viendo una imagen de un tiempo que es igual a la velocidad de la luz por la distancia en años luz a la que se encuentran esas estrellas. Es decir, estamos viendo una *foto vieja*, lo cual es fantástico, porque no hay muchas disciplinas científicas que cuenten con el gran beneficio de poder observar en directo cómo era el pasado. Ahora imaginen que ponemos en órbita alrededor de la Tierra un telescopio superpotente que es capaz de ver objetos estelares a distancias tan lejanas como nosotros queramos, y entonces, sentados en órbita con el ojo puesto en nuestro telescopio, empezáramos a ajustarlo para observar cada vez más lejos. Observaríamos entonces increíbles galaxias y cuerpos celestes hasta ahora no observados, pero llegaría un punto en el que lo que veríamos sería equivalente a una niebla durante el día. Esto ocurriría al tratar de observar a una distancia (llamémosla  $d_1$ ) igual a  $13.700 \times 10^6 \text{ años} \times (365 \times 24 \times 3600) \times 300.000 \text{ km/s}^{-1}$ , que es precisamente casi el origen del universo (en la cuenta entre paréntesis está el factor de transformación de año a segundo). Digo casi, porque en realidad es aproximadamente a los 380.000 años del comienzo cuando los fotones se desacoplaron de la materia y el universo se volvió transparente, ¿se acuerdan? (si no, repasen el capítulo 1). Esto quiere decir que vivimos en un universo que tiene límites de observación definidos, y que por lo tanto solo podemos estar *relativamente seguros* de lo que puede o pudiera ocurrir (es decir, de sus leyes físicas) dentro de sus límites físicos.

Ese universo observable es el que está representado con una esfera llamada *nuestro universo* en la figura 77, y que tiene un radio a partir de la Tierra (simplemente en el centro porque es nuestro punto de observación, no porque la Tierra esté en el centro de nada) igual a  $d_1$ .

Ahora traigamos a nuestra memoria algo que estuvimos discutiendo en esta sección, la *hipótesis inflacionaria* del Big Bang. Recordarán que esa hipótesis asumía que por un brevísimo instante de tiempo el espacio se había expandido a velocidades  $10^{27}$  veces superiores a la velocidad de la luz. ¿Qué quiere decir esto? Lo que implica es que hay zonas del espacio (el círculo punteado de la figura 77) que están causalmente desconectados. ¿Qué significa causalmente desconectados? Quiere decir que nada de lo que hagamos en nuestro universo puede afectar a lo que suceda en los universos 2, 3 y 4 de la figura 77. Ni siquiera podemos observarlos, es decir, todos esos universos están totalmente desconectados unos de otros.

**Figura 77.** Representación de múltiples universos desconectados

El presente



$$d_1 = 13.700 \times 10^6 \text{ años} \times (365 \times 24 \times 3600) \times c \quad d_2, d_3, d_4, d_5, d_6 \gg 13.700 \times 10^6 \text{ años} \times (365 \times 24 \times 3600) \times c$$

Fuente: elaboración propia.

## Otros modelos de multiverso

El que les acabo de describir probablemente sea el tipo de multiverso más sencillo, pero existen otros modelos, como el universo burbuja (*bubble multiverse*), el multiverso fecundo (*fecund multiverse*), que implica a los agujeros negros como generadores de multiversos, y el modelo de la teoría de las cuerdas que se denomina multiverso ekpirótico (*ekpiroktic multiverse*). El lector interesado en la clasificación de los distintos modelos puede recurrir al excelente libro de Steven Manly (ver nota 9 en este capítulo).

## Mi posición respecto de algunas cuestiones que se desprenden de esta discusión

Aclaración: no pretendo que los párrafos que siguen sean en lo más mínimo una fundamentación filosófica de mis posturas; carezco de capacidad y formación para eso. Simplemente son un ejercicio de preguntas y respuestas personales, y por lo tanto, parciales y sesgadas por mi experiencia, mis propias limitaciones y

mis lecturas parciales. Para un desarrollo más fundamentado de algunas cuestiones relacionadas con el problema del origen y el ser, sea el lector tan amable de no olvidar leer el capítulo de este libro escrito por Mario.

### **La apariencia de un universo inteligentemente diseñado y las ventajas de la teoría del multiverso en la explicación del fenómeno de aparición de la vida**

¿Por qué la teoría del multiverso aparece en la discusión de cómo fue el proceso cósmico que hizo que los humanos llegáramos a habitar la Tierra? Hemos visto en los capítulos precedentes que para que la vida humana llegara a desarrollarse sobre la faz de la Tierra se debieron dar una serie de acontecimientos físicos y químicos particulares en momentos exactos de la evolución. En las palabras de Leonard Susskind, este hecho ha sido para la ciencia como tener un elefante silencioso en una habitación, ignorándolo explícitamente: *El misterio de verdad que la cosmología ha puesto sobre el tapete es cómo tener un elefante silencioso en una habitación; un elefante, debo agregar, que ha sido muy embarazoso para los físicos y que podría describirse como: ¿por qué es que el universo tiene toda la apariencia de haber sido diseñado justo para que formas de vida como nosotros puedan existir?*<sup>13</sup>

Es cierto que en este punto uno podría pensar que es prácticamente imposible que se hayan dado espontáneamente toda una serie de casualidades (algunas de las cuales recogimos en los apartados de “¡Uy, pero qué casualidad!”), que condujeron a que vos, lector, estés hoy todavía enfrentado a este texto. Este mismo argumento fue tomado por algunos científicos que sostuvieron que esta serie de casualidades solo podía justificarse con la existencia de un *creador* de todo lo que existe, es decir *alguien* que inteligentemente diseñó nuestro universo para que finalmente apareciera la vida humana sobre la Tierra. Es el mismo Susskind quien para sentar su posición sobre la *teoría del diseño inteligente*, y en ocasión del sesenta cumpleaños de Martines Veltam, que acababa de recibir el Premio Nobel por sus contribuciones a la matemática del modelo estándar, nos propone un hermoso (al menos para mí) cuento, que les traduzco (no profesionalmente...) y que intenta explicar metafóricamente la tensión entre la *teoría del diseño inteligente* y la del *paisaje cósmico*.

Una historia de peces:<sup>14</sup>

Había una vez un planeta completamente cubierto de agua, donde vivía una raza de peces con supercerebros. Estos peces solo podían vivir a

13 Traducción de un segmento del prefacio de *The Cosmic Landscape*, de Leonard Susskind, citado en nota 11.

14 Traducción libre del autor de las páginas 170 a 172 de *The Cosmic Landscape*, citado en nota 11.

cierta profundidad en los océanos, y ninguno de ellos había visto la superficie o las grandes profundidades del mar. Pero sus cerebros desarrollados los hacían muy inteligentes y curiosos. A su tiempo, sus preguntas sobre la naturaleza del agua y otros elementos se volvieron muy sofisticadas. Los más inteligentes entre ellos eran llamados “písicos”.<sup>15</sup> Los písicos eran maravillosamente inteligentes, y en algunas generaciones llegaron a entender bastante sobre los fenómenos naturales, incluyendo la dinámica de los fluidos, química, física nuclear e incluso llegaron a comprender la naturaleza del núcleo atómico.

Algunos de los písicos comenzaron a preguntarse por qué las leyes de la naturaleza eran como eran. Su sofisticada tecnología les permitió estudiar el agua en todas sus formas, en estado sólido, vapor, y por supuesto líquido. Pero con todos sus conocimientos una cosa todavía los tenía perplejos. Con todos los posibles valores entre cero e infinito, ¿cómo se podía explicar el hecho de que el valor de la temperatura ambiente,  $T$ , estuviera tan finamente ajustado a un rango tan estrecho para permitir la existencia de agua en estado líquido? Ensayaron distintas explicaciones, incluyendo simetrías de diferentes tipos, mecánicas de relajación dinámica y otras ideas más, pero nada explicaba el misterio.

Cercano a los písicos existía otro grupo de peces, el de los “codmólogos”,<sup>16</sup> que también trataban de encontrar alguna explicación a su mundo acuoso. Los codmólogos estaban menos interesados en estudiar las profundidades donde los písicos vivían que en descubrir si es que existía una frontera por encima del mundo en que vivían. Los codmólogos eran completamente conscientes de que gran parte del mundo marino en el que vivían era inhabitable, simplemente porque las condiciones de presión eran inadecuadas para sus grandes cerebros. Viajar entonces hacia la superficie no era posible, sus cerebros explotarían debido a la baja presión del agua en esas regiones. Así que, por lo tanto, especulaban.

Entonces sucedió que una escuela de pensamiento entre los codmólogos tuvo una idea radical (algunos dijeron que ridícula) acerca de por qué  $T$  estaba tan bien ajustada, y se les ocurrió un nombre para la idea: el “principio ictrópico”, PI. ¡El PI sostenía que la temperatura  $T$  existía en ese rango tan estrecho que permitía que el agua existiera en estado líquido porque solamente de esta manera podrían existir peces para observarla!

¡Las pelotas! Dijeron los písicos. Eso no es ciencia. Es religión. Simplemente se están rindiendo, y además, si acordamos con ustedes todo el mundo se va a reír de nosotros y nos van a sacar los fondos para nuestros proyectos de investigación.

---

**15** *Fysicists*, en inglés, es un juego de palabras con “*physicists*” (físicos).

**16** *Codmologists*, en el original, por “*cosmologists*” (cosmólogos).

Ahora, en realidad, no todos los codmólogos querían decir lo mismo cuando enunciaban el PI. A decir verdad, era bastante difícil encontrar dos codmólogos que dijeran lo mismo al respecto. Había un grupo que sostenía que el Pez Cabeza de Ángel había creado el mundo con el solo propósito de que los peces pudieran vivir en él. Otra escuela de pensamiento sostenía que la función de onda cuántica de todo lo que existía era una superposición de todos los valores posibles de T, y solo habiendo sido observada por algún pez ancestral colapsó en sus valores actuales.

Una parte de los codmólogos, liderados por Andrei-el-del-gran cerebro y Alejandro-el-que-nada-profundo, tuvieron una idea extraordinaria. Ellos propusieron que en realidad existía un increíblemente extenso espacio más allá del límite superior del océano que habitaban. En ese gran espacio podían existir muchos mundos, algunos parecidos a los de ellos, otros radicalmente diferentes. Algunos mundos serían inimaginablemente calientes, tan calientes que los núcleos de hidrógeno podrían fusionarse en helio y seguir calentándose. Otros mundos podrían ser tan fríos que contendrían amoníaco congelado. Solo una pequeñísima fracción de todos esos mundos posibles tendría una temperatura adecuada para la aparición de los peces. Entonces, no habría ningún misterio sobre porqué T estaba tan bien elegida en el mundo de los peces. Como todo pescador sabe, la mayor parte de los lugares no tienen peces, pero por aquí o allá habría algunas condiciones adecuadas para que hubiera peces.

Pero los písicos suspiraron y dijeron: ¡Acá están los codmólogos otra vez tratando de vendernos pescado podrido! Simplemente ignorémoslos.

Fin

En mi opinión este brillante cuento de Susskind resume de una forma muy inteligente la tensión que se genera alrededor de la pregunta de por qué las cosas en el universo son como son. Creo que hay dos respuestas radicales:

Dios quiso hacerlas así para crear al hombre (es la idea central del Génesis, transformado luego en principio antrópico y más tarde en diseño inteligente y *fine tuning*). Por supuesto, esta posición implica tener fe en la existencia de un Dios creador.

Las cosas son como son porque hay un número muy pero muy grande de lugares (¿universos?) donde las cosas son muy distintas, de forma tal que lo que tenemos es una forma radical del principio de la diversidad: *todo lo que puede existir, existe*, y esto quiere decir que en algún lugar existirán las condiciones para que finalmente aparezca la vida como la conocemos. Podríamos llamar a esta posición *materialismo contingente*.

Creo que es en este punto donde la idea de *paisaje cósmico* es importante para entender nuestra existencia. Podríamos explicar la serie de eventos particulares

y ordenados en el tiempo necesarios para la aparición de la vida, pensando que en realidad el conjunto de variables ajustadas del paisaje cósmico se dieron por casualidad en nuestro universo, que está en el *mínimo adecuado* de la figura 76, B. Déjenme explicarlo con una analogía. Supongo que alguna vez habrán jugada a la generala con los dados (les recuerdo que es un juego con cinco dados, en el que hay que ir armando ciertas construcciones numéricas con los dados –mis hijas y mi mujer son expertas en ganarme–). Una de esas construcciones es la generala, que consiste en sacar los cinco números iguales en una tirada de dados. Supongamos que quisiéramos, por un capricho, sacar generala de seis, es decir tirar los cinco dados y que en los cinco salga el número seis. ¿Cuál sería la probabilidad de obtenerla?, realmente baja (1 en 7776), pero como todos los jugadores de dados sabemos, distinta de cero. Ahora imaginemos que en lugar de jugar con un cubilete con cinco dados, jugamos con 500 cubiletes, en cada uno de los cuales hay cinco dados y tiramos (con la ayuda de algún dispositivo *ad hoc*) los 500 cubiletes al mismo tiempo. Intuitivamente podríamos pensar que la probabilidad de que en esas 500 tiradas alguna sea generala de seis es mucho más alta que al tirar con un solo cubilete, ¿no?

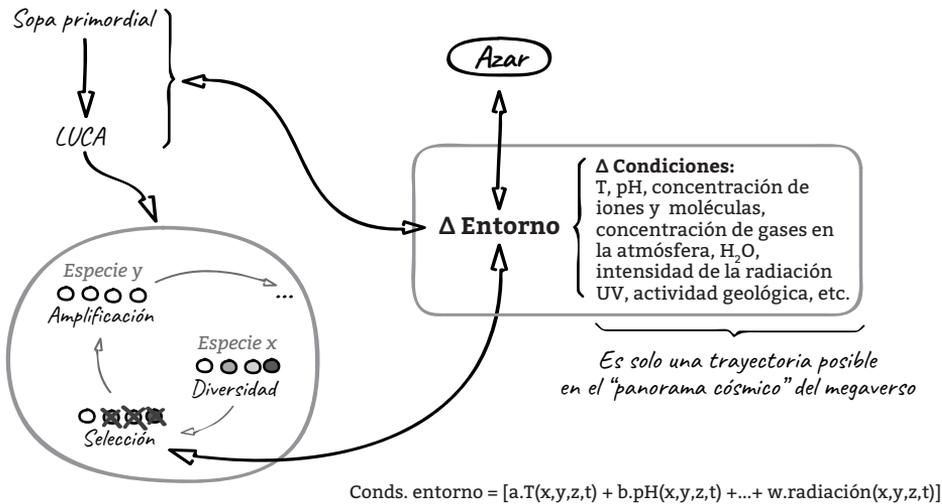
Lo mismo pasa con todos los valores críticos del *panorama cósmico* de nuestro universo (la constante fina del universo, el valor del campo de Higgs, el valor de la energía provocada por las fluctuaciones cuánticas del vacío, etcétera, etcétera...). Si cuando se produjo el Big Bang, en lugar de uno se produjeron *múltiples universos*, la probabilidad de que en uno de ellos los valores críticos del panorama cósmico fueran los necesarios para la aparición de la vida humana deja de ser un número tan despreciablemente pequeño.

Esta tensión entre el azar y la necesidad (podríamos decir que casi en términos filosóficos) fue brillantemente planteada por Jacques Monod en su libro con el mismo título. Monod planteaba que el proceso de selección natural es esencialmente un mecanismo adaptativo; este proceso por sí mismo no puede explicar el proceso de complejización biológica, es decir, el largo y tortuoso camino que nos llevó desde LUCA hasta el *Homo sapiens*. Esto significa que lo que dirige la selección natural, si efectivamente esta es un mecanismo adaptativo, es la variación de las condiciones del entorno. Es decir, es la variación azarosa de las condiciones físicas, químicas, geológicas y astronómicas lo que determinó la *ruta ascendente* desde LUCA hasta el *Homo sapiens*. Esto es lo que intento representar en la figura 78, y que creo que la hipótesis del megaverso hace un poco más plausible.

La variación azarosa de las condiciones del entorno (figura 78): T, pH, concentración de iones y moléculas, gases en la atmósfera, H<sub>2</sub>O, intensidad de la radiación UV, etcétera, tanto en el tiempo como en el espacio, es lo que condujo el cambio desde la sopa primordial a LUCA. Una vez aparecida la primera célula, siguieron siendo las variaciones de las condiciones del entorno las que determinaron la aparición de diferentes especies, que ocuparon prácticamente todo el espacio de posibles nichos ecológicos. Pero no existió una *fuerza vital ascendente* que llevó desde LUCA a nosotros, fue una determinada (y azarosa) trayectoria posible de las con-

diciones del entorno en tiempo y espacio (figura 78; x, y, z, t) la que produjo la variación de un organismo en otro, y a su vez esto fue lo que permitió pasar de una especie a otra. ¿Qué hubiese pasado con el desarrollo de los primates si un sencillo hecho natural como la extinción de los dinosaurios no hubiese ocurrido? O ¿qué sería de nosotros si nuestro planeta no tuviera movimiento de placas, que como vimos en capítulos anteriores controlaron los procesos de regulación de la temperatura, que a su vez fueron la causa del desarrollo de una atmósfera con oxígeno?

**Figura 78.** La vida como una trayectoria azarosa posible en el despliegue de las posibilidades del megaverso



Fuente: elaboración propia.

Lo que intento transmitirles es la idea de que aunque sea muy improbable, en el escenario de infinitas cocinas donde hay Exquisita, huevos y agua, es posible que en alguna de ellas se haga una torta sola (podría ocurrir un terremoto que juntara los ingredientes y que comenzara un incendio que permitiera que la torta se cocinara). Es decir, la variación de las condiciones del entorno que permitieron que aparezcamos como especie es una trayectoria específica en el espacio de posibilidades de variaciones de esas propiedades (figura 78). Pero si ahora es posible pensar que existe un número muy grande de universos (¿infinitos?), la trayectoria que debió seguir la variación de las condiciones del entorno como función de (x, y, z, t) deja de ser extraordinariamente improbable (es tirar los dados con múltiples cubiletes simultáneamente). Lo que quiero decir es que existe la posibilidad de que no seamos hijos de Dios sino hijos de la contingencia más radical.

¿Qué quiere decir esto en términos más metafísicos? Que ya no es necesario recurrir a la hipótesis del diseño inteligente, o de un universo con sus constantes cosmológicas ajustadas para explicar por qué se dieron una serie de factores en forma tan ordenada temporalmente que condujeron a la aparición de la vida. ¿Quiere decir esto que entonces Dios no existe? No, esto no prueba la inexistencia de Dios, lo único que probaría, si la hipótesis del multiverso es cierta, y si Dios existiera, es que Dios es un jugador empedernido (tal vez de dados...), muy contrariamente a lo que pensaba Einstein. Insisto en decir que esto no prueba la inexistencia de Dios (como ateo debo ser honesto en este punto), porque la pregunta última de Leibniz: ¿por qué hay algo en lugar de nada?, no puede ser contestada con este marco teórico (al menos por ahora...).

Mi posición respecto del problema del sentido, si es que en algo importa...



Dibujo del artista plástico Panchi Ferreras del momento en el que estaba torturando a su padre con mi charla.

Llegados a este punto del relato, podemos volver a repetirnos la pregunta con la que arrancamos el capítulo 7: ¿Entonces, vivimos en un universo diseñado para nuestra existencia (la de los hombres) o en un universo sin diseño ni diseñador, y solo producto del azar?

Creo que si bien en términos generales esta pregunta ha desencadenado posiciones diferentes, la postura socialmente más aceptada, y *políticamente correcta*, es mayoritariamente que la ciencia y religión tratan planos diferentes y por lo tanto son compatibles. Me parece que es bastante difícil seguir sosteniendo esta posición. Un primer ejemplo lo tenemos en las actuales discusiones acerca del *fine tuning*: no son discusiones *científicamente puras*, sino que la discusión ha sido

permeada por posiciones religiosas que lo usan para justificarse. Pero más grave es aún el hecho de que nuestros actuales conocimientos científicos nos permiten imaginar alternativas, creo que bastante razonables, a la hipótesis de un dios creador (no creo que la existencia de un multiverso sea mucho más increíble que la existencia de un ser todopoderoso y omnipresente).

Por otro lado, la dimensión de nuestra ignorancia se ha ido modificando tanto en su tamaño como en la forma de sus interrogantes. La necesidad del hombre de establecer alguna relación con lo que desconoce, fundamentalmente porque lo que desconoce le genera incertidumbre, es difícil de controlar, y eso nos perturbaba como individuos. Esto hace que el hombre establezca alguna relación, racional o irracional, con lo que desconoce. Chomsky nos dice que podemos distinguir dos categorías diferentes en nuestra ignorancia: los problemas y los misterios. Un problema es un aspecto de nuestra ignorancia que podemos formular dentro de algún marco teórico, y que aunque no tenga una respuesta en este momento, podemos suponer que con el avance de la ciencia será resuelto alguna vez. Por misterio entiendo fragmentos de nuestra ignorancia que a priori asumimos como carentes de una explicación. El diccionario de la Real Academia Española define *problema* como “cuestión que se trata de aclarar”, mientras que *misterio* es definido como “cosa arcana o muy recóndita que no se puede comprender o explicar”. Es decir, los problemas están dentro de lo que se podría llegar a comprender en algún momento, mientras que los misterios no. Creo que la cuestión es que estas categorías presentan una relación dinámica en el tiempo, resultado del desarrollo de la cultura humana. Si como decíamos en capítulos anteriores, la cultura es el mecanismo de evolución extragenómico del *Homo sapiens*, que le permite ir resolviendo inconsistencias (es decir, desafíos evolutivos), el desarrollo de la cultura va transformando continuamente misterios en problemas. Lo que antes era un misterio en un cierto contexto cultural, ahora es un problema y más tarde será conocimiento científico. Por ejemplo, tratemos de imaginarnos a un pequeño artesano del medioevo pensando por qué al soltar una manzana esta caía al suelo. Era un misterio para él. Debimos esperar hasta Newton para que ese misterio se transformara en un problema que pudiera plantearse inteligiblemente y al que pudiéramos dar una respuesta. Más tarde Einstein le dio una vuelta de rosca con la teoría de la relatividad, pero sin embargo todavía hoy seguimos buscando solucionar las cuestiones gravitacionales de las partículas sumamente pequeñas. Lo que en un contexto cultural era un misterio, en otro es un problema, y además esta situación varía con el tiempo. Esto lo digo porque creo ha habido a lo largo de la historia del hombre una transformación de misterios religiosos en problemas científicos, de forma sostenida. Hace miles de años reverenciábamos fenómenos naturales, por ejemplo el rayo, porque lo considerábamos misterioso, supranatural. Más tarde nos dimos cuenta de que era un fenómeno natural, pudimos problematizarlo y explicarlo.

Pese a lo que he dicho hasta aquí, soy plenamente consciente de que un Dios creador resuelve entre otras cosas el problema, para mí central, de preguntarse

para qué existo. Existo porque alguien superior a mí así lo quiso. La idea de que solo somos una realidad de muchas, de que nuestro universo no es más que uno de los múltiples que existen, y de que, por lo tanto, existimos solo por las condiciones iniciales y las leyes físicas que nos tocaron por azar en nuestro universo, conmueve profundamente la creencia en un sentido absoluto para nuestra existencia y la del cosmos. Dios pudo haber estado jugando a los dados, y en lugar de un diseño inteligente pudo haber imaginado una aproximación combinatoria: *Que exista todo lo posible, y se hizo la luz* rezaría ese nuevo versículo del Génesis, pero me parece más probable que no haya razón necesaria, que las cosas existan simplemente porque sí, y que por lo tanto que no haya Dios, ni sentido absoluto de la existencia. Mucho mejor que yo lo puso en palabras Sartre, en un párrafo memorable de *La náusea* (1938):

Aquel momento fue extraordinario. Yo estaba allí, inmóvil y helado, sumido en un éxtasis horrible. Pero en el seno mismo de ese éxtasis, acababa de aparecer algo nuevo: yo comprendía la náusea, la poseía. A decir verdad, no me formulaba mis descubrimientos. Pero creo que ahora me sería más fácil expresarlos con palabras. Lo esencial es la contingencia.<sup>17</sup> Quiero decir que, por definición, la existencia no es la necesidad.<sup>18</sup> Existir es estar ahí, simplemente; los existentes aparecen, se dejan encontrar, pero nunca es posible deducirlos. Creo que hay quienes han comprendido esto. Solo que han intentado superar esta contingencia inventando un ser necesario y causa de sí. Pero ningún ser necesario puede explicar la existencia; la contingencia no es una máscara, una apariencia que puede disiparse; es lo absoluto, en consecuencia, la gratuidad perfecta. Todo es gratuito: ese jardín, esta ciudad, yo mismo. Cuando uno llega a comprenderlo, se le revuelve el estómago y todo empieza a flotar... eso es la náusea.<sup>19</sup>

Muchos años después (en el 2006), Leonard Susskind –como les comenté antes, uno de los padres de la teoría de las cuerdas– escribió un párrafo en su libro *The Cosmic Landscape* que me hace acordar muchísimo al párrafo precedente de Sartre; creo que tiene la misma sensibilidad, pero tamizada por la mirada de un científico.

*Why is a certain constant of nature one number, instead of another?... Somewhere in the megaverse, the constant equals this number; somewhere else it is that number. We live in one tiny pocket where the value of the con-*

---

17 Diccionario de la RAE: “posibilidad de que algo suceda o no suceda”.

18 Diccionario de la RAE: “aquello a lo cual es imposible sustraerse, faltar o resistir”. Nota de Javier: “supongo que referencia a lo absoluto, al ser necesario, es decir a Dios”.

19 Jean Paul Sartre. *La náusea*, Buenos Aires: Losada, 2010, p. 216.

*stant is consistent with our kind of life. That's it! That's all! There is no other answer to the question.*<sup>20</sup>

[¿Por qué una cierta constante de la naturaleza tiene un determinado valor en lugar de otro?... En algún lugar del megaverso esa constante tiene ese determinado valor. Vivimos en un pequeño bolsillo donde el valor de la constante es consistente con nuestro tipo de vida. ¡Eso es! ¡Eso es todo! No hay otra respuesta a la pregunta].

También me gustaría traer aquí las palabras de otro científico y amigo de Camus, Jacques Monod, acerca de la naturaleza totalmente contingente de la existencia humana:

No tenemos, en la hora actual, el derecho a afirmar, ni el de negar, que la vida haya aparecido una sola vez sobre la Tierra, y que, por consecuencia, antes de que existiera, sus posibilidades de ser fuesen casi nulas. Esta idea no resulta desagradable solo a los biólogos como hombres de ciencia. Ella choca con nuestra tendencia humana a creer que toda cosa real en el universo actual era necesaria, y desde siempre. Nos es preciso estar siempre en guardia contra el sentimiento tan poderoso del destino. La ciencia moderna ignora toda inmanencia. El destino se escribe a medida que se cumple, no antes. El nuestro no lo estaba antes de que emergiera la especie humana, única en la biósfera en la utilización de un sentido lógico de comunicación simbólica. Otro acontecimiento único que debería, por eso mismo, prevenirnos contra todo antropocentrismo. Si fue único, como quizá lo fue la aparición de la misma vida, sus posibilidades, antes de aparecer, eran casi nulas. El universo no estaba preñado de la vida, ni de la biósfera del hombre. Nuestro número salió en el juego de Montecarlo. ¿Qué hay de extraño en que, igual que quien acaba de ganar mil millones, sintamos la rareza de nuestra condición?<sup>21</sup>

Sartre, Susskind y Monod nos hablan de la contingencia y gratuidad de lo que existe. La plena conciencia de la contingencia perturba hasta los huesos. Si todo lo que existe puede haber no existido casi con la misma probabilidad, si no hay una razón necesaria para mi existencia ¿qué hacemos entonces?, ¿cómo logramos darles un sentido a nuestras vidas? Me gustaría al respecto traer en mi auxilio algunas palabras de Albert Camus. Dice Camus:<sup>22</sup>

Yo, por el contrario, he elegido la justicia, para permanecer fiel a la tierra. Sigo creyendo que este mundo no tiene sentido superior. Pero sé que

20 L. Susskind. *The Cosmic Landscape*, p. 21. Back Bay Books: Nueva York, 2006.

21 Jacques Monod. *El azar y la necesidad*. Buenos Aires: Orbis, 1985.

22 Albert Camus. *Cartas a un amigo alemán. Carta tercera*. México: Aguilar, 1968.

algo en él tiene sentido, y ese algo es el hombre, porque él es el único ser que exige el tenerlo. Este mundo tiene por lo menos la verdad del hombre, y nuestra tarea es la de darle sus razones contra el destino mismo. No hay otras razones más que el hombre, y es a este al que hay que salvar si se quiere salvar la idea que uno se hace de la vida.

Comparto esta visión radical de la ausencia de un sentido absoluto de la existencia, de la ausencia de un sentido único, y además rescato de Camus y otros humanistas la idea de que la medida que debemos usar para encontrar un sentido a la existencia es el hombre mismo. Es decir, no va a existir un único sentido, sino que muy probablemente van a existir muchos. El lector estará tentado de pensar que estoy haciendo una justificación del relativismo moral y que *vale todo*, cualquier sentido. No, repito, creo que la vara no es Dios, es el hombre, y eso centra y restringe el problema en lo que es bueno para el hombre.

Por otro lado, creo que hay otra realidad que nos hermana como hombres, tanto como la idea de ser hijos de Dios: la muerte. Todos vamos a morir, es lo único seguro. Es más seguro que nos vamos a morir que el hecho de que seamos hijos de Dios. Entonces, si todos vamos a morir, por qué no nos hermanamos ante esta tragedia, y aceptamos este absurdo (¡nos vamos a morir...!) y, como Camus pedía, hacemos de ella una filosofía basada en su aceptación, que nos haga ver que si vamos a morir, tal vez debamos buscar algún sentido que nos ayude en este camino que tiene un final definitivamente trágico. Tal vez piensen que mucha gente agobiada por una angustia existencial saldría desesperada a cometer toda clase de desmanes, justificados en la inexistencia de un principio moral absoluto. Yo creo que si bien eso podría ocurrir, sería marginal; confío en que el sentimiento del absurdo conmovería nuestros corazones de forma tal que despertaría lo mejor de nosotros, que nos hermanaría. Es casi como la aspiración de la caridad cristiana pero no fundada en el hecho de que somos hijos de Dios, sino en el hecho de que todos nos vamos a morir... y pese a que no hay Dios, y no hay paraíso... *de todas maneras está el hombre, aquí y ahora, y debemos construir un sentido para nuestras vidas.*

Pero como nos estamos poniendo un poco filosóficos, y eso escapa totalmente a mis limitadas capacidades químicas, Mario, en el próximo capítulo, nos hablará con más autoridad sobre estas cuestiones.

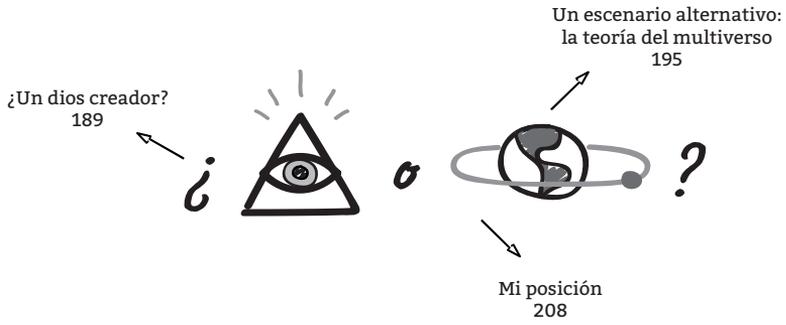
## **Lecturas sugeridas**

Steven Manly. *Visions of the Multiverse*. Nueva Jersey: New Page Books, Pompton Plains, 2011.

Leonard Susskind. *The Cosmic Landscape*. Nueva York: Back Bay Books, 2006.

Brian Greene. *The Hidden Reality*. New York: Alfred A. Knopf, 2011.

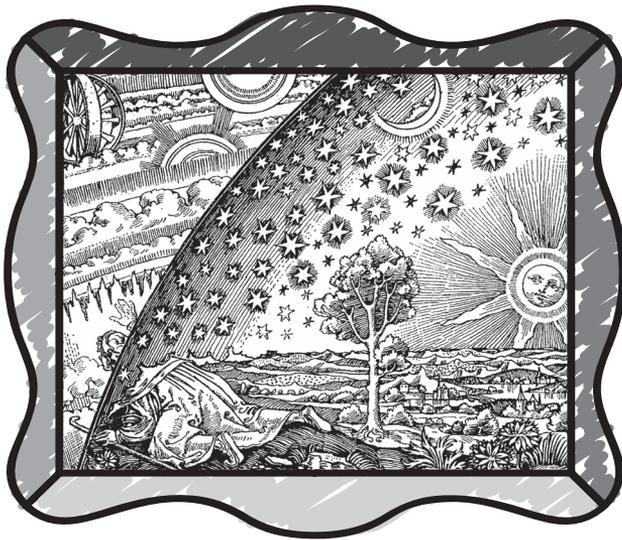
## Resumen del capítulo 7





# 08

## De la física a la metafísica





*Algunas reflexiones acerca de la ciencia natural. - En torno al fenómeno de la vida. - La revolución metafísica y la ciencia.*

## **Algunas reflexiones acerca de la ciencia natural**

El norte de todas las consideraciones que propone este capítulo es *aquello* que la ciencia de la naturaleza siempre presupone y no puede dejar de presuponer; aquello que, siéndole constitutivamente necesario, no se deja comprender, sin embargo, a través de los recursos que ella misma pone en obra: lo que la ciencia natural transporta pero frecuentemente no puede ver.

Este “aquello” está hecho de un conjunto de supuestos *no experimentables* gracias a los cuales la ciencia natural puede dar cuenta de nuestro mundo. En tanto estos supuestos no “físicos” desempeñan en ella el papel de principios explicativos últimos, nos encontramos ante principios *metafísicos*: nuestro tema será el eco metafísico que resuena en la certeza científica y la sostiene. Se podría, también, expresar esta idea desde otra perspectiva: la ciencia como punto de llegada y no como punto de partida. La ciencia como *terminus* de intuiciones fundamentales no “científicas” que la preceden, como criatura de geniales decisiones especulativas que intervienen para hacer posible la comprensión científica de lo real.

Se entiende entonces que en este capítulo no vayan siquiera a mencionarse cuestiones de “metodología” científica; que tampoco se considere el problema de la “lógica” de los descubrimientos científicos –su continuidad o sus imprevisibles revoluciones, la acumulación de conocimientos o su constante y radical derogación–; que se desatiendan problemas “epistemológicos” como los de la verificación o la validación, o problemas “políticos”, como los de la preeminencia de un patrón del pensamiento científico, vuelto dominante por sobre otro en una época dada. Aquello que la ciencia de la naturaleza siempre ha debido suponer para poder comenzar –*una metafísica*– tiene sus propias razones y a sus exigencias intentaremos mantenernos apegados. En pocas palabras, no se propone aquí alguna discusión sobre los resultados de la ciencia natural sino, por el contrario, una reflexión *sobre su posibilidad*.

La significación del conocimiento en general (y del conocimiento científico natural en particular), la idea de causalidad –pivote de la ciencia natural–, el espacio, el tiempo, los sucesivos “rediseños” de la naturaleza y, finalmente, el fenómeno de la vida, son las estaciones del camino propuesto.

Nos queda anunciar que lo que sigue es un relato discrecionalmente atento a ciertos problemas, pensadores y argumentos. Una aproximación posible a ellos y no la fotografía documental de un hecho histórico: no es “la filosofía” quien interroga, reflexiona y responde aquí, sino el profesor de Filosofía que ha ido a buscar sus alimentos a un fondo disponible hecho de algunos de sus pensadores favoritos.

El itinerario escogido no goza pues de las prerrogativas de la *necesidad* y, se sabe, por principio pero también por experiencia, que su elección será difícilmente compartida por otros filósofos sin quejas o reservas. Como la ciencia de la naturaleza, la filosofía no puede ofrecer un menú que satisfaga a todos los comensales.

Por último, el conjunto de consideraciones propuestas intenta seguir como una sombra los movimientos del rico y sumamente estimulante trabajo de Javier Montserrat. Una sombra libre, sin embargo, que desde el comienzo se separa del cuerpo que la proyecta y, debiéndole todo, lo merodea inquisitivamente. La forma de la exposición, el lenguaje, el grado de dificultad de los análisis, e incluso el grado de rigor histórico de las referencias escogidas estuvieron determinados por el que fuera el objetivo inicial de este libro: proponer a un público de estudiantes iniciales de la Universidad Nacional de General Sarmiento –científicos, técnicos y humanísticos– una aproximación a los problemas suscitados por el desarrollo de la astrobiología a través de una doble lectura, científica y filosófica.

La iniciativa del profesor Javier Montserrat de poner en diálogo ciencia y filosofía en torno a lo que, en ausencia de una expresión más precisa, se acostumbra denominar *cuestiones límite*, posee para un profesor de Filosofía aquello que Nietzsche llamaba “el aire fresco de la altura”. Un aire vigorizante que sopló dos veces en la historia; y lo hizo aquellas veces no de un modo excepcional, sino bajo la forma de época: la primera cuando –en el momento de la fundación aristotélica de la antigua ciencia natural (vigente hasta el siglo xvi)– la ciencia era filosofía y la filosofía, ciencia.

La segunda, cuando la genial invención de nuestra ciencia actual empujó entre los siglos xvi y xviii a generaciones de científicos, entre ellos a Nicolás de Cusa, Galileo, Descartes, Copérnico y Newton, a discutir acalorada y apasionadamente *la metafísica sobre la que se había levantado la vieja ciencia* y a elaborar los principios de una *nueva metafísica* capaz de sostener sus recientes y revolucionarios descubrimientos e invenciones (heliocentrismo, geometría analítica, ley de la gravitación universal, principio de inercia, etcétera). No hay ni hubo nunca ciencia de la naturaleza sin una metafísica. No hay conocimiento del mundo sin un conjunto de principios últimos e *inexperimentables* que determinan qué es y qué no es la realidad: la filosofía no se opone a la ciencia sino que siempre está supuesta en ella.

## **El cientificismo**

A fuerza de escucharla una y otra vez casi nos hemos habituado a la idea: el orden de la verdad, es decir, el orden de lo real, queda establecido y resguardado de

cualquier desvarío místico, religioso o especulativo por el proceder de las ciencias empíricas. El cientificismo es esta poderosa creencia que desde hace dos siglos no ha dejado de transformar la cultura, impulsada por el designio de hacer de ella una cultura *objetiva* para un hombre y un mundo *objetivos*. Formulada de un modo más preciso, la idea científicista dice: “Solo y únicamente la ciencia, con sus métodos experimentales, sus mediciones y sus procedimientos inductivos está en condiciones de decidir qué es lo verdadero y qué lo falso”.

A favor de esta declaración valen los éxitos sin precedentes que en el campo de las explicaciones y de las aplicaciones prácticas la ciencia ha conseguido en este período. Y sin embargo, si el poder explicativo de la ciencia natural es indisoluble de estos métodos experimentales, procedimientos regulados y mediciones ¿puede, *limitándose a ellos*, como lo exige su principio fundamental, demostrar *la verdad* de la afirmación científicista? En cualquier caso esta proposición del cientificismo (“Solo la ciencia con sus métodos experimentales tiene el derecho de determinar qué es lo verdadero”) *no admite demostración empírica ni cálculo* y conlleva un prejuicio fundado en sus *supuestos no examinados: cierta comprensión de la verdad y de la realidad como objetividad, de la ciencia como reflejo imparcial de aquella y de la naturaleza como lo calculable*.

### En torno a la naturaleza. Retorno a la metafísica

En la medida en que los griegos llamaban *physis* a la naturaleza, llamaremos en un sentido muy amplio física a la ciencia de la naturaleza en general, englobando así bajo este término a sus disciplinas específicas (biofísica, astrofísica, química, biología, etcétera). Nos autoriza a hacerlo el hecho de que cada una de estas disciplinas, inscrita en el movimiento común de interrogación de la naturaleza, solo se distingue de las otras por su objeto físico particular y, en ocasiones, por su modo de acceso a él, es decir, por su método de investigación.

Vemos árboles, ríos, montañas, cielo, estrellas. Sin embargo, la *physis* no es un objeto puesto de una vez y para siempre ante la mirada del científico. Es, por el contrario, un constructo sumamente indeterminado y cambiante, *elaborado a partir de nuestras percepciones y apoyado en presuposiciones últimas* que, sin embargo, no son objeto habitual de la interrogación del científico y, en verdad, ni siquiera pertenecen al campo definido como *physis*: nadie ha percibido un infinito, nadie ha visto un verdadero comienzo (no un comienzo “a partir de” –esto sería más bien un origen–, sino aquel verdadero comienzo en el que el término encuentra su significación plena), nadie ha visto en rigor materia, ni siquiera fuerzas objetivas. Podríamos continuar esta enumeración afirmando que nadie ha encontrado, a través de algún instrumento o de algún procedimiento empírico, tiempo o espacio. Se podría también añadir que no existe instrumento alguno ni experimentación que resulte adecuada para poner de manifiesto ante la mirada del científico “en carne y hueso” alguna de estas entidades a partir de cuya presupo-

sición se eleva y sin duda progresa acelerada y exitosamente la ciencia contemporánea.

En efecto, aquello que la ciencia natural llama *naturaleza*, y que constituye su objeto de investigación, no se ofrece a ninguna constatación directa sino que resulta de una elaboración en la que intervienen, de un modo decisivo, no solo entidades sumamente abstractas como materia y forma, sino también otras que pueden ser experimentadas subjetivamente pero no *directamente* observadas mediante procedimientos científicos<sup>1</sup> (tiempo, energía, fuerza) y otras –totalmente desligadas de nuestra experiencia sensorial– como universo, infinito, comienzo, totalidad, nada, que podríamos llamar *ideas* y que permiten, a través de un discurso racionalmente justificado, sostener la idea de naturaleza y definirla.

La naturaleza de la ciencia natural (pero también la del sentido común) supone así *una metafísica* que le permite, a partir de sus supuestos e ideas propias, fundar una determinada concepción de aquello que debe entenderse por naturaleza para interrogarla y organizar sus respuestas en la dirección preestablecida por estos supuestos e ideas. Dicho en otras palabras, lo sepa o no el científico de la naturaleza, *siempre una cierta metafísica es la condición de una física*.<sup>2</sup> Llamaremos *metafísica* “al conjunto de principios explicativos de la naturaleza, principios no experimentables y constantemente supuestos por la física en sus investigaciones”. Estos supuestos (históricamente, por ejemplo, sustancia, materia, forma, acto, potencia, tiempo y espacio homogéneos, fuerza, etcétera) *han determinado los diferentes modos en que la física se ha representado la naturaleza*.

Es sabido que más difícil que obtener buenas respuestas es formular las preguntas adecuadas. La buena pregunta, afirmaba M. Heidegger (1889-1976), permite ver a través de sí, ya que es ella misma un camino que transparenta en dirección a aquello que se busca. Sería un camino erróneo que una reflexión sobre las nuevas cuestiones límite que surgen de los extraordinarios progresos de la ciencia se desolarizase de una consideración de los supuestos metafísicos implicados por la ciencia. Las cuestiones límite son precisamente aquellas que hacen surgir con mayor visibilidad los supuestos metafísicos sobre los que la ciencia se apoya. Un saber como la filosofía, que pretende buscar el fundamento, no puede sino exigir radicalidad. Y la radicalidad –llegar a la raíz del asunto– tal vez no sea cosa de avance sino de retroceso. Por este motivo el diálogo entre la filosofía y la ciencia no podría ser directo –establecido sin pausa en un único lenguaje, el de la ciencia, o sin un merodeo en torno a las preguntas que surgen del quehacer científico– sino que ha de exigir que se retorne al ámbito en que la ciencia moderna se forjó para intentar hacer aparecer el suelo sobre el que *ese comportamiento propiamente humano particular que es la ciencia* asentó sus bases y tomó sus primeras decisiones,

---

1 Mostraremos más adelante, a título ejemplificatorio, el carácter aporético de toda tentativa de “medir” el tiempo.

2 En la sección titulada “Los supuestos metafísicos de la ciencia” proponemos un breve abordaje histórico de la relación genética entre metafísica y física.

aquellas que le imprimieron el curso que habría de determinar sus preguntas actuales y tal vez también las del futuro próximo. Será preciso pues examinar aquellas decisiones que llevaron a la física a definir su objeto, la naturaleza.

Pero es preciso comprender que este retorno al pasado no aplaza la reflexión sobre ciertos problemas límite con que la ciencia de hoy se topa en su marcha sino que, por el contrario, constituye una garantía para su inteligibilidad. Pues han sido los supuestos de la ciencia naciente, que como tales precisamente *no son nada físico*, los que determinaron no solamente la modalidad inicial de su marcha sino también el significado de aquello que se debía conocer: la naturaleza. Estos supuestos no físicos constituyen una metafísica.

Ahora bien, a la metafísica necesariamente supuesta por la ciencia cuando define la naturaleza (o la realidad) se debe añadir otro supuesto: el de *una axiomática*, es decir, el de un conjunto de verdades autoevidentes e indemostrables por vía de la razón sin petición de principio, verdades siempre presupuestas en toda demostración. Sobre este propósito, Aristóteles (384 a. C.-322 a. C.) –padre de la lógica– comprendió y puso de relieve (como para inmunizar a la ciencia contra una posible soberbia del conocimiento) *el fundamento irracional que posee la axiomática sobre la que inevitablemente se yergue el pensamiento racional y, por consiguiente, todo el edificio de saberes*.

En realidad, la axiomática en que se funda la ciencia de la naturaleza es doble: por un lado, la racionalidad –no la del científico, sino la de lo humano en general y por lo tanto también la de la ciencia– *abreva en principios autoevidentes e indemostrables que por lo tanto fundan su validez en un abismo de irracionalidad* que nos es tan impensable como extrañamente familiar. ¿Por qué razones se habría de aceptar la fuerza con que se impone el principio de no contradicción, o el del tercero excluido? ¿En virtud de qué *racionalidad* se impone el principio de identidad de acuerdo con el cual A es necesariamente igual a A, o aquel, de la geometría, que impone que por dos puntos pasa una única recta?<sup>3</sup>

Por otro lado, junto con esta axiomática que gobierna a la razón, la ciencia de la naturaleza encuentra una axiomática *sui generis*: un conjunto de evidencias primeras indemostrables *en la percepción*. “Axiomática de la percepción” es, ante todo, el simple hecho de que algo *aparece*, siempre algo hay aun cuando no haya nada. El “aparecer”, el mostrarse de las cosas, gracias al cual el hombre entra en contacto con el mundo y sus contenidos (y también se aparece a sí mismo) es un hecho bruto, indemostrable,<sup>4</sup> *una premisa de los sentidos que cualquier experimen-*

3 Que el principio de identidad no se cumpla en una lógica “dialéctica” y que la ley geométrica que ata una única recta a dos puntos no se verifique en una geometría no euclidiana no altera el hecho de que siempre una axiomática –un conjunto de evidencias iniciales indemostrables– gobierna al pensamiento.

4 Hemos de distinguir más adelante entre *demostrar* y *mostrar*. Para el caso no es importante, pues *el aparecer* es tan indemostrable como in-mostrable.

tación física habría de suponer –en tanto ella misma también aparece– y entonces haría girar en círculo vicioso a cualquier tentativa de demostración.

La filosofía contemporánea ofreció el nombre de *facticidad* a esta imposición totalmente *injustificable* del “siempre hay algo aun cuando no hay nada”, que hemos llamado aquí *axiomática de la percepción*. Bajo la idea de facticidad la filosofía destaca por lo general la imposibilidad de *justificar* la presencia de *las cosas*, la *imposibilidad de derivarlas de alguna forma de necesidad*. “¿Por qué hay algo y no más bien nada?”, se preguntaba Leibniz (1646-1716),<sup>5</sup> inaugurando hace tres siglos un cuestionamiento que, en su desarrollo, habría de promover al centro de la escena la facticidad y la contingencia del mundo y sus contenidos.

Sin embargo, en la interrogación de Leibniz el asombro parece apuntar a las cosas, a los entes y *no al puro hecho de su aparecer* que, a su modo *sui generis*, también “es” algo y, respecto de las cosas, el “algo” más fundamental. Atenta a las cosas, atenta a lo que aparece, la *ciencia siempre presupone su aparecer aunque no lo toma como objeto de interrogación*. Sobre este punto decisivo, que nos parece demarcar ejemplarmente el ámbito del cuestionamiento científico (las cosas) del de la filosofía (su ser, su aparecer) volveremos en la sección titulada: “El problema del comienzo: significación de lo ontológico para el conocimiento”.

Nadie ha visto el mundo, el universo (del latín *uni-versum*: “todo vertido en uno”), el cosmos (del griego: “totalidad ordenada”) puesto que lo referido por estos términos no es una “cosa” susceptible de ser dada a la percepción. Estos términos, que en su uso corriente pueden en parte analogarse, no son el nombre de cosas susceptibles de ser dadas empíricamente, es decir conceptos, sino, según mostraba Kant, *ideas* que, *formadas por la razón*, le permiten poner un término a la cadena causal, en principio infinita, que ata uno a otro a los fenómenos de la naturaleza. “Mundo” es pues la última razón, la idea que pretende contener todo aquello conocido o susceptible de serlo en la realidad exterior. Ahora bien, las ciencias empíricas, la física, la química, la biología por ejemplo, no se ocupan del “mundo” en general sino de la “naturaleza”.

El término griego *physis* fue traducido al latín como *natura*, de donde proviene nuestro término naturaleza. Esta traducción expresa ya una nueva manera de entender la *physis*, si es verdad que, como lo afirmó Heidegger, la significación originaria griega de *physis* era “eclosión”, “despliegue”, y nada en el término griego tiene relación con la semántica de “nacimiento”, del “nacer” y de lo “nacido” que, por el contrario, pasó a expresar el término latino *natura* al que refiere la naturaleza, tal como hoy la comprendemos.

En efecto, en el libro V de la *Metafísica* Aristóteles pasa revista a los distintos sentidos de *physis* y presta especial atención a su etimología. *Physis*, dice el filósofo, se dice ante todo de la generación de lo que crece<sup>6</sup> (*Metafísica*, V, cap. 4). Pero

---

5 Si bien la pregunta de Leibniz estaba planteada sobre un trasfondo teológico que no desembocaba en ninguna facticidad.

6 Del griego *phuô*, *phuesthai*: crecer, empujar, desarrollarse.

¿cómo entendían los griegos el crecimiento? En su *Introducción a la metafísica* – intentando obtener una comprensión más originaria del término *physis*– Heidegger sugiere aproximar este “crecer” a un *hacer eclosión, aparecer*, que indicaría el sentido más originario que el término había tenido para los griegos. Un *aparecer* que debe entenderse como un *venir a la presencia y permanecer en ella a partir de sí mismo*. Así, de acuerdo con el filósofo alemán, la comprensión de *physis* como naturaleza y como crecer sería ajena a la experiencia que antiguamente había hecho el hombre griego de su mundo: la antigua idea griega de *physis* apuntaba al misterio del “aparecer” o, si se quiere, del “ser” y no al enigma –derivado de él– de las “cosas” que aparecen o nacen.

Por consiguiente, sería, en todo caso, un error considerar el desarrollo de la ciencia natural como el de un proceso a través del cual el intelecto humano arranca progresivamente sus secretos a una realidad invariable –la naturaleza– que se encuentra plantada ante su mirada. No porque semejante consideración errara al no tener cuenta de las infinitas y constantes variaciones de la naturaleza,<sup>7</sup> sino porque, como hemos visto, la comprensión de aquello que se ha de entender por naturaleza es lo que ha cambiado en el curso de la historia. La historia de esta transformación de sentido nos importa aquí no solo porque determina aquello que se debe entender por “ciencia de la naturaleza”, sino porque además constituye una expresión exterior de otra transformación mayor: la del modo en que el hombre hace su experiencia del mundo en que vive y, encontrando un lugar en él, se comprende a sí mismo. La historia de la transformación del modo en que se ha comprendido aquello que llamamos naturaleza es pues también la de la transformación de la autocomprensión del hombre.

La idea de naturaleza ha sido utilizada en sentidos diferentes por la filosofía: algunas veces como naturaleza *en general*, por ejemplo en Spinoza (*natura naturante*, sustancia infinita que el filósofo identifica con Dios), otras veces considerada en particular, designando la naturaleza de un ser (“mi naturaleza”, por ejemplo) y se la ha utilizado hasta en los dos sentidos contrarios dentro de una misma proposición: “En la naturaleza, escribía Spinoza, no puede haber dos o varias sustancias de la misma naturaleza o atributo”.<sup>8</sup>

La antigua concepción de la naturaleza se la representó primero como eclosión-aparecer, y luego como una potencia creadora que engendra todas las cosas

7 Que, como pensaba Aristóteles, lleva en su seno el principio de todos sus cambios.

8 A esta declaración reaccionaba con extrañamiento el filósofo Leibniz cuando escribía: “Observo aquí que la expresión ‘en la naturaleza’ parece inútil. ¿Entiende Spinoza con ella ‘en la universalidad de las cosas existentes’ o por el contrario, ‘en la región de las ideas o de las existencias posibles’? Me asombra también que tome la palabra naturaleza y la palabra atributo como equivalentes, a menos que por atributo entienda lo que contiene la naturaleza toda entera”. Para Leibniz, autor de un *Nuevo sistema de la naturaleza* y también de *Principios de la naturaleza y de la gracia*, todo el sistema de Spinoza se basaba en una serie de malentendidos y confusiones en torno a la palabra naturaleza (J. L. Grateloup. *Cours de Philosophie*, p. 332. París: Hachette, 1990).

(*natura naturante*). La obra de esta potencia universal y eterna (pues siendo ella creadora del tiempo es inmune a la destrucción que este produce) siempre se contrapuso a la precariedad de los emprendimientos humanos, que solo subsisten gracias a un esfuerzo incesante, y fue desde temprano representada y honrada bajo la forma del *phalus* y del *lingam*, los órganos de la generación.<sup>9</sup>

Sin embargo, no fue el pensamiento científico sino, antes que él, el teológico, el que conmovió esta antigua solidaridad pagana o panteísta entre el hombre y una naturaleza entendida como inmenso poder de creación. En efecto, con el pensamiento teológico la *natura naturante* fue transformada en una *natura naturata* por Dios.<sup>10</sup>

A partir del siglo xvii el científico no está en la naturaleza sino ante ella. En esta exterioridad recíproca la “naturaleza” ha cambiado nuevamente su significación y es concebida determinísticamente como un conjunto de fenómenos sometidos a leyes (*natura naturata*).

## El ser y el pensamiento a la luz del problema del tiempo

En tanto el término *physis* pretende designar a través de las transformaciones históricas de su sentido *el ser verdadero y real* y, por otra parte, la física es el nombre del *saber que lo tiene por objeto*, es preciso abordar la cuestión del lazo entre el ser y el pensamiento: la relación entre la física y su objeto, la naturaleza, pone en juego la cuestión del lazo entre conocimiento y realidad.

La transcripción filosófica de la pregunta por lo “real” es la pregunta por el ser. ¿A propósito de qué es posible afirmar sin ambigüedad “es”, “es real”? Y, correlativamente, ¿qué no lo es? Pero, ante todo, ¿qué significa “ser”?

La cuestión del sentido del ser no se planteó con claridad desde los inicios del pensamiento griego, aunque seguramente de un modo implícito haya sido su motor más poderoso. Los llamados filósofos “físicos” de Jonia<sup>11</sup>—debido tanto a sus preocupaciones cosmológicas (¿de dónde proviene el mundo visible?, ¿en qué se origina el universo aparente?) como al tipo de sus respuestas—no plantearon la pregunta por aquello sobre lo que se puede decir “es” sino que, *dando por supuesta* la realidad del mundo visible, es decir su “ser”, referían la diversidad y multiplicidad de las cosas a la unidad originaria de un fundamento material (*archè*), que ocupaba el papel de principio último de sus explicaciones. El agua, el aire, la tierra, lo infinito indeterminado, el fuego, etcétera, fueron sucesivamente consi-

---

9 Las formas fálicas de obeliscos y monumentos son testimonio del tributo que la imaginación rindió al inconmensurable poder de la creación natural.

10 “La naturaleza de los filósofos paganos es una quimera—escribía Malebranche (1638-1715)—, en verdad, lo que se llama naturaleza no es otra cosa que las leyes generales que Dios ha establecido para construir o para conservar su obra”.

11 Que habitaron Jonia, también llamada Grecia asiática, en el vi a. C.

derados el fundamento a partir del cual se explicaba la infinita diversidad de los entes. Las preguntas de estos filósofos buscaban elucidar aquello que Aristóteles llamaría más tarde la “causa material” de la *physis*. Las explicaciones propuestas por los jonios, análogas en cuanto a su forma a las de nuestra ciencia contemporánea, consistían en referir un fenómeno a otro que lo precedía en el tiempo y lo producía (del latín *pro-ducere*, “conducir delante”).<sup>12</sup>

Fue Parménides de Elea (530 a. C.-?) quien por primera vez se dio la tarea, desatendida por los jonios, de dilucidar el sentido de lo que “ser” podría significar en lugar de proponer algún “ente” particular (por ejemplo, el aire, el fuego, etcétera) como fundamento, es decir, como elemento explicativo último de toda realidad. Lo hizo a través de un poema que ha llegado, fragmentariamente, hasta nuestros días. El poema confronta la “opinión” (*doxa*) –suerte de no-saber ligado a la creencia en *nuestros sentidos*– con el conocimiento *racional*. La oposición entre ambos se justifica pues los sentidos nos abren a un mundo donde una infinidad de singularidades cambia constantemente, deviene, al punto que sobre cada una de ellas *es imposible realizar una proposición de conocimiento*. En efecto, resulta imposible el uso del “es” a propósito de aquello que consiste en cambiar. Imposible afirmar “la mar es azul” sobre lo que no es, sino que, deviniendo incesantemente, está dejando de ser lo que es: *solo es posible conocer aquello que no cambia, el ser*.

Esta oposición entre ser y devenir, que es el fundamento de la oposición tradicional entre “ser” y “apariencia”, se origina en la misteriosa e incomprensible *intervención del tiempo en la manifestación de los fenómenos*. Pues el tiempo es lo que separa definitivamente de sí a todo lo que en él aparece, volviendo imposible decir, sobre la cosa: ella “es”. Nada “es” sobre su fondo. La mesa ya no es la mesa que era hace solo un instante. Y llevando, como corresponde, este análisis a su límite, se ha de decir que ni siquiera *es la mesa que es*.

Poniendo a distancia de sí a todo lo que toca, el tiempo impide que se constituya algo como un sí mismo y, en su operación silenciosa, presenta deshaciendo de antemano lo que aún no ha llegado a ser.<sup>13</sup>

Únicamente sobre el ser verdadero y no sobre aquello que nos muestran los sentidos sobre fondo de tiempo es posible afirmar “es”, pensó Parménides. Y la consecuencia de esta afirmación legítimamente racional fue de una importancia decisiva para el destino que asumiría el pensamiento de Occidente: si el ser “es”, será preciso decir que, por el contrario, el no-ser “no es”; o lo que es lo mismo, la nada no existe; *solo hay ser*. Así, se pondrían de manifiesto en el poema de Parménides *las estrictas constricciones que impone al pensamiento el término “ser”*.

<sup>12</sup> Todo procede de “lo ilimitado” (Anaximandro); todo procede del aire (Anaxímenes); todo procede del agua (Tales de Mileto), etcétera.

<sup>13</sup> Como vemos, el problema de la relación entre el ser y el tiempo es fundamental y, en tanto la medición del tiempo constituye uno de los pilares de la ciencia moderna en su tarea de determinar lo que “es” verdaderamente, hemos de consagrar más adelante a esta cuestión una parte de nuestra reflexión.

Veámoslo: en tanto no existe un “no-ser”, el ser ha de ser *pleno* y sin fallas, pues ninguna región de no-ser, ninguna nada, podría alojarse en él; *no creado*, pues de lo contrario habría comenzado una vez viniendo desde el no-ser; *eterno*, pues no podría deslizarse hasta desvanecerse en la nada; *inmóvil*, puesto que todo cambio significa *no ser* ya lo que se es; *único*, pues de otro modo, fuera de su dominio, nos enfrentaríamos con un imposible *no ser*.

Es imposible objetarle a Parménides que *no tiene razón*, que la evidencia que nos ofrecen nuestros sentidos ridiculiza a su construcción especulativa. Pues *los sentidos jamás “tienen razón”*: sin duda ellos *muestran*; pero *solo la razón demuestra*. Se cuenta que un discípulo de Parménides –el célebre Zenón de Elea– exponía una de las paradojas resultantes del pensamiento de su maestro ante un numeroso público, entre el cual se encontraba un representante de la corriente del filósofo Heráclito, para quien solo existe devenir y cambio. El parmenideano Zenón demostraba a su audiencia *la imposibilidad del movimiento* con el argumento de que una flecha jamás podría llegar a su meta, dado que para lograrlo debería cumplir la imposible tarea de atravesar una cantidad infinita de puntos del espacio en un tiempo finito. El discípulo de Heráclito se retiró haciendo el suficiente ruido como para llamar la atención del expositor, pretendiendo mostrarle con su ofensiva retirada que, *contra todo argumento racional*, el movimiento existía. La respuesta de Zenón fue una verdadera lección de filosofía: “solo la razón tiene razón”, le lanzó. El heracliteano *creía* –basándose en sus sentidos– estar retirándose, pero en realidad no lo hacía. *Mostrar no es demostrar* y solo la razón “tiene razón”. *El sentido de lo que es mostrado no proviene nunca del hecho mismo sino de la razón*. Es esta quien determina *qué significa* este hecho.

La concepción parmenideana de la unicidad, de la inmovilidad, de la eternidad y de la plenitud del ser hizo su camino. Platón, sobre cuyo pensamiento escribió alguna vez Bertrand Russell (1872-1970): “Toda la filosofía occidental podría caber en una nota al pie de una página de Platón”, fue quien llevó esta concepción del ser a su expresión más acabada. Platón trataba de dar cuenta –sin abandonar las exigencias resultantes de la meditación de Parménides sobre el ser (su eternidad, su inmovilidad, su plenitud, su unicidad, su indivisibilidad, etcétera)– *de la diversidad y de los cambios de que dan testimonio nuestros sentidos*. Este mundo cambiante al que nos abre la percepción sin duda no está a la altura de las rigurosas constricciones que impone el ser, y por ello, en rigor, no “es”, al menos en igual grado que el ser verdadero.

Así se estableció un clivaje entre ser y aparecer que durante dos milenios sería determinante en el pensar: el ser no aparece; por el contrario, aquello que aparece no “es” sino que “parece”.

Platón encontró en las *ideas* (*eidei*: “formas” intelectuales de las cosas” o “esencias”) satisfacción a todas las exigencias que había despejado Parménides en su análisis del ser verdadero. Plenas, invariables, eternas, únicas, lo son únicamente las ideas. La idea de “mesa” posee la realidad de la que cada mesa concreta y cambiante está privada. Cada una de las mesas percibidas no es más que una

copia, una reproducción más o menos lograda de la idea a la que corresponde. De este modo, un abismo se extiende entre realidad y apariencia, y las separa.

Se dirá que el análisis platónico que transforma a nuestro mundo concreto en la mera apariencia de un ser verdadero y trascendente (que, por añadidura, le presta el poco de “ser” y de significación de que dispone) contradice todas las evidencias de nuestros sentidos. Pero recordemos que precisamente lo que aquí está en juego es *la significación* o, si se quiere, *la justificación racional* de estas “evidencias” de los sentidos. Sin duda el resultado de Platón, en tanto contradice nuestras convicciones más espontáneas e inmediatas, es antinatural. Sin embargo, en tanto lleva hasta sus últimas consecuencias *las exigencias del pensar*, es legítimamente racional.

En efecto, Platón no hizo más que ofrecer una formulación racional y sistemática de la situación que surge de considerar el abismo que separa el mundo cambiante que nos muestran nuestros sentidos de aquel que reclaman las constricciones del pensamiento. Con su respuesta quedó instituida la oposición, clásica en la Antigüedad, entre opinión (*doxa*) –suerte de conocimiento degradado dependiente de nuestros sentidos– y conocimiento verdadero (*episteme*), estrictamente intelectual; es decir, correlativamente, la oposición entre apariencia y realidad.

El problema que Platón recoge y a su manera resuelve solo expresa la doble naturaleza del ser humano en tanto es, *a la vez*, un ser racional y un ser sensible. Y, como decía Merleau-Ponty (1908-1961), la percepción promete más de lo que ofrece. Cuando *pienso y digo* que veo una mesa, lo que me es dado *a través de los sentidos* solo es una perspectiva que promete encadenarse con otras perspectivas posibles para darme, a término, una “mesa”. Y, sin embargo, esto último es lo que nunca sucede, al menos a través de la percepción. Cada una de estas perspectivas podría considerarse un dibujo parcial, una copia inacabada, una presentación limitada de una realidad que no está contenida en ella y a la que sin embargo refiere sin poder hacerlo nunca en el ámbito propiamente sensible.

La geometría tal vez nos permita ilustrar de manera ejemplar la pretensión filosófica del platonismo. Si se me pidiese que dibujase una serie de triángulos en un pizarrón, los podría dibujar equiláteros, isósceles, escalenos, más grandes, más pequeños, con dibujos bien trazados con una regla o hechos de un modo aproximativo con una mano temblorosa, etcétera. Todos ellos representarían triángulos. Sin embargo, ninguno de ellos es un triángulo real, dado que, en rigor, no es posible *dibujar* un triángulo. Y no lo es porque no es posible dibujar un punto –que por principio carece de dimensiones– y por lo tanto tampoco una recta –conjunto infinito de puntos– ni, *a fortiori*, tres rectas que se corten entre sí y delimiten el espacio característico del triángulo. Lo que sucede cada vez que el matemático dibuja una figura de tres lados que encierra un espacio es que, cerrando los ojos, apunta en pensamiento a *la idea de triangularidad* y, *teniendo en cuenta sus exigencias*,

la *representa*.<sup>14</sup> Cada uno de estos dibujos, diría Platón, constituye una suerte de *copia, de representación o de apariencia* más o menos lograda de esta idea; es decir, *cumple mejor o peor con las exigencias dictadas al pensamiento por la idea de triangularidad*. Podría decirse que Platón hace extensiva esta misma situación a la totalidad del mundo aparente: ya no solo los triángulos sino también la totalidad de los entes del mundo visible constituyen la copia –más o menos lograda– de una correspondiente idea inmutable y eterna que prescribe sus condiciones. Ella “es”; por el contrario, su representación deviene.

¿Es esta conclusión legítima? Quien no haya meditado profundamente el asunto dirá sin duda que esta conclusión pareciera impuesta de un modo arbitrario. Sin embargo, sin pretender en absoluto agotar la cuestión, permítasenos considerar que cuando nos referimos a una mesa particular y afirmamos sobre ella que es una “*mesa*”, estamos subsumiendo bajo la idea de mesa a un conjunto de propiedades que *cumplen con las exigencias que impone esta idea*. Todo sucede como si autorizásemos al conjunto de datos de impresión que se presentan a nuestros sentidos a corresponder *con aquella idea que previamente tenemos de lo que es una mesa*. Esto que tengo ante mis ojos, con sus propiedades: ser marrón y rectangular, medir 80 cm de alto, etcétera, es tan mesa como aquella otra que es roja y redonda y mide 40 centímetros. Todo sucede como si en el acto del conocimiento el intelecto humano apuntase a un invariable –la idea de mesa– *a través del cual* recogiese todo aquello que responde positivamente a las exigencias racionales que este invariable impone.

Se objetará que no hay algo como una idea invariable de mesa; la concepción del antiguo Egipto o aquella que tendrán los futuros habitantes del siglo xxx sobre lo que pueda ser una mesa pueden diferir, así como de hecho han diferido a lo largo de la historia y en las diferentes culturas los contenidos referidos por un mismo concepto. Ante esta objeción del sentido común, el filósofo platónico respondería que en todos los casos y por diferentes que fueren, se está aludiendo a una misma idea, la de mesa. *¿Es precisamente la suposición de esta unicidad de la idea de mesa y la de su constancia atemporal la que permite al antiplatónico afirmar equivocadamente que en diferentes culturas la idea de mesa es “otra” y también le permite comparar sus diferentes contenidos!*

No estamos, pese a la apariencia, fuera de tema: el lazo entre ciencia y realidad. Si la ciencia es un conjunto de proposiciones debidamente justificadas *acer-*

---

**14** La cuestión de cómo una idea pueda ser *representada* en forma de imagen, es decir, *transcripta* al orden de lo sensible, es desde luego un problema enorme. Esta dificultad, sin embargo, no contradice el alcance del análisis platónico. Lo que está en juego es *la relación* entre dos universos que en principio son declarados absolutamente separados entre sí y ontológicamente heterogéneos: el de lo real –las ideas– y el de la apariencia –el mundo sensible–. Kant, al final del siglo xviii, resuelve a su manera el problema de la posibilidad de una síntesis entre ambos a través de su teoría del *esquematismo*; pero lo hace en el contexto de una filosofía cuyos supuestos y problemas difieren ya profundamente de aquellos que eran propios del platonismo.

ca de lo que son o de cómo son las cosas, entonces el ámbito propio de la ciencia es el de las razones, y en tanto la razón es siempre una relación entre ideas, nos encontramos en el ámbito “platónico” de las relaciones entre ideas y aquello a lo que refieren. Veremos que los siglos XVI y XVII, siglos en que se establecen los nuevos fundamentos metafísicos que hacen posible a la ciencia moderna a través de una redefinición de la naturaleza, se *presentan como una inesperada confirmación del platonismo*: esta nueva ciencia –creada entre otros por Galileo, Descartes y Newton– que en lo esencial sigue siendo la ciencia de nuestros días, nos dirá *que la realidad no es aquello cambiante que nos muestran nuestros sentidos; la realidad no es este mundo caluroso o frío, coloreado, con cuerpos pesados rugosos o lisos que nos rodean, sino aquello a lo que únicamente se accede a través de una operación intelectual de abstracción de todas estas propiedades sensibles para no considerar más que la extensión espacial, la duración temporal y un punto ideal de “masa”*. Al igual que las ideas de Platón, la “realidad” –tal como la entiende desde el siglo XVII la ciencia moderna cuando con sus “leyes” nos ofrece regularidades espaciales o temporales expresadas a través de conceptos antiintuitivos– es *ideal y abstracta*. Así, invirtiéndose el punto de vista espontáneo, resultará que, por ejemplo, el fuego es la *apariencia* o una de las tantas manifestaciones *de su realidad*: la “energía”, el pensamiento es otra, el sonido es la apariencia ocasionalmente asumida por “ondas” que se desplazan en un medio, etcétera. Como en el platonismo, en la ciencia moderna la realidad del mundo sensible no es ella misma nada sensible.

Por otra parte, la consecuencia que tuvo el conjunto de decisiones tomadas al redefinir la *physis* en el momento de la fundación de la ciencia moderna sería que en adelante, como lo sostuvo el célebre físico Max Planck (1858-1947), “solo es real lo que puede ser medido”.

De una realidad así concebida (abstracta y mensurable), vemos desaparecer de un plumazo todo lo que atañe a la sensibilidad, es decir, su carácter de realidad *sensible, experimentada*.<sup>15</sup>

Y sin embargo, ¿cómo no ver que tanto aquello que el científico percibe y *que solo puede ser dado mediante un tal percibir*, pero también las simples pero decisivas operaciones de abstraer, calcular, definir, no solo preceden *en orden* –pues es en ellas que el científico ve, abstrae, calcula y define– sino que también es de ellas que provienen sus resultados? Dicho de otro modo, ¿de dónde resultan estos resultados que definen qué es lo real si no del conjunto *de experiencias* de ver tocar, abstraer, etcétera? Se comprende entonces que la ciencia de la naturaleza, aun la más abstracta y sofisticada, no solo debe partir de la naturaleza sensible para efectuar sus complejos procedimientos de experimentación y establecer sus abstracciones, sino que *se ve obligada a volver a ella para medir la validez de sus resultados*.

15 La expresión “realidad sensible” no es en rigor adecuada: la realidad no es quien “siente” sino más bien aquello que es sentido. “Sensible” lo es únicamente el hombre, o al menos lo viviente, que en su existir descubre y experimenta una naturaleza a través de sus sentidos.

Por último, la redefinición moderna de la naturaleza como lo mensurable también exige que lo real sea entendido como aquello que pueda entrar *en una serie de conexiones causales*. Esa redefinición dio por sobreentendida la definición del ser como *conexión causal precalculable*, en la que, en adelante, el hombre mismo participa como un fenómeno “causado” entre todos los fenómenos. Esta asociación inmediata entre *realidad, mensurabilidad y causalidad* que estableció el pensamiento moderno ha sido decisiva, y por ello nos vamos a referir a ella en un apartado.

Retomemos por el momento el problema de la relación entre ser (o realidad) y pensamiento, allí donde Platón lo había dejado.

## **La metafísica y la física de Aristóteles**

### ***Una metafísica de la sustancia***

La teoría platónica de los dos mundos, que distinguía las ideas –a las que Platón comprendía como la realidad– de sus copias o apariencias sensibles, no daba respuesta satisfactoria a la cuestión de saber *de qué modo las ideas eternas, únicas e inmóviles eran el principio explicativo de los cambios o de los movimientos visibles en nuestro mundo hecho de puras apariencias*. La mayor objeción que había recibido su planteo era que si las ideas estaban absolutamente *separadas* de sus copias (es decir, de nuestro mundo), pues se encontraban fuera del tiempo, no se comprendía cómo podían constituir la realidad de estas últimas y, por añadidura, cambiarlas, moverlas, transformarlas, como nos muestran nuestros sentidos.

La solución a este problema vino de uno de los discípulos de Platón: Aristóteles. Si su respuesta nos interesa aquí es porque determinó de un modo decisivo el curso de la ciencia hasta prácticamente el siglo XVIII de nuestra era. No se trata, pues, de presentar el pensamiento de Aristóteles con el fin de establecer algún panorama histórico accesorio, un simple contexto de comprensión –que habría de ser, por otra parte, forzosamente elemental– para poder *luego* abordar nuestro tema –la significación metafísica y el alcance de la ciencia–, sino, muy por el contrario, de exponerlo a título de acontecimiento esencial, *pues nuestra ciencia moderna se conformó a partir de una dolorosa y lenta ruptura con la visión aristotélica del mundo, ruptura que comenzó en el siglo XVI de nuestra era y, modificando la “metafísica” aristotélica de la naturaleza, es decir el conjunto de suposiciones últimas y no experimentables que permitían definirla, desembocó en una verdadera revolución que hasta nuestros días ha permitido transformarla actuando sobre ella de un modo que hasta entonces resultaba insospechado*.

Pero ¿ha permitido también *conocerla*? Para abordar esta cuestión nos será preciso reflexionar previamente sobre el significado de los elementos que intervienen en *la metafísica de la ciencia moderna*, en particular: causalidad, tiempo y espacio homogéneos.

Volvamos, por el momento, a la solución que propone Aristóteles al problema platónico de la relación entre lo invariable y sus apariencias, que es el misterio del cambio.

## El problema del cambio y del movimiento

Durante más de dos mil años (entre el siglo IV a. C. y el siglo XVIII) imperó cierta concepción del universo constituida en torno a la categoría aristotélica de “sustancia”. Como lo indica el término latino *sub-stans*, sustancia es aquello que “permanece por debajo” de la cosa, una suerte de soporte invisible y permanente de aquellas propiedades sensibles que captan nuestros sentidos. Introduciendo la categoría de “sustancia” Aristóteles propondría su solución al enigma de los cambios en nuestro mundo visible, que desde Platón permanecía irresuelto.

El problema del cambio se presenta de este modo: ¿cómo puede aquello que cambia permanecer, sin embargo, siendo en cierto sentido lo mismo? La cuestión no es superflua, pues precisamente esta persistencia de algo invariable en el seno de las transformaciones es lo que nos permite decir que *algo* está cambiando, transformándose, moviéndose. Todo sucede como si en los cambios estuviésemos ante la misteriosa persistencia temporal de algo invariable. La respuesta a esta cuestión involucra, inevitablemente, a la comprensión que nos hagamos de lo que es “ser”. Por lo tanto, era preciso, una vez más, volver a la teoría del ser.

Ante esta cuestión, en vez de proceder de un modo puramente especulativo intentando elucidar las constricciones que la idea de “ser” impone al pensamiento (unicidad, inmovilidad, eternidad, etcétera) –como lo habían hecho primero Parménides y luego Platón–, Aristóteles tomó como objeto de estudio no *la idea de ser* sino *el lenguaje*. Pues es en el lenguaje –donde comunicamos y se enuncian las proposiciones de la ciencia– que el “ser” se dice. Aristóteles observó que el lenguaje ofrece a la palabra “ser” no uno, sino diez sentidos, es decir, diez usos muy diferentes entre sí. Cuando pronunciamos proposiciones acerca de las cosas nos movemos de un sentido al otro constantemente. Tomemos como ejemplo la proposición “la mesa es marrón”. Estamos asignando una cualidad a la mesa, sabiendo sin embargo que esa misma mesa podrá ser mañana verde, o que pudo ser blanca ayer. “La mesa”, designa aquí lo invariable, una suerte de sustrato permanente sobre el que se podrán predicar diferentes propiedades cambiantes que este sustrato asumiría accidentalmente pero que no hacen a su *esencia*.<sup>16</sup> En efecto, sabemos bien que, marrón o blanca, será siempre, en cierto sentido, la *misma* mesa. A este “cierto sentido”, a esta unidad permanente aunque invisible, Aristóteles la llamó la “sustancia”. Algo como un soporte ideal sin el cual los accidentes (marrón, pequeña, mía, de pie, etcétera) no podrían *ser*. Está claro que los acci-

16 Tomamos *esencia* en su significación etimológica: del infinitivo latino *esse* (“ser”). Designa pues lo absolutamente necesario y permanente en la cosa; aquello sin lo cual esta no “es”.

dentes o cualidades de la cosa refieren *necesariamente* a lo invariable y no pueden ser por sí mismos. “Verde” refiere necesariamente a algún sustrato y es imposible imaginarnos o concebir un “verde” que no sea el color *de algo*. Así, el *modo de ser* de los accidentes (pues justamente lo que descubre Aristóteles es que el ser, contrariamente a lo que pensaba Platón, no “ocurre” de un único modo sino que se manifiesta de diversos modos) es, permítasenos la analogía algo grosera, el de un parásito, el de un *ser en otro*. Esta dependencia esencial que tienen los accidentes o propiedades de la cosa, esta incapacidad de ser por ellos mismos sin referirse a algo permanente se opone a la autosuficiencia de la sustancia: la mesa es el soporte invisible de sus accidentes, pero ella no es “accidente” de nada. Se basta a sí misma para ser lo que es. Por este motivo –oponiéndolo al “modo de ser en otro” propio de los accidentes– Aristóteles llamó “modo de ser en sí” a la manera en que se manifiesta el ser de la sustancia.

Luego de distinguir entre dos grandes sentidos de “ser”, “*ser en sí*” y “*ser en otro*”, Aristóteles muestra que es posible distinguir nueve tipos distintos de accidentes<sup>17</sup> y que *cada uno de ellos implica un sentido de ser totalmente irreductible a cualquiera de los otros*.

En efecto si, por ejemplo, digo: “es hoy”, “es verde”, “es mío”, en los tres casos el sentido que estamos dando al término “ser” es muy distinto. De Parménides a Aristóteles el problema del ser había estallado en diez pedazos –un “modo de ser en sí” y nueve modos de “ser en otro”– y tal vez ya no fuese posible reunirlos para dar una única respuesta a la pregunta: ¿Qué es ser?<sup>18</sup>

¿Qué es esta “sustancia”, suerte de sustrato invisible que soportando accidentes variables y contingentes se nos presenta como el suelo más firme y constante de aquello que llamamos, simplemente, las “cosas”? Aristóteles, siempre teniendo en vista la necesidad de resolver el enigma del cambio, responderá que la sustancia *es una unidad de materia y de forma*. La materia, que nada tiene que ver con lo que entendemos habitualmente por materia, constituye aquello que en la sustancia es el reservorio de posibilidades de la cosa, el material que la “forma” irá modelando y actualizando progresivamente.

En esta distinción, la materia es incognoscible; por el contrario, la forma es plenamente accesible a nuestro conocimiento. Podemos ver que la solución aristotélica ha traído a este mundo y ubicado *en las cosas mismas* bajo el nombre de “forma” algo que es semejante a aquello que Platón llamaba las ideas. Ha situado

---

**17** Estas son: lugar, cualidad, cantidad, relación, acción, pasión, tiempo, posición, pertenencia. Puede haber entonces cambio según la sustancia (generación o corrupción, es decir creación y destrucción de la cosa) o bien cambio según los accidentes (cambio de lugar, de color, de tiempo, etcétera).

**18** O mejor dicho, luego de haber constatado los diez sentidos que asignamos en el habla al ser (como sustancia y como los nueve accidentes) tal vez la pregunta “qué es ser” debiese ser abandonada por estar viciada por el prejuicio de que el ser tiene un único sentido y constituye una única realidad.

lo atemporal, invariable y abstracto en la “materia” y actuando en ella para formarla y no –como en Platón– en un mundo separado del nuestro. Nos hemos de referir más tarde a las implicaciones que tuvo hasta, al menos, el siglo xvi y tal vez el siglo xviii, esta particular concepción de aquello de que se supone estar hecho el mundo, y veremos cómo estos presupuestos metafísicos determinaron el curso de la ciencia.

La distinción en la sustancia entre materia y forma permite comprender en qué consiste el acto de conocer. Cuando digo “esto es una mesa”, el entendimiento humano ha disociado, en el corazón de la sustancia, materia y forma, y está aprehendiendo la pura forma “mesa”, aquello que es permanente en el corazón de la sustancia.

Esta distinción también le permite al filósofo proponer su célebre teoría del cambio.

En efecto, el cambio es “in-formación” progresiva de esta materia muerta o, lo que es igual, paso de la materia a la forma: la forma es en las sustancias, es decir en las “cosas”, el principio activo de sus cambios.

El elemento más primitivo y burdo del cosmos es materia pura, es decir, *desprovista de forma, y por lo tanto –si conocer es aprehender la forma– resulta incognoscible*. La materia es lo *en potencia* que hay en la sustancia, aquello que la forma podrá actualizar llevando la cosa a un grado mayor de acabamiento y de realidad. Lo más elaborado del universo, por el contrario, es una *forma pura* carente de materia. Se trata entonces de una entidad puramente espiritual que, no poseyendo ninguna materia, ya no posee nada *en potencia* para actualizar, y que por ello es pura *actualidad, acto puro*: la única realidad totalmente acabada y efectiva.

Esta entidad puramente formal es el dios de Aristóteles; no se trata de un dios de la fe sino de un *Deus ex maquina* deducido *a priori* en el laboratorio del pensamiento.

Acto puro, forma pura, inteligencia infinita, realidad plenamente *acabada a la que todas las sustancias tienden en el cosmos a través de sus permanentes cambios*.<sup>19</sup>

Paradójicamente se trata de un “acto” incapaz de actuar, ya que cualquier acción de este dios supondría necesariamente la existencia de algo todavía no realizado en él, es decir, de algo “en potencia” y así se negaría su total acabamiento, es decir la perfección de su realidad.

¿Cómo opera entonces sobre las cosas del mundo este dios inmóvil para moverlas y producir sus cambios y transformaciones si debido a su total actualidad o realidad *nada tiene en potencia* y por ello es incapaz de realizar alguna acción? Lo hace *por atracción*. Pues este *primer motor inmóvil*, indiferente a nuestro destino,

---

**19** La semilla se transforma en árbol. La forma “árbol” inmanente a ella es el principio formal que dirige toda su transformación. Pero la perfección del dios aristotélico es la finalidad que anima a todo ese movimiento que, como todo lo que acontece en el mundo sublunar, lamentablemente concluye antes de poder alcanzar la perfección.

carente de pasiones, de virtudes pero también de aspecto (pues no contiene materia) “actúa” del mismo modo que lo hace un objeto deseado sobre el deseo: lo hace por atracción. Todo en el universo aristotélico se mueve y se transforma atraído y orientado por la perfección que exhibe la forma pura e inmóvil.

En este universo de esencia espiritual, todo cambio tiene lugar para cumplir esta *finalidad* que es la perfección. Así, teleológicamente (finalísticamente) orientado, el cambio es, en la metafísica aristotélica que durante unos veinte siglos sostuvo a la física, *paso de la potencia al acto y de la materia a la forma*.

El universo que Aristóteles legó a la ciencia y que constituyó la forma aceptada hasta al menos el siglo xvi de nuestra era es, como vemos, *un universo comprendido a partir de su finalidad (la perfección, la plena realidad, la pura actualidad) y no de aquello que llamamos “causas”*. Es también un universo *cuantitativamente* explicado a partir de “formas” o esencias que persiguen su pleno cumplimiento con apoyo en la materia y no a partir de relaciones numéricas entre magnitudes abstractas.

En realidad, *la finalidad es* –según Aristóteles– *una causa*, y la más determinante de entre las *cuatro causas* que de acuerdo con la célebre teoría del filósofo permiten explicar todo cambio. Estas son: *la causa eficiente, la causa material, la causa formal* y –como acabamos de ver– *la causa final*. Veamos cómo intervienen en la explicación del cambio.

En la fabricación de un puente, la causa eficiente es el principio activo que interviene en la acción, el trabajador. La causa material es la materia necesaria para que la acción pueda llevarse a cabo. La causa formal es la forma, la idea o el plan que organiza las acciones y permite transformar unos metales en un puente. La causa final es la finalidad última de la acción, lo que se debe cumplir, lo debido, el “para” que justifica la acción: en este caso, crear algo que permita pasar de una orilla del río a la otra, y esta causa garantiza la perfección de la acción. Por este motivo si bien las cuatro causas son necesarias para el cumplimiento de una acción, la causa final es, entre ellas, aquella que determina a las otras tres pues en esta metafísica *ninguna acción tiene lugar si está desprovista de una finalidad*.

Una de las características de la nueva ciencia de la naturaleza surgida en el siglo xvi fue *el abandono de tres de estas causas en sus explicaciones*. Solo contará en adelante la “causa eficiente”, considerada como principio exclusivo de todo cambio.

Esto es así, con una restricción importante que conviene precisar: la *causa eficiente* de la ciencia antigua es *indisociable de la causa final*. En la Antigüedad y en la Edad Media, la causa eficiente o principio activo de un cambio está de entrada orientada hacia una meta. Si la piedra cae movida por una fuerza, lo hace para recuperar su estado natural de reposo. Los cambios en el universo están motivados por una finalidad que exige ser cumplida, y la causa eficiente tiene de algún modo en vista esta finalidad. Es por ello que la obra realizada por la causa eficiente se asemeja más a una acción (pues tiene fines en vista) que a *un ciego producir*. Por el contrario, la eliminación por Galileo de la causa final en las explicaciones

físicas, transformó a la causa eficiente en un producir neutro, carente de meta: la causa moderna no tiende a nada, nada tiene en vista, simplemente “tiene como consecuencia”, “da lugar a” un nuevo fenómeno, produce. La causalidad antigua presupone una motivación, algo como la representación de un fin. La causalidad de la ciencia natural moderna, por el contrario, solo presupone un suceso natural.

El paso de la metafísica antigua a la que sostiene la nueva ciencia de Galileo y Newton es pues el de una naturaleza concebida como atraída por “delante” para alcanzar la perfección, comprendida como una plena (aunque imposible) actualidad inmaterial, a otra naturaleza empujada “por detrás”, donde los cambios no cumplen con una finalidad sino que más bien responden mecánicamente a una causa.

Sin embargo, es interesante considerar el hecho de que en las ciencias de la vida (en un sentido amplio), como la biología, la fisiología o la botánica, la “causa final” sigue siendo aún hoy el principio último de las explicaciones. En efecto, “explicar” qué es un pulmón o qué es la fotosíntesis solo se puede a condición de dar cuenta de la función o de la *finalidad* que estos cumplen respecto de una totalidad que los abarca y les da sentido. El pulmón no es simplemente un órgano de tejido relativamente homogéneo inevitablemente *causado* por determinados procesos físicos y químicos, sino aquel instrumento de un organismo aerobio *cuya finalidad* es oxigenar a la totalidad de los tejidos que lo componen. También en ciencias sociales la “causa final” cumple hoy un papel decisivo en la explicación: una revolución explicada únicamente por su “causa eficiente” (por ejemplo por la situación de miseria de un pueblo) no solo resulta incomprensible –dado que el hambre *no necesariamente* da lugar a revoluciones– sino que además es insuficiente en tanto que las acciones voluntarias de los hombres responden no solo a “causas” sino por sobre todo a motivos y finalidades.

Lo que aquí nos interesa es que la representación aristotélica del cosmos, y correlativamente su física, se apoyan en una serie de supuestos *no experimentales* que, bajo la forma de categorías explicativas últimas (sustancia, materia, forma, finalidad, causalidad, etcétera) componen conjuntamente una metafísica particular.

Entre estas categorías creadas para explicar el mundo, la de “sustancia” ha jugado un papel determinante. En efecto, el universo compuesto por sustancias, es decir, por entidades no experimentales y en su esencia invariables y autónomas,<sup>20</sup> vestidas de propiedades variables, es un universo que, en virtud de la autonomía de sus componentes, *pre-existe al conocimiento humano y permanece tal como es*, independientemente del hecho de ser conocido por el hombre o de no

---

**20** Observemos que, de acuerdo con la *Física* de Aristóteles, no solo puede haber cambio según los accidentes (por ejemplo, cambiar de lugar a una mesa, pintarla de otro color, venderla y que ya no pertenezca al mismo propietario, etcétera) sino también *según la sustancia*: su creación y su destrucción, que Aristóteles llama respectivamente “generación” y “corrupción”.

serlo. A esta particular postura metafísica –que va más allá de la filosofía y atraviesa a la ciencia y al sentido común– se la denomina *realismo*. Si la realidad es autónoma e independiente del conocimiento (sustancias –unidades de materia y forma finalísticamente orientadas hacia el cumplimiento de sus “potencias” en virtud de la atracción que sobre ellas ejerce el único “ser” perfecto, Dios–), el conocimiento humano debe entenderse, correlativamente, *como un simple acto de reflejar adecuadamente esta realidad que le es exterior*. En el realismo de tipo aristotélico que prevaleció hasta el siglo XVIII, el hombre ocupa en el acto de conocer el mundo el papel de un espejo.

### **La crisis de la sustancia**

La crisis filosófica y, por consiguiente, también científica de la categoría de sustancia, junto con la visión realista del mundo que esta categoría implicaba, solo tuvo lugar en el siglo XVIII y comenzó con la obra del pensador escocés David Hume (1711-1776). Su trabajo impactó fuertemente en la filosofía que le habría de suceder y sin duda nos interpela aún hoy. La crisis de la “sustancia”, junto con la de la concepción realista del mundo que ella implicaba, tuvo lugar en el cuadro de una filosofía “empirista” es decir, *de una filosofía que afirma que los sentidos son la única fuente del conocimiento del mundo*.

Si en el riguroso racionalismo de Parménides y de Platón la razón es concedida como el único instrumento que nos conduce al conocimiento del ser verdadero de las cosas (pues los sentidos nos abren a un mundo cambiante en el que el verbo “ser” no encuentra condiciones para su aplicación) o, dicho de otro modo, si la razón conoce sin ayuda de la experiencia, por el contrario, en el empirismo de Hume *todas nuestras ideas provienen sin excepción de impresiones externas o internas* que se manifiestan en la “mente” como percepciones. Llamaremos a esta tesis el “principio fundamental del empirismo”.

En rigor, no todas las ideas provienen, según el empirismo, de impresiones: también hay ideas que surgen de poner en relación entre sí otras ideas ya adquiridas. Pero estas últimas han debido originarse siempre en impresiones que han afectado a nuestros sentidos. “Todos los materiales del pensar –escribía Hume– se derivan de nuestras sensaciones externas o internas. Solo la mezcla de estas pertenece al espíritu y a la voluntad. Dicho en lenguaje filosófico, todas nuestras ideas o percepciones más débiles son copia de nuestras impresiones o percepciones más vivaces”.

Lo que a juicio de Hume distingue una idea de aquella impresión que le dio origen es simplemente su *menor grado de vivacidad*: nos quemamos al fuego, pero apenas sentimos un malestar al formar en un recuerdo la idea de que el fuego nos quemó. De este modo, las ideas son para Hume algo así como impresiones debilitadas. En tanto todo el material de nuestros pensamientos se origina en impresiones (externas como un ruido percibido o internas como un dolor de muelas),

el alma humana nace “en blanco”, vacía de contenidos y solo se va plenificando con ideas en el curso de sus experiencias. Un argumento muy simple, que propone Hume, nos permitirá comprender su empirismo: un ciego de nacimiento, que por lo tanto nunca experimentó una impresión de color, es incapaz de formarse la idea de color.

Esta postura se opone frontalmente a aquella del racionalismo según la cual, al menos ciertas ideas –cuando no todas– son innatas en el hombre (recordemos, por ejemplo, a Platón afirmando que conocer es *recordar aquello que el alma ya ha contemplado* en el mundo de las ideas), puesto que no pueden ser adquiridas en el mundo exterior, donde nada es permanente. De acuerdo con el empirismo de Hume, las ideas con que pensamos –podría decirse exagerando– arriban por los sentidos.

Ahora bien, la aristotélica idea de “sustancia” había sido fundamental, junto con la de “causalidad”, para las demostraciones y los análisis del racionalismo. Descartes, por ejemplo, había sostenido la existencia de tres sustancias en el mundo (la sustancia pensante, la sustancia extensa y la sustancia infinita: Dios) y a partir de ellas explicaba el mundo que conocemos.

Hume, preocupado por operar una profunda “limpieza” del lenguaje de la filosofía, al que consideraba contaminado por términos desprovistos de significado, someterá a esta importante idea de “sustancia” a una evaluación de acuerdo con las exigencias que postulaba el principio fundamental del empirismo. Si toda idea ha de provenir de una impresión, ¿existen impresiones de “sustancia” cuando percibimos, por ejemplo, esta mesa? En rigor, lo único que percibimos es un flujo de sensaciones cambiantes de color, de forma, etcétera, pero nada como una “sustancia” mesa: en efecto, no hay sensaciones de “mesa”. Lo que llamo esta “mesa” no es una cosa o “sustancia” sino un conjunto de impresiones simples y contiguas agrupadas en la imaginación por un punto de unión imaginario –la “sustancia” mesa–, que es simplemente útil para poder recordar estos agrupamientos de impresiones sucesivas.

Un análisis análogo propone Hume para las ideas de “yo”, de “alma” o de “sustancia pensante”, que habían sido desde Descartes sostén de tantas demostraciones de la filosofía. Nada, en ninguno de estos casos, corresponde como impresión a estas ideas, y por ello estas deben ser abandonadas. *No hay impresiones de sustancia sino únicamente de accidentes*. La idea de sustancia y, con ella, la del yo, o la del alma, deben ser abandonadas no por no ser “verdaderas” sino por carecer de sentido.<sup>21</sup> Ahora bien, si la idea de “sustancia”, abundantemente aprovechada por la metafísica racionalista en sus demostraciones, es un malentendido, puesto que a ella no le corresponde ninguna impresión, ya no será en adelante posible afirmar la existencia de *cosas* fuera de la mente humana. Todo lo que podremos decir con certeza es: “hay percepciones”. Con la crítica de la “sustancia” *el*

**21** Notemos que una idea aislada no puede ser verdadera o falsa; solo puede serlo una proposición.

*realismo aristotélico que durante veinte siglos había ofrecido al hombre un mundo sólido y securitario, hecho de entidades autónomas, era puesto en cuestión.*

¿De dónde proviene entonces esta necesidad de suponer que más allá de los accidentes percibidos existe un algo permanente que los soporta, una “sustancia”? *De la repetición*, responde Hume, *del acostumbramiento*. Pues cada vez que veo “la mesa” experimento las mismas impresiones dispuestas en el mismo orden y así termino por creer en la existencia de un soporte estable (la supuesta “sustancia”) que los une.

Con la crítica de la idea de “sustancia” no solo han desaparecido la supuesta alma y su yo (sustancia pensante)<sup>22</sup> sino también la idea de Dios (idea de una sustancia infinita y perfecta), y la de que haya “cosas” en el mundo. El empirismo de Hume había partido de una postura que es característica del sentido común (“los conocimientos provienen de la experiencia”) y oponiéndose al racionalismo que pretendía que era posible obtener un conocimiento absoluto de realidades metafísicas llegaba –contra el sentido común– a la conclusión de *que no es posible afirmar que haya algo fuera de la mente* y, por otra parte, de que esta “mente” no es ni un “alma” ni un “yo” sino puras impresiones que desfilan en un flujo cambiante. ¿Quién las percibe y a qué corresponden? Esto no es posible responderlo. Partiendo, pues, de una posición ampliamente aceptada (“se conoce por experiencia”), Hume llegaba a demostrar *¡la imposibilidad del conocimiento de la realidad!*

Nos interesa particularmente aquí el hecho de que el análisis de Hume conduce a la disolución de la supuesta solidez y autonomía de los elementos que, según creemos, conforman el universo. El realismo que, desde la Antigüedad griega, en parte sustentado en motivos religiosos, había imperado en las diversas concepciones del mundo comenzaba su declinar.

## **Empirismo, racionalismo y tipos de juicios**

Oponiéndose a lo que consideraba unas puras especulaciones del racionalismo en torno a ideas sin impresión correspondiente, es decir, sin significado (alma, Dios, sustancia, causalidad) el empirismo de Hume intentaba crear una filosofía “científica”, y para ello se había inspirado en los supuestos y en el método de las ciencias naturales. En particular, intentaba trasladar a la filosofía el *modus operandi* de la revolucionaria física de Newton. En efecto, al igual que las ciencias de la naturaleza, Hume partió del supuesto de que la observación y la experiencia eran la condición del conocimiento y, tratando de establecer una analogía con el papel que jugaban los puntos ideales de masa en la física newtoniana, tomó a las impresiones percibidas por la “mente” como dato de estudio.

---

<sup>22</sup> No hay un “alma” o un “yo” sino un flujo constante de sensaciones provenientes del interior de la mente (“impresiones de reflexión”) a las que atribuyo por hábito un soporte estable.

Consideremos ahora el hecho de que los resultados de la ciencia se expresan en un conjunto de proposiciones o juicios, es decir, de enunciados que pueden ser “contingentes”, es decir, lo enunciado por ellos no proviene de ninguna necesidad sino que expresa simplemente un hecho dado. Sin embargo, las “leyes” de la naturaleza obtenidas a partir de la colección de un número conveniente de observaciones particulares poseen, contrariamente a estas observaciones, una pretensión de universalidad (“todos los metales se dilatan por el calor”): las ciencias fácticas pasan por *inducción* de un número de observaciones limitado a la formulación de una ley que pretende englobar a *todas* las posibles observaciones futuras: “todos los metales se dilatan con el calor”. Sin embargo, el procedimiento inductivo que consiste en pasar de un número limitado de observaciones a un juicio con pretensión de universalidad *carece de todo fundamento racional* y solo apoya su pretensión de validez en el simple *hecho de que hasta el momento los hechos han confirmado la suposición*. Por esta razón es que estas leyes obtenidas por generalización de observaciones parciales nunca ofrecen el carácter de certeza que, por el contrario, poseen las proposiciones que establecen *relaciones entre ideas puras*: “todos los solteros son no casados” enuncia una verdad absolutamente segura e independiente de cualquier observación empírica. Del mismo tipo es la proposición: “todos los gordos son no flacos”. No es necesario que se haga una encuesta a solteros para saber que no son casados ni a gordos para constatar que son no flacos. No es necesario para aceptar la validez universal de la proposición examinar siquiera un solo caso ni esperar una repetición en el futuro para confirmarla. Lo sabemos *a priori*. Llamaremos, para simplificar en adelante la exposición, *juicios analíticos a priori* a aquellos enunciados necesariamente verdaderos *en virtud del significado de sus componentes*. “Necesariamente”, significa, precisamente, *a priori*, pues no hay experiencia que pueda venir a desmentirlos y, de este modo, su validez es universal e independiente de toda condición empírica. *A priori*, significa pues, independientemente de toda experiencia. Así, un juicio “analítico *a priori*” tiene la propiedad de que su predicado resulta del simple *análisis* de su sujeto –por ello se lo llama “analítico”– (un soltero es... un no casado) y no de alguna observación. Notemos que en esta clase de juicios no hay un aporte sustantivo de algún nuevo conocimiento sino más bien, podría decirse, una clarificación de lo que ya sabíamos.

Llamaremos, por el contrario, “juicios sintéticos a posteriori” a aquellos enunciados cuya verdad no es necesaria *a priori* sino que resultan de una observación y que por lo tanto son contingentes: “esta silla es verde”, por ejemplo, es un hecho; pero que sea verde no resulta de una necesidad pues podría ser perfectamente blanca. No es posible deducir del análisis del concepto de silla su color, como, por el contrario, sí es posible deducir del concepto de soltero que es un no casado. Juicio “sintético a posteriori” significa pues: un enunciado cuyo predicado es obtenido por experiencia (i. e., *a posteriori*) y este predicado *añade* (“sintético”) un nuevo contenido de conocimiento al sujeto.

Así como para el racionalismo el modelo ideal del conocimiento lo constituyen los juicios analíticos *a priori* (y las ciencias formales que, como las matemáti-

cas o la lógica, enuncian proposiciones de validez universal y *a priori*), para la corriente empirista el modelo ideal del conocimiento se expresa convenientemente en los juicios sintéticos *a posteriori* (y en las ciencias naturales cuyas proposiciones son siempre particulares y contingentes).

### **Algunos análisis clásicos sobre la causalidad**

La aplicación por Hume del principio fundamental del empirismo a la idea de “sustancia” había mostrado que, por no corresponder a ninguna impresión, esta idea debía ser definitivamente abandonada y eliminada del vocabulario de la filosofía y de la ciencia. Con su crítica a la metafísica de la sustancia, Hume había transformado el mundo lleno de cosas en un misterio pero, en todo caso, en un misterio probablemente no pleno de “cosas”. Sin embargo, su análisis más célebre y tal vez más lleno de consecuencias para el futuro estaría en la aplicación del principio empirista al análisis de la idea de “causalidad”. La idea de causalidad, afirmaba Hume, es compleja pues resulta de la superposición de *cuatro ideas* simples, es decir, irreductibles. En efecto, cuando hablamos de “causalidad”, formamos la idea de un primer hecho al que le atribuimos la condición de ser una “causa”; de un segundo hecho al que definimos como el “efecto”; también suponemos que el efecto debe seguir en el tiempo a la causa (esto es, formamos la idea de sucesión) y, por último, formamos una cuarta idea que es la de una *conexión necesaria* entre ambos hechos. Las cuatro ideas intervienen conjuntamente cada vez que concebimos una relación de causa-efecto.

El análisis de la idea de causalidad que propone Hume consistirá pues, al igual que en el análisis de la idea de sustancia, en verificar que a cada uno de los cuatro componentes de esta idea le corresponda una impresión de la cual proviene. De no ser el caso, la idea de causalidad carecería de sentido y debería ser abandonada.

Para realizar este análisis de la idea de causalidad, consideremos la siguiente situación: en un país donde el respeto riguroso por lo convenido es la norma, la campana de una iglesia suena cada día faltando un segundo para las siete de la mañana y exactamente a las siete llega el colectivo a la parada donde yo espero. Sin fallas. ¿Podría interpretarse este fenómeno en términos de causalidad? ¿No es la campana una “causa”, la llegada del colectivo su “efecto”, y un efecto *sucedido luego de la causa* como lo exige el análisis de la idea de causalidad? Está claro que a nadie se le ocurriría, pese a todo, considerar que la llegada del colectivo sea efecto de la campana. Pero ¿por qué razón? Se han cumplido (o podríamos dar por cumplidas) las primeras tres exigencias que impone la idea de causalidad. Si, pese a ello, en este ejemplo nos negamos a hablar de causalidad es porque no vemos que haya ninguna *conexión necesaria* entre el hecho de que suene la campana y el de que llegue el autobús. Podría perfectamente sonar la campana y el autobús no ve-

nir, o venir el autobús sin que suene la campana. Falta aquí el cuarto componente de la idea de causalidad, la necesidad.

Examinemos ahora, como lo hace Hume, un caso diferente: una bola de billar se dirige hacia otra, la choca y esta, como era de esperar, se mueve. En este caso, no tendremos el menor reparo en analizar el hecho en términos de causalidad: diremos que el movimiento de la primera es la causa, el movimiento de la segunda el efecto, se cumple la sucesión temporal que exige la idea de causalidad. ¿Pero qué hay de la cuarta exigencia? Debemos atenernos al principio fundamental del empirismo: *toda idea proviene de una impresión* y preguntarnos: ¿hay, en el fenómeno que observamos, alguna impresión sensible de *necesidad*? La hay tan poco como en el caso de la campana y el colectivo. Si no hay *experiencia* de necesidad, tal vez se podría suponer que la idea de necesidad es formada *a priori*, es decir, independientemente de la experiencia, y que proviene exclusivamente de la razón. Pero tampoco es el caso: ni de la idea de bola de billar, ni de la de movimiento podemos *inferir por análisis* la idea del movimiento *necesario* de la segunda bola como sí ocurría en el caso de los gordos y de los solteros (de quienes por análisis del concepto inferíamos que eran no-flacos y no-casados, respectivamente). Debemos pues convenir con Hume que, contra lo que suponíamos y contra el sentido común, *tampoco en el caso del billar hay experiencia perceptiva de relación necesaria entre el movimiento de la primera y la segunda bola, y que por lo tanto tampoco en este caso debiéramos hablar de "causalidad"*.

Con todo, si lo hacemos es porque de algún modo en el caso del billar experimentamos una suerte de *necesidad* entre el movimiento de una bola y el de la otra. Este sentimiento de necesidad que, como vimos, no se origina ni en el fenómeno observado ni en la razón ¿de dónde proviene, entonces?

La *siempre* errónea idea de conexión *necesaria* entre dos fenómenos proviene según Hume *de la repetición* constante e invariable de la sucesión observada. El recién nacido que por primera vez ve una bola acercándose a otra no prevé que esta última se moverá luego del choque *pues nada en la experiencia se lo anuncia ni le exhibe su necesidad. Y lo que la experiencia observada no indica esta primera vez, desde luego que tampoco lo mostrará en las veces posteriores*. Sin embargo, a fuerza de ver repetirse siempre y sin excepción el desplazamiento de la segunda bola luego del choque con la primera, surgirá en la mente algo como un hábito. *La idea de causalidad tiene su principal componente, la idea de conexión necesaria, en el simple acostumbramiento psicológico a que se produzca una repetición determinada*. Tiene pues origen en un sentimiento originado en el psiquismo humano y no corresponde a algo objetivo, es decir, perteneciente al mundo.

Lo que nos enseña este análisis de Hume es que *no es posible afirmar que en el mundo los hechos responden a conexiones de causa y efecto*. El hecho de que ciertos fenómenos se sucedan *hasta ahora* sin excepción nos hace tener una visión "causal" del mundo. Y es esta visión causal la que nos lleva a suponer, *sin ninguna justificación racional*, que lo que ha sucedido hasta ahora seguirá sucediendo en el futuro. Para resumir, si seguimos a Hume: cada vez que la ciencia dice "a causa de",

lo que debiera decirse en rigor es “luego de”. Podría perfectamente suceder que aquello que hasta hoy se ha verificado deje de verificarse mañana. No hay ni razón ni dato de experiencia que permita asegurar que el sol saldrá también mañana. Cuando se dice: “*siempre* que llueve el pasto se moja” se está afirmando una sucesión temporal entre dos hechos que hasta ahora se han presentado uno tras otro. Cuando, en cambio, se dice: “*porque* llueve el pasto se moja”, no solo se afirma la sucesión temporal sino que además se está suponiendo que la sucesión temporal *es necesaria, que la conexión entre ambos fenómenos se produce por alguna forma de obligatoriedad*. Sin embargo, esta necesidad u obligatoriedad de conexión entre dos fenómenos *nunca puede ser percibida empíricamente* y por lo tanto no pertenece a la naturaleza. *Lo que Hume rechaza a través de estos análisis es concebir la causalidad como una determinación ontológica propia de la naturaleza, concebirla como una ley constitutiva o inherente a ella.*

Se comprende la importancia de estos análisis de las ideas de “sustancia” y de “causalidad”. Nos encontraríamos, de acuerdo con ellos, ante un mundo sin sustancias (cosas) ni *lazos necesarios* entre impresiones. Hume no pone en duda el valor de las “explicaciones” causales de la ciencia. Sus éxitos son patentes y las aplicaciones prácticas de sus resultados han cambiado y siguen cambiando aceleradamente la relación entre el hombre y la naturaleza. Lo que aquí está en juego es el *significado* de la operación científica. ¿Qué hace la ciencia cuando “explica” el mundo? Constituye cadenas a partir de regularidades observables o propone otras no observables a partir de las primeras y las transforma en “leyes naturales”, es decir, en principios con pretensión *de necesidad* universal y de carácter objetivo: en igualdad de condiciones, luego de A sucederá *necesariamente* B. Dicho brevemente, toma el “luego de” por un “a causa de” y el “a causa de” por una determinación propia de la naturaleza. Aquí está su error.

Nos encontramos aquí en una primera etapa histórica de la reflexión acerca de uno de los pilares de la ciencia y de la filosofía: la idea de causalidad. La consecuencia inmediata de este análisis fue la afirmación por Hume de que *la ciencia no permite conocer la realidad sino que, en el mejor caso, solo permite repertoriar la regularidad en que, hasta ahora, se han venido manifestando los fenómenos*. Sin garantía alguna de que estas series de sucesiones –que permiten a los científicos hablar de “leyes naturales”– tengan algo que ver con el mundo tal como es.

Un segundo paso importante en la reflexión sobre la idea de causalidad fue el propuesto por el filósofo alemán Immanuel Kant (1724-1804). No entraremos en los detalles de su célebre *Crítica de la razón pura* (1781); en adelante la citaremos como *CRP*;<sup>23</sup> sino que nos hemos de limitar a exponer el sentido general de sus análisis en relación con lo que aquí nos ocupa.

Es posible afirmar que hasta Kant el “conocimiento” fue comprendido como el acto mediante el cual el intelecto se adecua a sus objetos (*adequatio rei et intellectus*). En efecto, “conocer” significó desde Platón el hecho de reflejar adecuada-

---

23 Immanuel Kant, *Crítica de la razón pura*, trad. de M. Caimi. Buenos Aires: Colihue, 2007.

mente una realidad exterior al acto del conocimiento. Y sin embargo, *constatar esta adecuación* entre el pensamiento y la cosa resulta por principio imposible: para que pudiese tener lugar y ser verificada sería preciso conocer ambos extremos de la operación y confirmar o infirmar su adecuación. Dicho de otro modo, para que pudiésemos afirmar la adecuación entre un enunciado y el fenómeno al que se refiere deberíamos conocer, por un lado, aquello que dice el enunciado (y aquí no hay problema); pero por el otro lado, también *aquello que es este fenómeno*. Pero esto es imposible, pues *¿qué es este fenómeno es precisamente lo que deseamos conocer!*

La idea de *adequatio rei et intellectus* todavía estaba apoyada en la comprensión realista aristotélica del mundo (“hay fuera de nosotros ‘cosas’”) que Hume venía de derribar.

Con su postura empirista, Hume tuvo el mérito de comprender, afirmará Kant, que el conocimiento no se reduce a una aprehensión de ideas –como suponía el racionalismo– sino que siempre *comienza con la experiencia*. El error de Hume, sin embargo, habría sido pensar *que basta con ella*. El filósofo alemán observa que tanto el racionalismo –para el cual el conocimiento consiste en reflejar adecuadamente ideas–, como el empirismo –para el cual el conocimiento, por imposible que fuere, consiste en reflejar impresiones– siguen prisioneros del ideal de la imposible *adequatio rei et intellectus*. Siguen ambos, en suma, concibiendo el acto de conocer como acto de reflejar adecuadamente una realidad exterior.

¿Cuál es la nueva concepción del conocimiento propuesta por Kant? Kant, atento al extraordinario aporte realizado por Newton, comprende que para poder “conocer” la realidad el científico, en lugar de observar y reflejar pasivamente los hechos de la naturaleza, *la ha sometido activamente a un verdadero interrogatorio*; esto es: ha elaborado instrumentos y procedimientos determinados con los cuales procuró observar *las respuestas* de la naturaleza. Con Newton se había producido en el plano del conocimiento algo semejante a una inversión copernicana: ya no es el hombre quien gira en torno a la naturaleza para reflejar pasivamente sus secretos sino que, puesto en el centro, el hombre ha obligado a la naturaleza a girar en torno de él y a responder las preguntas que previamente le ha preparado.

En esta inversión reside la diferencia entre la “experiencia” de la ciencia antigua y la “experimentación” moderna. Mientras que la “experiencia” que nutre al científico premoderno supone estar reflejando fielmente y con neutralidad lo dado ante su mirada, por el contrario la experimentación moderna es concebida como un procedimiento activo y no neutral que *produce* preguntas que somete a la naturaleza, imponiéndole activamente con ello condiciones a las cuales esta debe responder. Los cada vez más sofisticados instrumentos destinados a la experimentación no son sino las encarnaciones materiales de estas preguntas. El conocimiento ya no es entendido como el reflejo pasivo de una realidad exterior, sino *como un acto que condiciona y que, así, también modifica el ámbito de su intervención*; un acto que, preparando las preguntas, *prepara de algún modo las respuestas que podrá recibir*. El sujeto del conocimiento constriñe a la naturaleza a

responderle dentro de un cuadro previamente preparado por él; *el conocimiento es siempre relativo a este cuadro y a las condiciones impuestas.*

Ahora bien, estas condiciones que el científico impone a la naturaleza para arrancarle respuestas a sus preguntas van aún más allá de sus instrumentos y experimentos y, lo sepa o no, *ya se encuentran en las mismas facultades del conocimiento humano.* Esto es lo que ignoraba el realismo de la ciencia antigua.

La ciencia, profundamente anclada en los supuestos metafísicos del realismo aristotélico, se interrogaba hasta Kant sobre *qué es* aquello que nos aparece y que llamamos realidad. Ya conocemos algunas de las célebres respuestas: la realidad es la idea (Platón); la realidad es sustancia (Aristóteles y Descartes); solo hay impresiones (Hume). Incluso Hume había sucumbido a este modo especular de concebir el conocimiento.

A este modo de interrogar (sostenido por una concepción realista y “adecuacionista” del conocimiento), Kant opone una nueva forma de preguntar. La revolucionaria pregunta que dirigirá su reflexión sobre el conocimiento será: *¿cuáles son las condiciones que hacen posible que algo se manifieste al sujeto bajo la forma de un objeto?* Dicho de otro modo, *cuáles son las condiciones de la experiencia en general.* La pregunta kantiana no es, pues, “qué conocemos” sino más bien “qué podemos conocer” en virtud de las condiciones o límites que el sujeto cognoscente –lo sepa o no– impone a la experiencia. Ahora bien, como habíamos sugerido, las condiciones a las que el hombre somete a la naturaleza para arrancarle sus secretos van más allá de aquellas impuestas por los dispositivos y metodologías diseñadas para la experimentación, *y arraigan en la constitución misma de su capacidad de conocer.*

En efecto, en todo acto de conocimiento del mundo intervienen dos facultades: la sensibilidad y el entendimiento. *Estas dos facultades, con sus caracteres propios, son ya condicionantes de las respuestas que ha de dar la realidad a las preguntas del hombre.*

En la primera parte de su *Crítica de la razón pura*, estudiando la sensibilidad en tanto esta es uno de los dos componentes que condicionan el conocimiento, Kant mostrará que la manifestación de todo “fenómeno” aprehendido por nuestros sentidos tiene lugar *en el tiempo. El tiempo es la condición de posibilidad de todos los fenómenos, ya sean estos “internos” o “externos”.* En el tiempo es conocido todo lo que conocemos a través de nuestras percepciones, y *únicamente* le es dado al hombre conocer en el tiempo. La sensibilidad recibe, pues, y experimenta todos sus contenidos empíricos sobre un horizonte de tiempo: en el tiempo veo el color rojo, escucho los sonidos, constato mi propia existencia. Sin embargo, *el tiempo mismo no es un contenido empírico de mi sensibilidad:* contrariamente a lo que sucede con los fenómenos que conocemos, *no captamos el tiempo en el tiempo.* También podríamos decir esto del siguiente modo: el tiempo, condición de toda manifestación empírica, condición de toda experiencia sensorial, no es “recibido” como un contenido por nuestra sensibilidad. Este resultado, que ya indica *el carácter no-objetivo* del tiempo no debiera llamarnos la atención: nadie ha “percibido” *a través de sus sentidos* el tiempo como un contenido que los afecte (desde

“afuera” o desde “dentro”), ni hay máquina alguna capaz de recibirlo para, por ejemplo, medirlo. Veremos que *no hay nada más ajeno al tiempo* que un reloj.

## ¿Qué es el tiempo?

Si el tiempo no es un contenido empírico intuitivo<sup>24</sup> (es decir, captado por nuestros sentidos), como el color rojo que veo, ¿será tal vez un concepto? Un concepto es una idealidad que permite subsumir bajo él diversos contenidos empíricos: “mesa”, por ejemplo, es el concepto que permite comprender o designar diversas mesas particulares y diferentes entre sí (las hay rojas, blancas, altas, bajas, de tres patas, de cuatro, etcétera, y todas son “mesas”). Pero el tiempo tampoco es un concepto, pues *no hay diversos tiempos* (largos, cortos, de ayer, de hoy, etcétera) sino, según muestra Kant, un único tiempo comenzado desde siempre, el mismo tiempo en que tuvo lugar el Big Bang, la batalla de Maratón y nuestra propia existencia; un único tiempo del que las diversas “partes” no son más que fraccionamientos. Ni intuición empírica ni concepto, *el tiempo es, según Kant, una forma a priori de nuestra sensibilidad*. No un “algo”, una “cosa”, sino *el modo en que los sentidos reciben los contenidos empíricos y así los manifiestan y los conocen*.

He aquí, pues, la primera “condición” que el hombre impone a la naturaleza cada vez que esta se le manifiesta: el tiempo. Nada se le presenta fuera de él, nada puede ser conocido fuera del tiempo.<sup>25</sup> En la expresión anterior, *a priori* designa el hecho de que el tiempo es, en tanto condición de toda experiencia, independiente de esta. La relación entre el tiempo –ese cristal a través del cual el hombre mira el mundo, un cristal que condiciona, pues, toda presencia– y aquello que en él se exhibe es compleja: si bien todo lo que conocemos lo conocemos en el tiempo, *no hay manera de aprehender el tiempo puro –es decir, separado de toda intuición sensible–* y solo accedemos a él como el fondo insoslayable de lo que en él se muestra. El tiempo no es, pues, ni una “cosa” ni una relación particular entre cosas sino la condición de toda relación. Esto es lo que muestra el filósofo en el esquematismo de los conceptos puros del entendimiento.<sup>26</sup> El esquematismo es la operación realizada por la imaginación mediante la cual el sujeto puede pasar del entendimiento a la captación de la experiencia; del concepto a lo sensible (o intuición

**24** Intuición es un conocimiento inmediato de algo. En la corriente racionalista solo existe intuición intelectual, es decir, conocimiento inmediato de ideas. Por el contrario, en Kant y en el empirismo, solo hay intuición sensible.

**25** Observemos que, con Kant, el tiempo –forma *a priori* de la sensibilidad– se ha introducido entre el hombre y su propia realidad como un misterioso fondo que procede de él mismo y sobre el cual experimenta la existencia. Ya no es posible concebir algo como un conocimiento inmediato de sí. Ahora la evidencia del “soy” cartesiano se produce sobre un horizonte que la posibilita y de algún modo la precede: la intuición pura (i. e., no empírica) del tiempo.

**26** Immanuel Kant. *Crítica de la razón pura*, cap. I “Analítica trascendental”, 1.

empírica): así, el entendimiento organiza la experiencia a través del “esquema” que funciona como unidad del entendimiento y de lo diverso sensible. Este esquema es el tiempo. En él se concilia lo que de otro modo sería inconciliable: lo puramente abstracto del pensamiento y lo puramente sensible de la experiencia. En el tiempo tiene lugar el despliegue sucesivo de la experiencia y *también* la comprensión sucesiva de este desarrollo: *en el tiempo, el entendimiento se vuelve sensible* y puede llevar a cabo su operación de ordenar *a priori* la naturaleza.

Tendremos más adelante la oportunidad de volver sobre algunas de las reflexiones más destacadas que acerca de la cuestión del tiempo ha producido la filosofía.

## **El espacio**

El método “transcendental” de Kant, que consiste en elucidar las condiciones de posibilidad de la experiencia (es decir, del conocimiento) ha determinado ya la primera y más fundamental de ellas: el tiempo.

A través de un análisis semejante al precedente, el filósofo despejará una nueva condición transcendental del conocimiento: *el espacio*. Del análisis transcendental de Kant resulta que *todos los fenómenos exteriores son conocidos en el espacio y en el tiempo, mientras que los fenómenos interiores lo son únicamente en el tiempo*. Al igual que el tiempo, el espacio constituye una forma *a priori* de la sensibilidad, un medio desplegado por ella para recibir todo lo que en ella se experimenta.

Cuando Hume intentaba comprender la cuestión del conocimiento examinando las impresiones que hay en la “mente” no había tenido en cuenta este elemento “transcendental” condicionante que le permite a toda impresión, precisamente, ser una, ser experimentada, manifestarse: el tiempo (y también el espacio en el caso de las impresiones externas).

Sin embargo, espacio y tiempo, como formas condicionantes de lo que en ellas se manifiesta, no bastan para explicar que el mundo que percibimos sea un mundo constituido *por objetos*. Un ser únicamente dotado de una sensibilidad análoga a la del hombre, es decir, de una sensibilidad “tejedora” de tiempo y de espacio, no percibiría un mundo de objetos sino un simple flujo de impresiones. Suponiendo que las lombrices poseyesen nuestra sensibilidad espacio-temporal, y que ninguna otra facultad interviniese en la formación de la experiencia, el mundo habría de manifestárseles como un continuo impresional y no como un mundo conformado por objetos. La formación del carácter *objetivo* con que se le presenta la experiencia al hombre se debe a la intervención de otra de sus facultades: el entendimiento.

El entendimiento es la facultad que, en el caso del hombre, interviene sobre los datos impresionales de la sensibilidad y los organiza formando el espectáculo que finalmente se nos presenta: el de un mundo conformado por objetos espacio-temporales, es decir, por “fenómenos”.

El filósofo alemán muestra en su libro que el entendimiento tiene doce modos de “agrupar” o de organizar nuestras impresiones (doce “categorías”,<sup>27</sup> de las cuales la de “sustancia” y la de “causalidad” son las más importantes).

Hume tenía entonces razón: en el mundo no hay sustancias ni impera en él la causalidad como conexión necesaria entre ellas; pero lo que no había logrado comprender es que, como modos de organización *a priori* de nuestras impresiones, *las categorías de sustancia y de causalidad* operan presentándonos el continuo de impresiones como un mundo constituido por objetos causalmente anudados entre sí. El conocimiento que el hombre tiene del mundo es entonces relativo y no absoluto. Relativo a los límites constitutivos de su sensibilidad receptiva y espacio-temporal, y de su entendimiento “categorial”.

En suma, para que el conocimiento tenga lugar, afirma Kant, *han de trabajar conjuntamente* la sensibilidad y el entendimiento. El entendimiento puro, sobre el que el racionalismo pretendía sostener la posibilidad del conocimiento, solo produce conceptos vacíos que no corresponden a nada. Por su parte, la sensibilidad por sí sola –fuente exclusiva del conocimiento según el empirismo– solo produce impresiones “ciegas”, simples sensaciones que no bastan para delinear la fisonomía de un objeto. Y el conocimiento es conocimiento de objetos.

## Relatividad del conocimiento

El conocimiento es para el hombre *relativo*, en tanto no le es posible conocer fuera del espacio, fuera del tiempo que impera en sus sentidos y prescindiendo del modo de organización que imponen *a priori* las categorías del entendimiento. La causalidad y la sustancia son, en este sentido, categorías “transcendentales” del pensamiento, son *a priori* que condicionan en última instancia a la “naturaleza” y *le imponen el modo en que esta ha de presentarse si ha de ser conocida*. Esto significa que al hombre no le es dado saltar por encima de sus propios límites para conocer el mundo tal como es “en sí”, independientemente de estos condicionantes. Más aún, semejante pretensión carece de sentido pues, para el hombre, “conocer” significa inevitablemente conocer *en el tiempo y el espacio* y en ellos establecer nexos causales entre objetos. *El conocimiento, muestra Kant, es pues, para el hombre, necesariamente relativo*, y la idea de un conocimiento “absoluto” del mundo (la idea de acceder a *la verdad propia de las cosas tal como estas son en sí*) constituye un contrasentido. No es posible conocer la “cosa en sí”, aquello que sería el objeto fuera del espacio, fuera del tiempo y de la organización que le imponen las categorías del entendimiento que lo estructuran: *solo podemos conocer el “fenómeno”*. La distinción que establece Kant entre “fenómeno” y “cosa en sí” expresa el carácter finito y relativo de nuestro conocimiento del mundo.

<sup>27</sup> La categoría no es una idea sino, precisamente, *un modo de poner en relación en las proposiciones el sujeto y el predicado*.

El análisis de Kant revela que, en el acto del conocimiento, el ser humano impone ciertas condiciones *de forma* (*espacio, tiempo, causalidad, entre otras*) a aquello que ha de aparecer, pero no las condiciones *materiales* que penetran en el ámbito del conocimiento y son promovidas a la condición de “fenómeno” siempre dentro del cuadro formal prescripto por los elementos *a priori* del conocimiento. ¿Qué es la mesa cuando nadie la observa? Pero precisamente no es un “qué”, una cosa, sino que un x misterioso se presenta como cosa (como “sustancia”) no bien penetra en el campo de luz del conocimiento humano, y no puede hacerlo de otro modo si es que ha de manifestársenos.

Relativo, el conocimiento lo es en tanto *no es posible un conocimiento de la realidad tal como es “en sí”* sino que tan solo es posible conocerla vestida con el ropaje con el cual se presenta a nuestra requisitoria. A lo que así se presenta, Kant lo denomina el “fenómeno”. El fenómeno es siempre e inevitablemente temporal, a veces espacio-temporal, siempre tiene el aspecto de “cosa” (que le imprime la categoría de sustancia), siempre comprendido como “efecto” de una “causa”. *Aquello que la cosa es fuera de los condicionantes del conocimiento –la “cosa en sí”– no puede ni podrá nunca ser conocido*. No por un déficit transitorio de medios instrumentales adecuados, y susceptible de ser subsanado a través del progreso de las ciencias, sino, como lo hemos visto, por una cuestión de razones o “de derecho”: es imposible conocer fuera de las condiciones transcendentales o *a priori* del conocimiento.

Ahora bien, si no es posible conocer la realidad “en sí”, es posible en cambio *pensarla*, como lo hacemos ahora. Kant llamará a este “en sí” definitivamente inaccesible el *noúmeno*, aquello que se puede pensar (pero no conocer).

En suma, en el acto del conocimiento el sujeto modifica *a priori* la realidad conocida. Que el mundo se nos presente como una sucesión necesaria de causas y efectos en el tiempo es, para el hombre y, por lo que sabemos, solo para el hombre, una necesidad *a priori*. En rigor, la causalidad, el tiempo y el espacio nos dicen más acerca de lo que somos que acerca de lo que es el mundo. El sujeto condiciona en su acto de conocer la realidad conocida y esto hace que, de los fenómenos, podamos conocer *a priori* aquello que hemos puesto en ellos.

Recordemos que Hume –con su crítica de la sustancia y de la causalidad– había mostrado la imposibilidad del conocimiento. Su empirismo había arribado a una posición escéptica que podría sintetizarse así: solo conocemos impresiones (y relaciones entre ideas, como sucede por ejemplo en las matemáticas y en la lógica); no es posible saber si algo existe fuera de la “mente”. Por el contrario, el análisis de Kant, a quien a diferencia de Hume no le caben dudas de que la ciencia “conoce”, muestra *cómo es posible el conocimiento y la naturaleza de este*. Lo que la ciencia conoce, sin embargo, no es la realidad “profunda” del mundo (su en-sí), sino el “fenómeno”, *su modo de presentarse ante la requisitoria condicionante del hombre*. Fuera de la luz de la conciencia humana, el fenómeno pierde su forma y retorna a la noche impenetrable del *en-sí*.

Que la ciencia y la naturaleza hablen un mismo lenguaje, que la naturaleza deleve sus secretos sometiéndose a las exigencias de la razón ya no representa para Kant un misterio: *la ciencia recoge del mundo lo que ella misma siembra*. Es porque la naturaleza se presenta al hombre *organizada a priori* bajo las formas condicionantes del tiempo, el espacio y los conceptos puros del pensamiento (categorías) que el hombre encuentra en ella lo que busca y que ella responde a sus preguntas.

Debemos considerar aún dos aspectos más de esta teoría del conocimiento cuyo “relativismo” aún hoy da que pensar. El primero de ellos es la posibilidad del conocimiento matemático. La naturaleza responde amigablemente a la requisitoria matemática a que la somete la ciencia, y Kant nos explica el porqué: porque la organización *fenoménica* que el conocimiento humano le impone *a priori* posee ya la estructura de las matemáticas. Pero ¿cómo son posibles las matemáticas? ¿Cómo es posible la geometría? ¿Cómo son posibles estas ciencias rigurosas que, contradiciendo en apariencia los resultados de Kant, *producen sus resultados sin recurrir a la percepción, es decir, sin recurrir a la intuición sensible*? ¿No habíamos visto que el conocimiento requiere *tanto de la experiencia como de los conceptos*? Y sin embargo, el matemático, el geómetra, no buscan sus principios ni sus resultados en el mundo; no recurren a ninguna forma de experiencia que tenga que ver con los sentidos. Más aún, hasta se podría decir que ambas ciencias solo son posibles como ciencias rigurosas a condición de cerrar los ojos. Alcanza para comprobarlo observar a un matemático pensando. Nuevamente, la respuesta del filósofo nos sorprenderá. Los juicios matemáticos, los juicios geométricos, no son simples juicios analíticos *a priori* (aquellos en los que el predicado derivaba del análisis del sujeto, como en “los ciegos son no videntes”) ni tampoco juicios “sintéticos a posteriori” (“esta mesa es negra”). Se trata, por el contrario, de verdaderos *juicios sintéticos a priori*: sin recurrir a la experiencia, sin recurrir a algún contenido *recibido* por sus sentidos, el matemático o el geómetra enuncian proposiciones de carácter sintético (aquellas en las que el predicado dice algo no contenido ya en el sujeto), es decir, con nuevo contenido cognitivo. Pero ¿cómo es esto posible?

Lo que hace el aritmético, sin saberlo, es *explorar las propiedades del tiempo, una de las dos formas a priori de nuestra sensibilidad*. Pues la aritmética, que podríamos definir como ciencia de la sucesión (1, 2, 3, 4, etcétera) solo es posible sobre fondo de tiempo: el tiempo es el elemento que *–poniendo toda cosa fuera de sí– despliega la exterioridad sobre la que es posible una sucesión*.<sup>28</sup> Análogamente, la geometría es una exploración de las propiedades *a priori* del espacio. De este modo, ambas disciplinas tienen la peculiaridad de poder producir nuevos contenidos de conocimiento sin tener que recurrir a la experiencia sensorial.

---

**28** Recordemos que en el tiempo, nada coincide con sí mismo, todo presente se deshace en una cola de “ha sido” antes de poder solidificarse. Yo ya no soy quien era hace un segundo. Y esto vale para toda cosa.

## Conceptos e ideas

Antes de dejar a Kant, consideremos otro de sus célebres análisis. Se trata aquí de la diferencia entre *conceptos* e *ideas*.

Hemos distinguido ya entre conceptos e ideas cuando tratábamos la cuestión de la naturaleza y luego la del tiempo (sobre el que decíamos que no era una idea ni un concepto), pero lo hemos hecho sin dar una verdadera justificación de la distinción. Los conceptos (mesa, rojo, cuaderno, etcétera) tienen el carácter de generalidades que permiten designar y abarcar objetos particulares: “mesa”, por ejemplo, permite referirse a cualquier mesa, independientemente de sus caracteres específicos. El concepto, por lo tanto, permite subsumir una diversidad empírica debajo de él. Pero, ¿qué es una idea?

El entendimiento *unifica la experiencia dada a nuestros sentidos en el espacio y el tiempo* a través de “reglas”: unifica la multiplicidad de la intuición conectando sujeto y predicado a través de sus categorías, y así formando juicios.<sup>29</sup> Por el contrario, la razón es la facultad que *produce la unidad de las reglas del entendimiento bajo principios últimos*. Ahora bien, cuando esta ya no se refiere a *objetos de experiencia* no nos puede dar a conocer nada.

La razón es la facultad que busca llevar a una total unidad el conocimiento ofrecido por el trabajo del entendimiento sobre la sensibilidad. Cuando en su operación “ascendente” de unificación va más allá del campo de la experiencia, es decir, lo efectivamente dado –y esto es inevitable, “natural”–, se produce una “ilusión transcendental”: un engaño necesario de la razón que consiste en creer que podemos extender el alcance del entendimiento *más allá de la experiencia sensible* hasta alcanzar el conocimiento de las cosas en sí. Dicho de otro modo, cuando la razón supera el campo de la experiencia, las categorías del entendimiento realizan su obra de organización sobre nada. En lugar de conectar lo dado a la sensibilidad, la causalidad comienza a “trabajar en el vacío”.

¿Quién ha hecho esta mesa?, pregunta el niño a su padre. El carpintero. ¿Quién ha hecho al carpintero? Su madre. ¿Y quién ha hecho a su madre? La abuela del carpintero. ¿Y quién ha hecho al primero de la cadena? El padre responde: Dios. La última pregunta del niño revelaba su insatisfacción por toda respuesta que se atuviese a presentar un nuevo fenómeno, es decir un hecho espacio-temporal a título de explicación última. Es la insatisfacción propia de la razón, facultad de los principios que, unificando los conocimientos del entendimiento, busca en lo incondicionado la unidad sintética de todo conocimiento. La última respuesta del padre cumplió con las expectativas del niño: en lugar de indicar bajo la forma de un nuevo concepto alguna realidad susceptible de ser conocida, es decir, un “fenómeno”, ofreció una *idea formada por la razón* en su trabajo de aplicar las

---

29 Estas categorías son: unidad, pluralidad, totalidad, realidad, negación, limitación, inherencia y subsistencia, causalidad y dependencia, comunidad, posibilidad e imposibilidad, existencia y no-existencia, necesidad y contingencia.

categorías “en el vacío”. Pues la razón, facultad de los principios, es decir, de lo incondicionado, *busca cerrar sus cadenas de causa y efecto*, y dado que la pregunta del niño, también conducida por la razón, refería fuera de toda fenomenalidad, formó la idea de un ser incondicionado que cumple aquí el papel de principio explicativo. “Dios”, afirma Kant, es una idea formada por la razón en su uso “transcendente”<sup>30</sup> (es decir, cuando esta va más allá del material susceptible de ser dado a los sentidos).

Por un lado, en tanto es una simple idea, contrariamente a un concepto, no refiere a ningún contenido efectivo y por ello no proporciona ningún conocimiento. Ideas de la razón son también “mundo” (principio explicativo de los fenómenos cosmológicos pues, ¿quién ha visto o podría ver alguna vez el “mundo?”), “alma” (principio explicativo de los fenómenos psíquicos), “libertad” (principio explicativo de nuestra acción).

Sobre las ideas, nos muestra Kant, es posible afirmar y justificar ciertas propiedades pero también es posible afirmar todo lo contrario; en ambos casos con plena razón (“antinomias de la razón pura”). ¡En ninguno de los dos casos se estará enunciando una proposición de conocimiento! Las discusiones acerca de si Dios existe o no existe<sup>31</sup> o acerca de si el mundo tiene o no tiene un comienzo y un final en el espacio y en el tiempo son para el filósofo alemán –que sin embargo era un hombre de fe– vacías discusiones en torno a una idea que ha formado la razón para cerrar las cadenas causales, y lo ha hecho superando su terreno de operatividad cognoscitiva, es decir, yendo más allá de la experiencia. La llamada “primera antinomia” muestra que ante la pregunta: “¿el mundo tiene un comienzo en el tiempo y es limitado en el espacio, o bien no tiene ni comienzo ni límite en el espacio y es infinito tanto en el tiempo como en el espacio?” la razón, en vez de obtener una respuesta definitiva, puede sostener indiferentemente tanto la tesis como la antítesis y entrar con ello en un conflicto irresoluble con ella misma.

## La causalidad como amable presentación

Para abordar con mayor fecundidad la cuestión del sentido y el alcance de la explicación científica, resultará provechoso introducir ciertos análisis de un notable pensador del siglo XIX: Arthur Schopenhauer, un muy particular “discípulo” de Kant.

**30** No debe confundirse “transcendente” –que sugiere la idea de “más allá”– y “transcendental”, que, como vimos, indica en Kant anterioridad e independencia respecto de la experiencia. Dios es transcendente respecto del espacio y el tiempo. Por el contrario, tiempo y espacio son “transcendentales” en tanto condicionan todo conocimiento, toda experiencia, toda manifestación fenoménica.

**31** Notemos que la “existencia” no es un propiedad, como marrón, grande, etcétera, sino la simple posición de la cosa.

Schopenhauer produjo una ruptura radical respecto de la tradición que desde Platón hasta Hegel, pasando por Kant, había perseguido la realidad en el ámbito de la conciencia y sus objetos. Por debajo del universo que nos muestra la representación, es decir la conciencia,<sup>32</sup> un universo compuesto de figuras siempre (pues son dadas *a priori*) dóciles a la requisitoria de la razón emerge la violencia (prácticamente impensable de la realidad, a la que comprende como *una fuerza siempre ya enteramente dada y activa*). El filósofo la denomina la *voluntad*.

Es en esta fuerza *irrepresentable* pero en parte inmediatamente experimentada por el hombre donde Schopenhauer sitúa la esencia de la realidad.

A decir verdad, el mundo nos es ofrecido bajo dos formas a la vez: por un lado, *como representación*, es decir, como el tejido de fenómenos espacio-temporales y causalmente ordenados cuyas formas y legalidad *a priori* Kant había descrito con genio; por otro lado, el mundo nos es dado como una fuerza totalmente ciega que empuja sin perseguir ninguna finalidad determinada. Sin finalidad, pues ¿qué cosa podría querer esta “voluntad” que todavía no poseyese si ella es la esencia de lo real, lo único que existe y nada más hay fuera de ella?

Esta “voluntad” es claramente manifiesta en los organismos vivientes que, sin descanso y sin poder evitarlo, persiguen sus fines determinados y, una vez que los alcanzan, emprenden fatigosa e inevitablemente la tarea de satisfacer nuevos fines. Pero también ella actúa en aquello que la ciencia, con su mirada siempre exterior (pues solo conoce el mundo como *objeto de la representación*) llama “fuerzas naturales”: en la fuerza que preside el movimiento misterioso de los cuerpos en el universo y las partículas más pequeñas que haya desentrañado el microscopio o supuesto el pensamiento. La consistencia misma de las “cosas” no se debe más que al efecto de esta fuerza ubicua y omni-englobante. En los seres orgánicos superiores, esta fuerza está acompañada de conciencia, es decir, de representación; en el resto de la naturaleza ella opera a ciegas, es inconsciente.

Para comprender mejor el significado y las consecuencias de la revolucionaria idea de Schopenhauer consideremos el movimiento de una de nuestras manos en el aire. Lo que un observador exterior *se representa* de este movimiento es un fenómeno de desplazamiento de un objeto en el espacio que tiene lugar en el tiempo. Kant había mostrado cómo todo ese espectáculo compuesto por representaciones es algo que, para aparecer, *a priori* nos debe ser dado en el tiempo y –en este caso– también en el espacio, y como el efecto necesario de una causa. Por consiguiente, el desplazamiento de un objeto en el espacio sería la descripción más amplia que haría del movimiento de mi mano un observador exterior, por ejemplo un científico o yo mismo, *si no dispusiese al mismo tiempo de otro modo de acceso a él*. En efecto, *el mismo movimiento me es dado también fuera de la representación de un modo inmediato bajo la forma de una fuerza que llamo voluntad*. La realidad del movimiento reside, según Schopenhauer, en este segundo modo de manifes-

---

**32** Representación significa aquí “conciencia”, es decir, el poder que hace aparecer los “fenómenos” en el sentido kantiano.

tación del que el fenómeno visible que aprehende la representación no es más que una suerte de refracción en el espacio y en el tiempo que me lo representa bajo un aspecto puramente exterior. Solo bajo la forma inmediata de la “voluntad” soy capaz de comprender que *el secreto del movimiento reside en una fuerza*, y también, que este movimiento es el de *mi* mano. Imposible saberlo por representación. Jamás comprendería que esa mano que se mueve en el espacio es *la mía* si no experimentase inmediatamente el ser del movimiento, es decir, la fuerza, *como idéntica a la voluntad que soy. En la representación, la fuerza está ausente y solo me es dado percibir el cambio de lugar de un cuerpo en el espacio.* Ya podemos comprender que, pese a la convicción del sentido común, que también es la de la ciencia, ninguna fuerza se despliega en ese continuo espacio temporal que llamamos “mundo”; ninguna fuerza es “objetiva”. Volveremos más tarde sobre esta consecuencia decisiva de la filosofía de Schopenhauer.

Tanto como el resultado de los análisis de Schopenhauer y sus consecuencias (que serán directa o indirectamente decisivas para el pensamiento del siglo xx) nos interesa el camino recorrido por el filósofo para arribar a él.

En sus años de juventud Schopenhauer había defendido una tesis doctoral de título en apariencia estafalario: “Sobre la cuádruple raíz del principio de razón suficiente”, cuyo contenido se proyectaba sobre la filosofía y las ciencias para acusarlas de cometer una *grave confusión entre diversos planos de explicación*. En efecto, el denominado “principio de razón suficiente” dice que *todo tiene una razón* y permite explicar *por qué* una cosa es. Sin embargo, el joven Schopenhauer procuraba mostrar que dicho principio no se expresa de una única manera sino que lo hace bajo cuatro formas diferentes e irreductibles entre sí. En efecto, existen, según el filósofo, cuatro maneras muy distintas de dar razón de las cosas. Y la ciencia (aunque también la filosofía), confundiendo estas *cuatro formas distintas de necesidad* ha pretendido dar cuenta de la realidad subsumiéndola *unívocamente bajo sus explicaciones causales*.

Veamos cuáles son los cuatro tipos de necesidad que entran en juego en nuestras explicaciones. Estas varían según *el objeto* que se trate de “explicar”:

1. Cuando el objeto de la explicación es una representación empírica, es decir, pertenece al mundo físico, nos preguntamos por *la razón de su devenir*, por la necesidad física que encadena dos fenómenos, es decir, *por la causalidad*. El joven filósofo observaba con profundidad que el principio de causalidad *no puede ser detenido*: un fenómeno reenvía a otro y no hay una causa “última” para el entendimiento en el campo de los objetos intuitivos (es decir, de los hechos dados a nuestros sentidos). Sabemos, por otra parte, que esta necesidad *no pertenece al mundo objetivo* sino que es puramente psicológica (Hume) o transcendental (Kant), en tanto se corresponde con el modo en que el entendimiento organiza *a priori* la experiencia. En el mundo no opera ninguna necesidad.
2. Cuando el objeto del que se debe dar razón *es un juicio* –por ejemplo: “el universo es infinito”– lo que buscamos no es una causa sino un funda-

mento. No preguntamos por qué es infinito sino *por qué decimos* que el universo es infinito. Se trata aquí de una *necesidad lógica* que liga un principio a su consecuencia. En este caso perseguimos la exactitud del enunciado o alguna experiencia que permita fundarlo. Contrariamente a la búsqueda de la “causa” física, que es por principio interminable, este tipo de explicación siempre puede ser concluida ofreciendo una razón adecuada del enunciado.

3. Cuando el objeto sobre el que preguntamos es geométrico o matemático, por ejemplo: ¿por qué el número 4 está después del número 3?, o ¿por qué la relación entre la circunferencia y el radio de un círculo es  $2\pi$ ?, estamos en un ámbito explicativo que, como lo había mostrado Kant, incumbe a las formas *a priori* de la sensibilidad, es decir, el tiempo y el espacio, y nos encontramos ante la necesidad matemática.
4. Cuando el objeto de la explicación es la acción humana, nos preguntamos por el “motivo”. En este caso, el principio de razón es la motivación. La asombrosa afirmación de Schopenhauer –que estará luego en la base de toda su filosofía– es que la “causalidad” que la conciencia se representa en los fenómenos físicos no es otra cosa que la “motivación” vista por fuera, es decir, representada. Lo explicaremos enseguida.

Todo cuanto existe y podemos *representarnos* ha de caer bajo alguna de estas cuatro formas de “explicación”. También podemos expresarlo de este modo: el mundo, dado en la representación, se nos presenta necesariamente según alguna de estas cuatro formas de explicabilidad.

El joven Schopenhauer afirma en su provocadora tesis doctoral que la filosofía ha confundido constantemente los cuatro planos de explicación; ha confundido, en particular, causalidad con razón, es decir, la primera y la segunda formas del principio de razón suficiente. En efecto, frecuentemente, cuando la filosofía intenta explicar el mundo fenoménico cambia de plano y *pasando del ámbito del devenir de los fenómenos objetivos al plano de los juicios, cierra arbitrariamente la cadena infinita de causas ofreciéndole un victorioso punto terminal* en la certeza de una razón.

Schopenhauer no hace aquí otra cosa que retomar y radicalizar los análisis de Kant, quien había mostrado que el salto desde el tejido interminable de conexiones causales entre fenómenos físicos (es decir el “conocimiento”) al ámbito “terminal” de *lo incondicionado*, donde opera la razón pura liberada de todo contenido empírico es –en cuanto al conocimiento del mundo– estéril, en tanto no ofrece ningún conocimiento sino puras especulaciones vacías en torno a “ideas” carentes de contenido.

Este salto de un plano explicativo a otro, producto de una confusión, es lo que permite la existencia de sistemas filosóficos totalizadores que, como el de Hegel, pretenden proceder como si estuviesen describiendo la lógica que empleó Dios en el momento de la creación.

Sin embargo, lo que más preocupa a Schopenhauer de esta confusión que consiste en saltar desde la causalidad a la razón es su consecuencia inmediata: *la pérdida del asombro que ella produce ante la total ausencia de necesidad en el mundo*. Ahora bien, mientras que la filosofía ha adormecido el asombro operando un salto injustificado que va desde las interminables conexiones causales entre fenómenos a lo incondicionado que pertenece al plano de la razón, *la ciencia lo ha hecho a su manera al confiarse ingenua y esperanzadamente a la causalidad*. La ciencia espera de la causalidad aquello que esta no puede ofrecer: un punto final. Las explicaciones causales de la ciencia han invadido en los últimos siglos todas las esferas de la existencia, en un movimiento que pretende agotar el sentido de la realidad. Todo se ha vuelto para ella “causal”. Y la causalidad, sostenida por el éxito manifiesto de sus descubrimientos e invenciones, se ha vuelto el dios indiscutible de la “cultura” moderna. Todo será tarde o temprano “explicado” por la causalidad, el hombre moderno no tiene más que sentarse a esperar con una sonrisa confiada.

Pero ¿qué clase de asombro es el que se ha perdido? Precisamente el asombro ante el ser no necesario del mundo físico. Pues la explicación causal, la “etiología” –como la llama Schopenhauer– *solo informa acerca de la relación entre fenómenos pero no sobre su naturaleza. La etiología responde al ¿por qué?, pero ignora todo acerca del ¿qué es?*

La explicación científica, es decir causal, de un fenómeno consiste en ubicarlo en el lugar que le corresponde dentro de la serie de existentes que pertenecen a una naturaleza de la que el científico conoce las leyes y el devenir, *pero cuya existencia es motivo de asombro filosófico*.<sup>33</sup>

En efecto, Schopenhauer reconoce dos niveles muy diferentes de asombro: el científico y el filosófico. El asombro científico se relaciona con *los fenómenos en una naturaleza que ya viene dada*, y se origina en el hecho de que *ciertos fenómenos no han encontrado aún su lugar en el conjunto de leyes disponibles*. Por el contrario, el asombro filosófico se produce *ante lo que para el científico es, precisamente, el “curso natural de las cosas”*: es asombro ante la falta de necesidad, no solo en la conexión entre los fenómenos (falta de verdadera causalidad en el mundo) sino –asombro aún más apremiante– ante la falta de necesidad en la *existencia misma del mundo*. Y ambos asombros están en relación inversa: cuanto más disminuye el asombro científico debido al progreso de las explicaciones causales, cuanto más “comprensible” se vuelve el mundo por la explicación científica, más aumenta el asombro filosófico por la creciente visibilidad que adquiere la falta de necesidad general de la existencia. Para Schopenhauer, toda ciencia de las causas es insuficiente.

33 Retomamos libremente en estas líneas consagradas a la cuestión de la causalidad en Schopenhauer algunos de los esclarecedores comentarios que propone Clement Rosset en su *Schopenhauer, philosophe de l'absurde* (París: Puf, 1967).

*La causalidad solo nos da información sobre las relaciones entre fenómenos, por ejemplo sobre el orden en que podrá preverse su manifestación o sus cambios, pero no dice nada sobre su significación o sobre las fuerzas naturales que realizan estos cambios.*

La etiología –escribe Schopenhauer– nos informa que según la ley de causa y efecto tal estado de materia produce tal otro, y ahí termina su tarea. Así, se limita a demostrarnos el orden regular según el cual los fenómenos se producen en el tiempo y el espacio, y a demostrarlo para todos los casos posibles. Pero sobre la esencia íntima de cualquiera de ellos nos es imposible formular la menor conclusión. Se la llama entonces “fuerza natural” y se la pone fuera del dominio de las explicaciones etiológicas. Para la ciencia, la naturaleza íntima de los fenómenos constantes, la fuerza que se manifiesta, es un secreto que le escapa. La fuerza que hace caer la piedra o que empuja un cuerpo contra otro es tan desconocida y misteriosa para nosotros en su esencia como la que produce los movimientos y el crecimiento del animal (*El mundo como voluntad y como representación*, que en adelante mencionaremos como *MVR*).

Así pues, la idea de causalidad nos hace correr de fenómeno en fenómeno, de apariencia en apariencia, prometiendo entregar al término algo que nunca podría entregar. La pérdida de asombro del hombre moderno se explica por el hecho de que, llevado de la mano por la ciencia, ha terminado por caer en su juego y aguarda inútilmente esperanzado que el progreso de las cadenas causales ofrezca una ciencia “completa” de la naturaleza.

Con humor, Schopenhauer describe la obra que realiza la causalidad como una amable y jovial presentación:

Frente a la ciencia etiológica *completa* de la naturaleza el filósofo debería sentir la misma impresión que un hombre que, sin saber cómo, cayera en un pelotón que le es completamente desconocido en el que todos los miembros, uno tras otro, le presentan a otro como un amigo o un pariente. Asegurando que está encantado, nuestro filósofo tendría todo el tiempo en los labios esta pregunta: “¿Qué diablos tengo en común con toda esta gente?” (*MVR*).<sup>34</sup>

La causalidad es esta presentación infinita que a título de “explicación” de un fenómeno nos invita a estrechar amistosamente la mano de otro. Para el filósofo alemán, toda explicación científica es insuficiente. “Toda ciencia no es suficien-

---

**34** Los dos extractos de *El mundo como voluntad y representación (MVR)* citados fueron tomados de C. Rosset. *Schopenhauer, philosophe de l'absurde*. París: Puf, 1967.

te accidentalmente (es decir por su estado actual) sino esencialmente (es decir, siempre y para siempre)".<sup>35</sup>

La esfera de la causalidad es la de las interminables conexiones entre fenómenos físicos. En ellas no reina, como le habían enseñado primero Hume y luego Kant, ninguna necesidad real y objetiva: *el mundo es inexplicable y su existencia no es necesaria*.<sup>36</sup> El mundo no existe *porque su existencia fuese necesaria*, sino que más bien consideramos su existencia como necesaria porque, simplemente, existe. Y la regresividad infinita que, conectando los fenómenos unos con otros, propone la causalidad no permite superar esta contingencia.

Si el mundo fuese necesario su existencia poseería alguna significación; sin embargo, la ausencia de necesidad lo vuelve absurdo: los fenómenos refieren cada uno a otro y en ello consiste su sentido. Sin embargo, la totalidad de remisiones entre fenómenos no refiere a nada; simplemente existe: el mundo es un hecho injustificable.

Permítasenos aquí una reflexión más personal. La causalidad nos informa acerca de la conexión necesaria existente entre un fenómeno y otro que lo precede, y que así lo "causa". Observemos que, si causar es *pro-ducere* (conducir algo adelante), "producir", entonces, la causalidad es la *ley de la producción*. Ella nos enseña *cómo ha sido hecho algo y por lo tanto también cómo obtenerlo*. La ciencia natural moderna, hechizada por el poder de la causalidad, devela el misterio de la fabricación del mundo. Nada nos dice, en cambio, acerca de su significado, es decir, acerca del qué es. Es posible saber fabricar y utilizar algo sin comprender en absoluto, más allá de su utilidad práctica, su significación, sin conocer un ápice sobre su "verdad".

En tanto la causalidad es el motor de la moderna ciencia galileana y newtoniana, con la extensión de su poder "explicativo" a todas las esferas de la realidad se viene cumpliendo el célebre llamado de Bacon, que redefinió en el siglo XVII el papel del hombre en la naturaleza como el de su amo y señor. El motor de la ciencia natural de la modernidad, sostenida por la causalidad, es pues *el dominio, el control y la transformación de la naturaleza, y no la verdad*.

Hemos visto cómo Hume (*Tratado de la naturaleza humana*, 1739) había revelado la ruptura irreparable entre la necesidad física –que es inexistente, pues en el mundo no hay verdadera causalidad– y la necesidad psicológica. En realidad, lo que hace el joven doctorando Schopenhauer en su tesis de 1813 no es sino sacar algunas consecuencias de esta idea. Debido al desarrollo de la química y de la física, dice allí el filósofo, *todos los fenómenos se han vuelto causalmente explicables*, y con ello se ha producido la pérdida del asombro, es decir de la inteligencia, ante la existencia innecesaria. Ahora bien, esta extensión de la causalidad a todas las

35 Schopenhauer, *Parerga y Paralipomena*.

36 Contrariamente a, por ejemplo, la visión de Spinoza, construida sobre la afirmación de la existencia de una "sustancia absoluta", o de los panteísmos modernos en que la autolegitimación de Dios se vuelve también la del mundo transido por él.

esferas del mundo representado que propone la ciencia es inevitable, pues, como lo había mostrado Kant, la causalidad es una estructura *a priori* de la representación.<sup>37</sup>

El hombre está abandonado en un mundo extraño e indescifrable con sus medios intelectuales. El destino del hombre moderno es paradójico, cuanto más familiar le vuelven el mundo en que habita la física y las ciencias naturales (familiares sus relaciones y las causas que lo modifican), más este mundo cae en la contingencia. El progreso de las luces del siglo pasado ha hecho más manifiesta esta falta. Y tampoco existe una filosofía que pueda llenar el vacío primero dejado por la ausencia de la categoría de necesidad.<sup>38</sup>

La tesis doctoral del joven Schopenhauer no solo insistía sobre la ausencia de necesidad en el mundo sino también, como lo hemos mencionado, sobre la imposibilidad de poner un término a las cadenas de causa y efecto: la idea de una ciencia “completa” de la naturaleza le parece por principio un disparate. La causalidad es una idea que promete más de lo que puede ofrecer. En efecto, el filósofo queda ante la explicación causal con la misma insatisfacción que tenía antes de ella, y no puede dejar de preguntarse: ¿qué diablos es todo esto? O si se prefiere: ¿qué *significa* esto?

Ahora bien, si la causalidad –primera de las cuatro formas que puede adoptar el principio de razón suficiente– no nos enseña absolutamente nada acerca del significado de la realidad, y en cambio nos pasea de un fenómeno a otro en una jovial presentación que es la ciencia, las otras tres formas que asume el principio de razón suficiente tampoco nos dicen algo más acerca del mundo fenoménico. Esto es lo que un mes después de haber terminado su tesis doctoral Schopenhauer anotaba en un cuaderno:

... siguiendo el Principio de Razón que como un bufón se burla de los hombres bajo sus cuatro formas, estos esperan satisfacción en el saber y felicidad en la vida y siempre avanzan. Parecen alguien que camina en una planicie con la esperanza de tocar las nubes. Parecen exactamente una ardilla que corre en una rueda. *Para nosotros, hay una segunda manera de ver la vida que es como una línea que puede cortar a la otra línea en todo lugar.* Una línea que no lleva al más allá, sino fuera de representación: *al espesor de la esencia del mundo, la voluntad.*<sup>39</sup>

---

**37** Schopenhauer reduce las doce categorías de Kant a una, y las otras son como “falsas ventanas de una misma fachada”.

**38** Clément Rosset. *Schopenhauer, philosophe de l'absurde*. París: Puf, 1967.

**39** La primera forma de la razón suficiente –la causalidad– es la más importante de las cuatro porque ya está activa en toda sensación y constituye una condición de la experiencia:

El pensamiento de Schopenhauer expresa por primera vez en la cultura occidental bajo un modo sistemático *el asombro ante un ser no necesario*. La realidad es un puro hecho injustificable. La existencia no puede derivarse de ninguna necesidad previa; nada la reclama, la desea, la justifica o la aborrece: el mundo simplemente “es”. Si al menos hubiese sido el producto de un dios borracho habría de tener algún sentido, pues su existencia se derivaría de alguna forma de necesidad; pero no es el caso. En tanto no es necesario, el mundo es absurdo: la realidad es una fuerza eterna e inconsciente que puja estúpidamente en todas partes, una “voluntad”; y su empuje descabellado e innecesario es dado en el hombre, no solo como voluntad sino también en la representación, donde –en virtud del principio de razón suficiente– se manifiesta como un empuje dotado de causas y finalidades. De esta doble manifestación de la realidad, como fuerza totalmente contingente y a la vez como organización fenoménica “necesaria”, resulta el carácter cómico del universo schopenhaueriano: la realidad es una voluntad carente de toda finalidad que se presenta en nuestra conciencia como un armonioso juego de causas y objetivos precisos. Algo como un mecanismo perfecto que solo sirve para seguir funcionando. Una máquina perfecta cuyo único producto es ella misma.

Esta doble manifestación de la realidad: primero como lo que es –una fuerza inconsciente carente de propósitos–, y luego en la representación como conjunto causal y finalísticamente ordenado, muestra su contrasentido cuando intentamos comprender el misterio del querer: “pregúntenle a un hombre por qué quiere *tal o tal otra cosa* en cada instante y no tendrá inconveniente en responder; pregúntenle en cambio por qué “quiere” en general, y ante esta pregunta ¡permanecerá mudo!”.

Alumbrado por la conciencia, cada gesto del hombre aparece en la representación como animado por causas y fines determinados, pero desde que es cuestión conocer el motivo, la causa o la finalidad del querer *en general* (¿por qué quiero?) la razón ya no tiene nada que decir.

Así, el sistema schopenhaueriano de la voluntad pretende poner en jaque la idea de libertad humana sostenida por siglos de metafísicas de la representación<sup>40</sup> (explícita o implícitamente sostenidas por una religiosa visión finalista del

---

cuando experimentamos una sensación de cambio en un ojo, concluimos que hay una causa y la situamos en el exterior. La diferencia a este respecto entre Kant y Schopenhauer es que el primero situaba la causalidad en el entendimiento –considerado del modo más clásico como una suerte de privilegio humano de filiación divina–, mientras que Schopenhauer rebaja el rango del entendimiento al situar la causalidad en el corazón de la sensibilidad: en ese sentido, los animales ya son “inteligentes” pues, por obra de la causalidad que ya opera en sus sentidos y que crea la separación, reconocen al igual que nosotros un mundo exterior.

**40** Por “metafísica de la representación” entendemos aquí aquellas filosofías que, por situar lo real en lo representado o representable, hacían de la representación el principio último.

universo): el hombre sin duda es libre de querer esto o aquello en cada instante, pero, en cambio, no es libre de querer o de no querer.<sup>41</sup>

## **No hay fuerzas “objetivas”**

Si nos hemos referido a la voluntad schopenhaueriana como a una “fuerza” es porque, observada desde el exterior, es decir, no vivida sino representada, la voluntad se presenta a la mirada de la ciencia como una “fuerza”.

Hay “fuerza” allí donde ante la mirada algo varía su cantidad de movimiento. Hay fuerza allí donde, por ejemplo, un resorte abandona su posición inicial y se extiende en el espacio. Esta variación de la extensión del resorte en el espacio indica a la ciencia natural la magnitud de la fuerza en obra. Es porque hay una fuerza que, “como consecuencia”, el resorte se ha extendido en tanto o en tanto. La amistosa presentación que opera la causalidad hace de las suyas. Nos lleva en este caso desde el desplazamiento espacial de un cuerpo a otro participante de la fiesta, invisible este: la fuerza. Pero ¿qué es una fuerza? El resorte permanece silencioso a este propósito y nada en él revela algo como una “fuerza”. *Si no conociésemos de antemano aquello que es una fuerza, como fuerza experimentada, como fuerza vivida, el dinamómetro de Newton y la balanza de nuestros baños serían unos instrumentos no solo totalmente inútiles sino ante todo incomprensibles.* La mirada exterior que apunta a los fenómenos, es decir, la representación, y por lo tanto también la ciencia, no conoce nada acerca de *la realidad de las fuerzas*, piensa Schopenhauer. Y esto, porque la fuerza nunca se manifiesta en la objetividad del mundo; nunca una fuerza está “delante”, no hay fuerzas en la doble exterioridad del espacio y el tiempo: la ciencia, con sus métodos experimentales, nunca entra en contacto con una fuerza.

A este propósito, el propio Newton expresó con franqueza su desconcierto respecto de la *significación* de la fuerza. Cuando fue cuestión decir algo acerca de la naturaleza de la fuerza de gravedad, cuya “ley” —es decir, su modo de acción sobre los cuerpos— había descubierto,<sup>42</sup> declaró: “Acerca de su naturaleza, no tengo ninguna hipótesis” (“*hypotheses non fingo*”, en *General Scholium*).

---

**41** Una transcripción de esta intuición de Schopenhauer, fundada en supuestos totalmente diferentes, se encuentra en la célebre declaración de Sartre: “Estamos condenados a ser libres”. Todo el mérito de Schopenhauer es el haber pensado esta “condena” y no la libertad como sitio originario de la realidad.

**42** Lo que descubre Newton no es alguna ley *de la gravedad*, sino las leyes *de la cinética*, es decir del movimiento en un contexto gravitatorio. Sobre la fuerza Newton *no formula ninguna hipótesis*.

## El espacio

Galileo revolucionó la relación del hombre con el mundo al concebir en el siglo XVII la naturaleza como una conexión ininterrumpida de movimiento de puntos de masa. Lo preponderante de lo que cabría llamar su “proyecto” de naturaleza fue la *mensurabilidad* y la *calculabilidad*. Aún hoy la ciencia natural lleva a cabo sus investigaciones y persigue sus resultados en el campo abierto hace cuatro siglos por aquella decisión de Galileo.

Heidegger<sup>43</sup> indica que la primera exposición formal de esta nueva naturaleza que había diseñado Galileo aparece en Kant, quien escribía: “La naturaleza en general” es “legalidad de los fenómenos en espacio y tiempo” (CRP, B, 165) y también “la naturaleza es el ser-ahí de las cosas en tanto que este ser-ahí esté determinado por leyes generales”.

Con esta decisión de Galileo, la nueva ciencia concibió a la naturaleza como el ámbito del ente que es mensurable, preparándola con ello para la intervención de las matemáticas. Pero si la presuposición de la nueva ciencia es la mensurabilidad, la presuposición de esta mensurabilidad es la *homogeneidad del tiempo y del espacio*, pues solo es posible medir y calcular a condición de suponer que el elemento respecto del cual se hace la medición de los cambios y transformaciones es homogéneo. Cuando abordemos la cuestión del tiempo veremos la gran dificultad que se plantea al intentar justificar esta exigencia fundamental. Por el momento limitémonos a la cuestión de la homogeneidad que la ciencia moderna atribuye al espacio para poder efectuar sus mediciones.

Consideremos el movimiento, es decir, un cambio de posición en el espacio operado en el tiempo. En el contexto de la metafísica aristotélica y de sus derivaciones, es decir hasta aproximadamente el siglo XVII, el movimiento era explicado como el desplazamiento de un cuerpo de un lugar determinado a su lugar “natural”. O, inversamente, como la violencia hecha a un cuerpo que lo apartaba de su lugar “natural”, al cual inevitablemente tendería a retornar (como sucede en el caso de que, por ejemplo, se arroje una piedra hacia arriba). Por este motivo, los griegos carecían de un término para referirse a lo que llamamos el “espacio” y suponemos ser homogéneo. En su lugar utilizaban el término *topos* (“lugar”) y los caracteres de “arriba”, “abajo”, “derecha”, “izquierda”, “centro”, etcétera, constituían lugares (*topoi*) privilegiados y jerárquicamente diferenciados en lo que hoy llamamos “espacio”.

Esto se explica por el hecho de que, en el contexto de la metafísica aristotélica de la sustancia, la “forma” o esencia propia a cada cuerpo prescribía el tipo de lugar que le correspondía a cada uno de ellos: los cuerpos pesados se encuentran “arriba”, los livianos “abajo”. “Todo cuerpo tiene un “puesto”, un lugar natural: por ejemplo, un cuerpo pesado cae, uno liviano se eleva, uno terrestre se mueve

43 M. Heidegger. *Seminario de Zollikon*.

en línea recta y otro celeste se mueve en círculos”.<sup>44</sup> La distinción entre “lugares” era, como vemos, cualitativa.

Con Galileo (siglo XVII), todos estos puntos privilegiados desaparecen y con ello se constituye la idea de un “espacio” físico homogéneo y apto para intervenir en el cálculo matemático. Si el espacio es considerado homogéneo es porque –señala Heidegger– según el proyecto de la ciencia moderna las leyes del movimiento tienen que ser *iguales en todo lugar*. El cálculo y la medida se vuelven entonces posibles: la naturaleza es rediseñada con el fin de satisfacer las exigencias de la mensurabilidad.

La primera consecuencia de este rediseño es la conquista de la objetividad científica, la creación de una naturaleza “objetiva”. El *ob-jectum*, la cosa que se encuentra “delante”, es aquello que puede ser sometido a la evaluación cuantitativa de todos y, a condición de cumplir siempre con el mismo protocolo de acceso a ella, se presenta para todos del mismo modo.

Las cosas del mundo son las mismas pero se han vuelto “objetos” científicos para un *subjectum*. La objetividad, el hecho de encontrarse delante y disponible para una mensura en el espacio homogéneo y cuantificable es la garantía y la condición de la universalidad de la verdad matemática de la naturaleza. Con la suposición de la homogeneidad del espacio (y también del tiempo), nace una naturaleza “objetiva” y cuantificable que era totalmente ajena al pensamiento antiguo.

## **La cuestión del tiempo**

Si el hombre estuviese sumergido en el tiempo y arrastrado por él como un barco que es llevado por la corriente, no lo vería pasar. Si, en cambio, se hallase en una orilla del tiempo viéndolo pasar, no se encontraría afectado por él, no haría la experiencia del tiempo. Las múltiples paradojas que sobre el tiempo nos ha legado el pensamiento de la Antigüedad implican todas ellas, directa o indirectamente, la difícil cuestión del lazo entre el tiempo y el ser.

Ya nos hemos referido a la dificultad que plantea el tiempo a un pensamiento del ser: el tiempo separa y pone a distancia de sí todo lo que en él aparece. En él, resulta imposible una coincidencia entre la cosa y ella misma susceptible de ofrecerle una consistencia ontológica, un ser. Es imposible detener el instante en que el ente “es” con sus propiedades actuales; por pequeña que fuese la sección de tiempo en que busquemos la estabilidad y la permanencia que requiere el pensamiento, no las hemos de encontrar. El tiempo aborrece la identidad. La permanencia, la estabilidad, son más bien asunto del pensamiento. Atentos a esta volatilidad esencial de lo presente que impide que tenga lugar una presencia verdadera, plena e idéntica a ella misma, el pensamiento ontológico griego concibió al tiempo como alteración, como anomalía de la plenitud y de la eternidad propias

---

44 A. Koyré. *Del mundo cerrado al universo finito*. México: Siglo XXI, 1979.

del ser. El tiempo, escribía Platón, es “la imagen móvil de la eternidad”. Como si el mundo sensible no estuviese a la altura de las exigencias que impone el verbo “ser”: plenitud, unicidad e invariabilidad. Por este motivo la filosofía antigua, tanto como la moderna, tuvo tantas veces el carácter de una *arkhé-ología*: ella avanzó mirando hacia atrás, buscando encontrar delante el suelo estable y pleno –el ser– que suponía perdido antes de que irrumpiese el tiempo.

El filósofo neoplatónico Plotino (205-270) expresó de un modo ejemplar *el significado del tiempo respecto del ser* en una bella fórmula que sintetizaba el esfuerzo lógico del platonismo y su misticismo: el tiempo, escribía, es la sensación que tenemos de nuestra caída desde la eternidad. La existencia temporal no es otra cosa que esta caída desde la tierra segura del ser.

Al igual que Platón, Aristóteles situó el ser verdadero, el ser real y plenamente cumplido fuera del tiempo, en la eternidad. En efecto, tras considerar el movimiento de las cosas en el “imperfecto” mundo sublunar, mundo sometido a la generación y a la corrupción, Aristóteles concluía en la existencia necesaria, fuera del tiempo, de un “primer motor inmóvil” y eterno: Dios. También Lucrecio (*De la Nature...*) suponía necesaria la eternidad de los átomos, con los que la naturaleza formaba los cuerpos. Estos cuerpos, es decir nuestro mundo, debían por el contrario sucumbir “a los asaltos del tiempo” para ser recreados una y otra vez por la naturaleza. El gran pensador judío Baruch Spinoza concibió también la existencia como idéntica a la eternidad. Pero a diferencia de Platón o de Aristóteles, una eternidad inmediatamente experimentada en la existencia, y no perdida o prometida al término de la existencia. De ahí que nuestra razón pudiese “percibir las cosas como poseyendo cierta forma de eternidad” (*Ética, II, Prop. XLIV, Corolario II*).

La primera determinación conceptualmente rigurosa del “fenómeno” del tiempo fue propuesta por Aristóteles: “Esto es el tiempo: lo numerado en un movimiento en vista del antes y el después” (*Física IV, 11, 219, b1*). “En vista”, significa aquí “de acuerdo con”. El tiempo no es “ni (simplemente) el movimiento ni (tampoco) sin movimiento”. Tiempo y cambio, tiempo y movimiento quedaban así asociados en una decisiva pero oscura relación. Oscura, porque la definición aristotélica del tiempo lo presupone: numerar el movimiento de acuerdo con el “antes” y con el “después” significa recurrir en su definición a lo que debía ser definido, el tiempo.

En todo caso, esta determinación del tiempo a partir de la cosa que se mueve en el espacio fue decisiva para el pensamiento occidental; en lugar de interrogar el fenómeno ontológico del tiempo la atención se dirigió de entrada hacia el ente y su cambio espacial de posición.

Con Kant, como hemos visto, se produce la elucidación del tiempo como forma *a priori* de nuestra sensibilidad (*Estética trascendental*, segunda sección). El tiempo no es un “objeto” del conocimiento, no es dado a través de una intuición empírica (no es captado por los sentidos) ni como concepto, sino que constituye la condición última y el modo inapelable en que toda presencia puede manifestarse al hombre. Por decisivo que fuere, el análisis de Kant no nos revela qué es el tiempo sino que única-

mente lo determina como condición formal y también subjetiva –pues el tiempo no es un objeto ni nada objetivo– sino la condición última que garantiza la objetividad de todo conocimiento posible. Y si para el conocimiento humano el tiempo es la condición última de toda presencia, de todo “ser”, Kant nos enseña también, indirectamente, que la pregunta “¿qué es el tiempo?” no es la pregunta adecuada para develar su misterio: no es posible requerirle a lo condicionado por el tiempo –el ser– una respuesta acerca de la realidad de su propia condición: el tiempo.

En el siglo IV Agustín había formulado esta pregunta: “¿qué es el tiempo?”<sup>45</sup> y, sin lograr responderla, ofreció sin embargo la primera descripción subjetivista de la temporalidad que tal vez siga diciendo hoy lo esencial: no hay tres tiempos sino tres modos de un mismo tiempo que solo se manifiestan como modos de presencia a una conciencia: el pasado, el presente y el futuro. “Subjetivista”, en tanto el tiempo es indisociable de la conciencia del tiempo. Como modos de presencia, pues la conciencia siempre vive en presente.

“Se dirá, con mayor justeza, hay tres suertes de presente: el presente del pasado, el presente del presente y el presente del futuro. Pues estas tres suertes de tiempo existen en nuestro espíritu y no los encuentro en otro lado. El presente del pasado es la memoria; el presente del presente es la intuición directa; el presente del porvenir es la espera”.

También Agustín observó y expresó de un modo original la paradoja de la inconsistencia ontológica producida por el tiempo, paradoja que ya había conmovido al pensamiento de la Antigüedad: el pasado no está más, el futuro todavía no está, mientras que el presente siempre está por venir o ya ha pasado; *en el tiempo no hay ser*.

Estas tres instancias del tiempo, presente, pasado, futuro, no están separadas entre sí sino que conforman una unidad. Cada una de ellas es develada por una correspondiente facultad del conocimiento: la memoria abre –en el presente– la dimensión del pasado; la percepción, la dimensión del presente, y la espera nos entrega en el presente la dimensión del futuro. La unidad de las tres instancias se manifiesta en el hecho de que todo suceso que tenga lugar en el mundo ha de pertenecer de modo consecutivo al futuro, al presente y al pasado.

Cada instancia del tiempo se convierte, siguiendo una legalidad y un orden irreversible, en la instancia que le sigue: el tiempo no pertenece a ninguna de ellas por separado sino que se encuentra precisamente en la transición (hecha de sucesión y de continuidad a la vez) de una fase a otra. Y si lo que ofrece sentido a los hechos son las relaciones temporales, entonces habrá que decir, contra la concepción del tiempo propia del sentido común y contra la de la ciencia: el tiempo viene del futuro al presente y no del pasado al presente. El tiempo, escribía Heidegger, es el futuro que va al pasado viniendo al presente.

El tiempo de la conciencia, la conciencia del tiempo, tiene pues tres fases o instancias indisociables que Husserl (1859-1938) en un análisis de la instancia

---

45 “*Quid est tempus?*”, pregunta Agustín a Dios en su célebre capítulo XI de las *Confesiones*.

“presente” (que retoma las intuiciones de Agustín) expresa así: el presente es a la vez tensión de lo actual, retención del pasado y protensión del futuro. Toda conciencia de lo presente lo significa apuntando a un horizonte abierto de posibilidades, es decir a un horizonte de futuro, y lo hace reteniendo a la vez lo ya dado.<sup>46</sup> El presente encierra pues las tres fases de la temporalidad.

A esta concepción subjetivista del tiempo –en la que tiempo y conciencia hacen unidad–, cuyo primer momento lo constituyó el análisis de Agustín, se opone la idea, por lo general propia de la ciencia, de un tiempo objetivo. En ella se apoya el determinismo, ese modo de concebir el tiempo según el cual el pasado se dirige al presente y luego al futuro. *De acuerdo con ella, el futuro no es sino el desarrollo – conforme a una legalidad que la ciencia ha de develar– de lo ya dado inicialmente.*<sup>47</sup>

A la concepción de la tradición subjetivista agustiniana del tiempo se opone pues la concepción de un tiempo objetivo. Esta afirma la existencia de un tiempo de la naturaleza, independiente de la conciencia. Si el subjetivismo kantiano justifica la validez del conocimiento científico natural afirmando que se trata de un conocimiento exclusivamente fenoménico –es decir, de la inteligibilidad de lo dado sobre el fondo de un tiempo y de un espacio “proyectados” por la conciencia y no de la “cosa en sí”–, la concepción objetivista del tiempo, habitual en las ciencias “duras”, supone en cambio que las ciencias conquistan con sus investigaciones los secretos de una realidad desplegada en el entramado de una temporalidad autónoma e indiferente a la existencia de toda conciencia, y por lo tanto indiferente al hecho de ser o de no ser conocida.

Lo que ahora nos interesa es examinar un presupuesto que, como habíamos señalado, es constitutivo de la ciencia natural de la modernidad. Se trata de la afirmación de la homogeneidad del tiempo. *Esta homogeneidad es una condición insuperable para la posibilidad de transformar la naturaleza, como sucedió primero con Galileo y Newton, en una naturaleza mensurable y calculable, en una nueva naturaleza preparada para la ciencia matemática.*

## La homogeneidad del tiempo y el problema de su medición

La mensurabilidad del movimiento supone la mensurabilidad del tiempo y esta, a su vez, su homogeneidad: el tiempo no debe poder cambiar –acelerarse, detenerse, por ejemplo– en cada punto de su misteriosa realidad si ha de servir como

<sup>46</sup> En las “filosofías de la existencia”, como las de Heidegger y Sartre, esta primacía del horizonte de futuro explica la centralidad de la noción de “proyecto”: para el existente humano, la significación siempre irrumpe a partir de un proyecto y nunca viene dada como algo ya inscripto de antemano en el mundo. El lápiz es para escribir, la piedra es para escalar o un objeto de estudio para el paleontólogo, o bien es un tótem para adorar, etcétera.

<sup>47</sup> Observemos la analogía de fondo que hay entre esta concepción y la visión platónica de un tiempo que solo procesa (e irrealiza) lo dado inicialmente.

referencia para establecer la medida de los cambios que sobre su curso supuestamente homogéneo tienen lugar en la naturaleza.

La medición del tiempo es confiada a un dispositivo que nos es bien familiar: el reloj. La importancia del reloj en los dos últimos siglos ha sido tal, que se ha llegado a decir que fue su utilización sistemática y no la de la máquina a vapor lo que ha constituido la verdadera revolución de la modernidad.

Un reloj es, por lo esencial, un instrumento diseñado de tal modo que pueda realizar y exhibir un movimiento regular uniforme, es decir, un cambio regular y uniforme en el tiempo. El reloj de sol, por ejemplo, proporciona la medida del tiempo transcurrido mostrando las diversas posiciones de una sombra proyectada sobre un plano previamente dividido en segmentos iguales entre sí. Cada segmento es la reiteración del segmento escogido como unidad de medida; un metro, un centímetro, etcétera, y cada una de estas unidades de medida del espacio *representa*, a su vez, una duración (un segundo, un minuto...). En los relojes analógicos el trayecto del móvil suele ser circular y no rectilíneo; en los digitales, la regularidad es dada por la cantidad de vibraciones, es decir, de dilataciones en el espacio, de un cuarzo por segundo; en el reloj atómico, por la cantidad de emisiones, etcétera.

El reloj cumple su movimiento regular uniforme en el tiempo supuesto homogéneo, sin que el tiempo esté en absoluto directamente concernido, sin que su homogeneidad supuesta esté de algún modo verificada o demostrada: *sobre el tiempo en sí mismo, el reloj no nos da ninguna información*. Lo único que nos ofrece es la magnitud del cambio realizado en el espacio (por un movimiento supuesto regular en un tiempo *supuesto homogéneo*). Dicho en otras palabras, como diría un economista, el tiempo no constituye un insumo para el reloj, destinado a ser medido por él; ningún reloj recibe a través de algún captor y procesa el tiempo para darnos su medida ni, ante todo, para cerciorarse de su supuesta homogeneidad.

Ahora bien, la imposibilidad de garantizar la homogeneidad de aquello que llamamos “tiempo” se vuelve a su vez imposibilidad de garantizar la regularidad de un movimiento.

Si el reloj no nos entrega una medida del tiempo ni tampoco puede garantizar su homogeneidad, y solo ofrece una oscura referencia indirecta a él a través del espacio recorrido por un movimiento *supuestamente regular*, ¿cómo sabemos que este movimiento que cumplen, por ejemplo las agujas, *es regular*? Una irregularidad podría provenir tanto *de un desplazamiento no regular de las agujas en el tiempo supuesto homogéneo como también de un curso no homogéneo del tiempo mientras las agujas se mueven de manera uniforme*. No hay modo de verificar la regularidad del movimiento de las agujas si no es recurriendo a otro reloj, con el que, a su turno, obviamente enfrentaríamos el mismo problema. Si regresivamente llevamos a término este razonamiento, que lejos de esconder algún sofisma permite hacer aparecer un problema tan simple como extraordinario, se pondrá en evidencia que *nunca pudo construirse un primer reloj*, y por tanto, ningún reloj que cumpla con lo que de él esperamos: la medición del tiempo. Seguimos hoy

sin saber, con nuestros relojes atómicos notablemente “precisos”, *si sus emisiones son regulares en el tiempo; tampoco sabemos si el tiempo es regular en su curso.*

El desplazamiento del Sol en el cielo constituyó inicialmente el paradigma de la regularidad y uniformidad de un movimiento. Una regularidad y uniformidad que, como hemos visto, es doblemente supuesta pero inverificable. La construcción de relojes más “precisos” lejos de solucionar el problema lo arrastró inevitablemente, pues la situación ante la que nos encontramos es constitutiva y por ello no puede ser resuelta con la obtención de aparatos de medida capaces de producir de un modo regular una mayor cantidad de cambios por unidad de tiempo.

El reloj no parece pues revelarnos nada acerca del tiempo y, como pensaba Bergson (1859-1941), solo nos da una indicación espacial, utilizable con fines prácticos: cuando las agujas del reloj de A y las del de B se encuentren en tal posición, se han de encontrar ambos en tal o tal lugar para cumplir con su cita.

Al preguntar la hora se me informa sobre un “cuánto” de unidades de tiempo que se han obtenido, como lo hemos visto, realizando una doble presuposición: a) que el tiempo es homogéneo; b) que el movimiento del indicador de referencia –agujas, vibraciones de cuarzo, desplazamiento del Sol, emisiones atómicas, etcétera– es regular y uniforme en el tiempo. En ninguno de los dos casos tenemos algún conocimiento de que esto sea así.

- a) En el primer caso, porque nuestra única relación con el tiempo pareciera estar establecida *en nuestra conciencia del tiempo*, y no debida a algún dispositivo objetivo como el reloj. *La relación de nuestra conciencia con el tiempo es la conciencia del “ahora”; la posibilidad de experimentar el “ahora” es lo que –cada vez que observamos el reloj– nos permite comprender que “ahora” son las 17 h, y así dar algún significado temporal a la información del reloj.* Y esta relación entre la conciencia y el tiempo no puede ser medida. En efecto, cualquier tipo de medición tiene dos exigencias que deben ser cumplidas: 1) que se fije una unidad de medida; 2) que exista *una simultaneidad de las partes de aquello que va a ser medido.* Ahora bien, *en el tiempo no hay simultaneidad de partes y únicamente nos es dado de él un “punto” a la vez: el instante presente.* La simultaneidad de las partes del espacio es posible, la de las “partes” del tiempo, no (lo que explica, según Bergson, que el reloj sea una supuesta –aunque imposible– transcripción espacial de la experiencia del tiempo).
- b) En el segundo caso, no podemos asegurarnos de la regularidad del movimiento del móvil, porque a la incertidumbre acerca de la homogeneidad del transcurrir del tiempo se añade aquella incertidumbre sobre la regularidad del movimiento en el tiempo, que solo podría ser levantada a través de una regresividad infinita que lleva a la imposible construcción de un primer reloj.

Está claro que la primera incertidumbre alcanza para volver incierta la regularidad del movimiento.

El más sofisticado reloj de hoy, cuyo servicio a la causalidad, es decir a la física –y también a la vida corriente– es indudable, constituye por lo tanto un instrumento elaborado sobre supuestos incontrolables *por principio* y, por ello, imposibles de ser transformados en conocimiento por el progreso de la ciencia.

En cada medición el tiempo nos es dada *de antemano* la experiencia que hace nuestra conciencia del “ahora”. Cuando digo: son las 14 h, mi único trato con el tiempo reside en el implícito “ahora” que pronuncio, sin el cual mi lectura del cuadrante carecería de cualquier sentido temporal. Mi experiencia del “ahora” es la única información directa que dispongo sobre el tiempo, pero precisamente ella no me es dada por el reloj.

En la indicación del reloj apuntamos al tiempo, pero el tiempo no nos es dado. Si queremos saber qué es el tiempo, no pueden ayudarnos las diversas referencias al tiempo que residen en las indicaciones del tiempo.

### **El problema de la pregunta por el tiempo**

Cada “ahora” también es un “hace un instante” y un “dentro de un instante”. Sin embargo, cuando llevamos a cabo esta operación particular que es “contar el tiempo” no prestamos atención al “hace un instante” ni al “dentro de un instante” sino que solo consideramos el uno-tras-otro de los “ahoras”. El contar el tiempo es, según Heidegger, *una relación particular y determinada con el tiempo* entre tantas otras posibles, en la que estos caracteres fundamentales no son tenidos en cuenta aunque siguen allí: el hace un instante se vuelve pasado y finalmente “ya no”. El dentro de un instante llega a ser “después” y finalmente “aún no”.

No puedo preguntar *dónde* está el tiempo pues esta pregunta solo vale para la cosa espacial. No puedo preguntar *cuándo* es el tiempo pues eso solo vale para aquello que transcurre *en el tiempo* (y el tiempo no está *en el tiempo*). No puedo preguntar *qué es* el tiempo si el tiempo constituye *la condición de posibilidad de todo lo que es*. Heidegger presenta este problema de la relación entre ser y tiempo de un modo sumamente esclarecedor. Para la comprensión más habitual, “ser” significa “estar presente”, “presencia”. La mesa “es”, significa, la mesa “está presente”. De este modo, el ser es implícitamente definido en relación con una sola de las tres instancias del tiempo, el presente. Sin embargo, el pasado y lo futuro no son una pura nada y están coimplicados en la significación de lo presente. Por esta razón, escribe el filósofo: “No es posible captar el ser del tiempo con la comprensión usual del ser en sentido de presencia”.

Por otra parte, Heidegger observa que la determinación del “ser” del tiempo a partir de la presencia *ya supone la temporalidad precisamente en la presencia*, y de este modo solo se está ante una circularidad que consiste en definir el tiempo a partir del tiempo.

## La ciencia ante la cuestión del comienzo. Significación de lo “ontológico” para el conocimiento

Los enunciados que hacemos sobre lo que perciben nuestros sentidos se fundan en lo percibido. Si lo percibido fuese dudoso, intentaríamos aguzar la percepción de modo natural o a través de algún instrumento, hasta que la cosa se manifestase con mayor claridad. Una ciencia natural no puede comenzar si no dispone ante su mirada del fenómeno que trata de comprender. Sin embargo, es posible distinguir aquí *dos tipos de fenómenos*: por un lado, la cosa, lo que aparece, lo perceptible. Lo llamaremos, siguiendo a Heidegger, lo “óntico” (pues refiere al ente). Por otro lado, aquello que no aparece directamente pero que sin embargo está necesariamente supuesto en lo que aparece, como sucede con la *existencia* misma, pero también con el tiempo o el espacio: lo llamaremos fenómenos *en sentido ontológico*. Para simplificar, digamos que lo “óntico” refiere a la cosa, al “ente”, mientras que lo “ontológico” refiere a su ser o a su aparecer. Esta distinción entre lo óntico y lo ontológico parece necesaria pues, si bien los entes que aparecen difieren entre sí, todos tienen en común el hecho de aparecer, el hecho de “ser”.

El científico percibe un fenómeno determinado, describe ciertas propiedades suyas e intenta demostrar que posee ciertas otras que no son inmediatamente aparentes. Todas estas operaciones *presuponen la existencia* de aquello que tiene enfrente, *existencia* que, sin embargo, no es ninguna propiedad particular de la cosa. Esta existencia no se puede “demostrar” sino solo constatar, y constituye el punto de partida de sus investigaciones.

Los fenómenos en sentido ontológico siempre “preceden”<sup>48</sup> a los ónticos, dado que son la condición de su manifestación. ¿Qué significa esto? Que solo si somos capaces de “captar” de algún modo el *existir* de algo –una mesa, un número–, este algo se nos puede aparecer como “siendo”, es decir, como un ente.

Hay pues en el hombre una peculiar apertura al ser sin la cual el mundo no le sería dado. Esta apertura del hombre al “fenómeno” ontológico del ser es lo que lo distingue de un río o de una nube: si la nube no percibe el río no es, ante todo, porque no tiene órganos sensoriales, sino porque no está abierta al ser y por lo tanto es incapaz de aprehender la *presencia* de las cosas.

Ahora bien, estos fenómenos ontológicos, pese a la precedencia que tienen por sobre los fenómenos ónticos, no son habitualmente pensados ni interrogados y más bien quedan olvidados o, en el mejor de los casos, relegados al campo “estéril” del pensamiento especulativo de la filosofía. Pues, ¿qué se podría decir del simple hecho de “aparecer”? Y sin embargo son aquello que se debiera pensar primero. Cuando la moderna ciencia natural definió la naturaleza por la calculabilidad, y la realidad como lo *calculable* o como aquello que puede ser introducido en una cadena causal y ordenado según una ley; cuando Galileo redujo las montañas

48 Se trata de una “precedencia” que no debe pensarse en términos temporales, ya que ella misma instituye la temporalidad.

a triángulos para “comprender el lenguaje secreto” en que supuestamente está escrito el universo, lo que aquí llamamos “fenómenos ontológicos” no solo quedaron sin pensarse sino además excluidos del ámbito de lo real por la definición galileana. Lo que quedó fuera de una realidad así definida es precisamente aquello que la hace posible, la realidad de la realidad óptica, su puro y simple hecho de “aparecer”, de “existir”.

Su exclusión fue determinada por el principio que animó el proyecto de la nueva naturaleza: la calculabilidad. ¿Cómo podría medirse, calcularse, la *existencia* por ejemplo, si es ella la condición presupuesta en todo cálculo?

El científico natural podrá objetar que todos estos análisis que suponen la distinción entre fenómenos ópticos –los únicos de los que se ocupa la ciencia, y lo hace conectándolos en relaciones causales– y los fenómenos ontológicos es inaceptable dado que nada justifica hacer de la “existencia”, del “aparecer”, un fenómeno aparte: los fenómenos en el sentido llano –dirá–, los fenómenos “ópticos”, ya contienen todo lo que necesitan para ser lo que son. Y sin embargo, si la ciencia natural puede toparse con sus objetos para examinarlos y dilucidar el tipo de legalidad que preside su presencia es porque, pese a sus diferencias de especie, de género, etcétera, todos ellos y por diferentes que fueren, *aparecen*. Este aparecer del ente, esta existencia siempre presupuesta que no acepta demostración ni puede ser deducida no aparece ella misma; al menos no “es” en el mismo sentido en que “es” el ente. El ser del ente, afirma Heidegger, no es un ente.

El ser no es ninguna cualidad determinada de la cosa, como su color, su forma, su tamaño o su duración temporal. Si “ser” no es ninguna cualidad que se pueda predicar sobre los entes (se puede decir que una mesa tiene el carácter de ser roja, pero no que tiene, entre otras cosas, la cualidad de existir) tampoco es una pura nada que se pueda ignorar. El ser solo es una “nada” para un pensamiento que únicamente concibe o bien “entes” o bien nada. El ser, afirma Heidegger, no es ni el ente ni la simple ausencia de ente.

A la diferencia entre el ente y el ser, Heidegger la denominó la “diferencia ontológica”. Con esta indicación decisiva, pensar el ser, es decir, pensar la realidad, deja de consistir en encontrar –por vía de alguna aplicación del principio de razón suficiente, por ejemplo la causalidad– algún *primer ente* al que acordarle el privilegio propiamente *irracional* de llegar al ser a partir de la nada, causándose a sí mismo y dando comienzo al tiempo y al espacio. ¿No son estos los privilegios irracionales que –con razón– la ciencia suele rechazar en el pensamiento religioso?<sup>49</sup> Por el contrario, la exigencia de pensar el ser, la exigencia de distinguir entre el ser y el ente no tiene nada de místico, de religioso o de especulativo: no hace otra cosa que apuntar a aquello que la ciencia y el sentido común siempre dan por supuesto pero rechazan pensar.

---

**49** El *Summun ens* de la teología, Dios, realidad de la realidad, comienzo autoengendrado y principio de todo lo que es.

Iniciar una reflexión sobre esta dimensión ontológica que resiste por principio entregarse a la calculabilidad que rige los métodos científicos requiere que se abandone tanto el ámbito propio de reflexión de la ciencia natural como, ante todo, la decisión moderna de definir lo real como lo calculable. Y esto no debe llamarnos la atención, porque la ciencia *solo se ocupa del ente* e intenta establecer relaciones causales entre lo dado a la percepción o lo inferido indirectamente de la experimentación y otros entes *de los que siempre ya supone la existencia*.

Ante este problema difícil de pensar –la cuestión del ser– la filosofía de la modernidad delegó en la “conciencia” la capacidad de ofrecer y garantizar la existencia a los objetos. Si la mesa aparece, es, como vimos con Kant, en virtud de la temporalidad, de la espacialidad y del trabajo categorial realizado por las síntesis *a priori* de una conciencia que dice “yo”. Sin embargo, esta conciencia pensada como condición transcendental de los fenómenos no resuelve el problema planteado, pues ella sigue siendo concebida como un ente, cuando lo que se intenta aquí comprender es precisamente *en qué consiste el ser del ente*, es decir, su aparecer.

¿Nos alejamos con estas reflexiones del problema del alcance y de la significación de la ciencia? En absoluto. Nos encontramos más bien en el corazón del asunto, en aquello que debiera ser pensado con la mayor profundidad.

El problema con que se topa la ciencia física cuando trata de establecer un “comienzo” para las cadenas causales<sup>50</sup> es una buena oportunidad para comprender mejor de qué se habla cuando es cuestión de *diferencia ontológica*. La remisión causal puramente “óptica”, que en las explicaciones científicas naturales lleva (en una “cordial presentación”, diría Schopenhauer) de fenómeno a fenómeno, es por principio infinita. La explicación lleva de un ente a otro y en última instancia a un constructo: a un ente hipotético situado en un “comienzo”, por ejemplo, al bosón de Higgs, surgido de la necesidad matemática inherente a los análisis regresivo-causales.

La respuesta de la física, obtenida a través de su procedimiento regresivo-causal, consiste pues en ofrecer a título de “comienzo” un ente *sui generis* cuyo “ser” –afirma la física– precede al tiempo y al espacio, y los explica a ambos. Dicho de otro modo, la ciencia natural propone como respuesta a la cuestión del “comienzo” *un ente que, no siendo temporal ni espacial, nada tiene que ver con los entes cuya existencia debe explicar y al que, sin embargo, se le asigna un “ser” idéntico al de los entes que de él derivan*: el motivo de este contrasentido es que *el*

---

**50** Otra cosa es un “origen”. Pensar el comienzo es dilucidar la dimensión ontológica en que arraiga toda cosa, pensar su posibilidad primera y la posibilidad de esta posibilidad. Por el contrario, pensar un “origen” nos remite a lo óptico y permanece en este terreno: una cosa se origina en otra y esta, a su vez, en otra. Por este motivo, la causalidad no dispone de medios para resolver el problema del “comienzo”. Y las explicaciones científicas que pretenden “refutar” en el medio de la causalidad las intuiciones de la religión no logran siquiera ingresar en el terreno de la disputa.

*principio de causalidad lleva con su “alegre presentación” de un ente a otro, pero resulta incapaz de cambiar por sí mismo el sentido de lo que “ser” significa.*

Cuando, por otra parte, se afirma que este ente “precede” al tiempo y al espacio (y funda a través de complejos y sucesivos procesos la diversidad de entes), a través de la afirmación de esta precedencia la ciencia natural está formulando ya una teoría que deja injustificada. Pues el tiempo es la condición de toda *precedencia* y solo el tiempo puede dar alguna significación precisa a este término.

El pensamiento que se mueve exclusivamente en el dominio de la causalidad llega, a término, a un punto-origen que no se deja ya explicar por la causalidad y que, por otra parte, también escapa a la definición de la naturaleza por su calculabilidad y por la homogeneidad del tiempo y del espacio: aunque el pensamiento causal se detiene en ese punto sin poder ni pretender elucidar su significación, es exacto afirmar que, de acuerdo con su resultado, aquello que hace posible a la naturaleza no es, en el sentido estricto de su definición, nada natural.

Tal vez no sepamos si la causalidad pertenece al ser pensado (Hume, Kant) o al ser experimentado (Aristóteles), pero en todo caso vemos que ella misma resulta incapaz de fundar su propia posibilidad y que al intentarlo nos lleva a una aporía.

## **Algunas reflexiones en torno al “fenómeno” de la vida a partir de la fenomenología material**

No solo escapan de la calculabilidad y de la causalidad los fenómenos propiamente ontológicos, sino también esos fenómenos singulares que son los sentimientos. En efecto, si la ciencia de la naturaleza puede establecer rigurosamente la legalidad de ciertos procesos físicos asociados a un sentimiento particular (zonas concernidas del cerebro, energías movilizadas, etcétera) no puede en cambio en absoluto medir un sentimiento real tal como se manifiesta. Y no puede porque, a través de sus instrumentos de experimentación y de medición, no logra dar con él. Estas “realidades” inesenciales para la ciencia natural e inaprensibles por ella participan sin embargo no solo como fondo constante de todas las mediciones, cálculos y relaciones establecidas por el científico, sino que constituyen el horizonte permanente sobre el que se levanta la existencia humana y donde tienen lugar todas sus acciones.

Si la reducción operada por Galileo de la naturaleza a una entidad calculable y determinable *a priori* (por una decisión metodológica) elimina los sentimientos, esa realidad constitutiva del ser humano (y la ciencia no es nada más que uno de los tantos comportamientos del hombre), es preciso recordar que la afectividad humana ya había sido desestimada del ámbito del conocimiento por el pensamiento griego. Los afectos en general, y en particular las pasiones, fueron comprendidos como obstáculos que debían ser sorteados en el camino hacia el conocimiento verdadero. La oscuridad y la inescrutabilidad del sentimiento justi-

ficaban su apartamiento en beneficio de la claridad de la razón. Y esto, porque la verdad de lo real solo puede ser dada a la razón.

Así, la vida, en tanto experiencia inmediata de poderes y afectos organizados en torno a la identidad de un yo (o al menos de un “sí mismo” en el caso de las formas más elementales de vida), la vida como el “indemostrable” experienciarse que somos, fue desestimada por la reducción científico natural de la modernidad y reemplazada en la investigación por un conjunto de procesos objetivos espacio-temporales. Pero si el movimiento de moléculas en el microscopio indica la vida, es preciso decir que sin embargo *la vida nunca es vista*. Si la experiencia del vivir no nos fuese dada inmediatamente como aquello que somos, jamás el científico podría reconocer como lo hace que algo viviente se mantiene por detrás y sosteniendo aquellos procesos objetivos que su mirada alcanza.

Los supuestos de la experimentación moderna (calculabilidad, mensurabilidad, causalidad, y sus condiciones: la homogeneidad del espacio y del tiempo) condujeron a la transformación de la realidad sensible en una realidad constituida por entidades racionales abstractas. La seguridad ofrecida por la *evidencia* matemática y lógica se convirtió en el sitio adecuado para asentar el pilar de las ciencias modernas. Sin embargo, si bien la matematización de la naturaleza llevó a obtener éxitos sin precedentes en el dominio de la predicción, anticipación y producción de fenómenos, debemos prestar atención al hecho de que la evidencia matemática y lógica, aquella que permite afirmar por ejemplo que 3 es mayor que 2 o que permite verificar el principio de identidad, supuesto en todo razonamiento (según el cual A es igual a A), *no es otra cosa que una tonalidad afectiva particular*. De acuerdo con el filósofo Michel Henry (1922-2002) –cuya obra suele identificarse con el título de “fenomenología material” o “fenomenología de la vida”–, el privilegio de la evidencia en el pensamiento científico se debe a la neutralidad de esta tonalidad afectiva cuyo sentido nunca fue suficientemente meditado. Como se ve, la afectividad no solo no puede ser totalmente evacuada de la naturaleza por la reducción operada por la ciencia natural sino que constituye la condición siempre presente, aunque ininterrogada, de toda operación científica.

Vida, según François Jacob (1920-2013)<sup>51</sup> es un concepto que carece de realidad objetiva; por este motivo, la biología, ciencia desarrollada de un modo notable a partir del siglo XIX, no se ocupa de algo llamado la “vida” sino de explicar los vivientes efectivos y diferenciados, y lo hace determinando las relaciones constantes que establecen los fenómenos “vitales” en el tiempo y el espacio. La biología, pues, presupone la vida. En tanto es una ciencia, procede operando a partir de supuestos y desde ellos avanza deductiva o inductivamente. En este carácter Platón sentaba la diferencia entre ciencia y filosofía: mientras que la ciencia parte de lo “dado”, la filosofía apunta a conseguir un conocimiento intelectual inmediato de aquello que para la ciencia es un supuesto. Pues, si lo “dado” constituye el punto de partida y también el de llegada de la ciencia, la ciencia entera está parada sobre

51 Premio Nobel de Biología 1965.

un conocimiento prerracional, es decir, injustificado, que de entrada conmueve y deja en la indeterminación a todas sus pretensiones ulteriores de racionalidad.

Allí donde la ciencia intenta determinar las leyes de la vida en su devenir diverso, la filosofía podrá preguntarse en cambio ¿qué es la vida?

A la objeción de un pensamiento científico que reprochase a la filosofía el perseguir inútilmente el sentido de un concepto vacío pero no el de la realidad, la filosofía podría responder que, sin saberlo, toda ciencia supone al menos una comprensión oscura del concepto a través del cual organiza sus objetos de estudio. Si el biólogo no comprendiese ya de algún modo el concepto de vida, nunca podría formar su colección de entes “vivientes” para estudiar en ellos sus leyes comunes o específicas: el conocimiento de la “vida”, de algún modo, precede y hace posible el conocimiento de los “vivientes”. Dicho de otro modo, en toda visión de lo particular es presupuesto también lo universal: el platonismo de las esencias es, al menos en este sentido, difícil de refutar.

Procedamos por el momento a ciegas: ¿qué es un viviente? Un individuo, es decir, un indivisible circunscripto en el espacio, dotado de una unidad interior y de autonomía respecto del medio ambiente. Unidad y autonomías que son relativas, pues sabemos que ciertas partes, separadas del organismo entero, son capaces de reconstituirlo completamente y que, por otra parte, el viviente requiere necesariamente de constantes intercambios con el mundo. Por otra parte, un viviente es siempre una unidad única y original. El filósofo Spinoza caracterizaba a la esencia de lo viviente como “un esfuerzo por perseverar en su ser”,<sup>52</sup> esfuerzo del que dan testimonio los fenómenos de nutrición, asimilación y reparación.

Existen dos grandes concepciones –que atraviesan tanto a la biología como a la filosofía– acerca de cómo interpretar el fenómeno de lo viviente. Por un lado, el vitalismo encuentra en el fenómeno de la vida algo irreducible a la materia e inexplicable si no se recurre a la idea de *finalidad*. Por el otro, el mecanicismo que intenta reducir los fenómenos vitales a procesos físico-químicos.

Para el mecanicismo, no hay diferencias de naturaleza entre cuerpos vivientes y cuerpos físicos: solo los separa una diferencia de grado. Descartes propuso en el siglo xvii el primer modelo de mecanicismo aplicado a lo viviente, a través de su teoría de los “animales-máquina”. El animal no es sino un autómeta cuyas conexiones mecánicas son tan sutiles que resultan inaprensibles a los sentidos. La dificultad de este tipo de comprensión es, afirma George Canguilhem (1904-1995),<sup>53</sup> que si bien una máquina *se explica* mediante conexiones causales de partes exteriores entre sí, la construcción de una máquina resulta imposible de *comprenderse* sin la intervención de alguna *finalidad*. Pues toda máquina es creada en vista de cumplir alguna finalidad. El mecanicismo torna también difícil de comprender los fenómenos de autorregulación de lo viviente, pues la máquina solo puede responder a una cantidad fija de exigencias pero no

---

52 Spinoza, *Ética*, III, proposiciones VI-VIII.

53 Filósofo e historiador de la ciencia.

puede adaptarse a situaciones de una variedad infinita. Por último, la máquina está compuesta de las mismas partes, mientras que un organismo se mantiene por el flujo continuo de los materiales que lo constituyen. “Es preciso buscar el orden primario de los procesos orgánicos no en estructuras preestablecidas sino en esos procesos mismos”.<sup>54</sup>

Si bien el mecanicismo de tipo cartesiano de partes que actúan sobre partes fue sustituido por otro mecanicismo de tipo físico-químico, las dificultades siguen siendo análogas: la física explica “causalmente”, es decir, yendo de las partes a otras partes y de estas al todo, pero nunca del todo a las partes. *Y lo peculiar de lo viviente es que en él, la totalidad precede a la constitución de las partes que lo componen y que serán creadas mediante un proceso de autodiferenciación interna.* La biología, contrariamente a la física, exige un tipo de explicación en que la totalidad opere como *finalidad* que dirige todas las transformaciones internas del organismo: la sangre está hecha “para” transportar oxígeno en el organismo y, si bien es posible dar sobre ella una explicación causal (¿qué la produce?, ¿qué la causa?), esta explicación resulta irrelevante para comprender aquello que se trata de explicar.

En suma, si el mecanicismo puede acusar al finalismo de terminar suponiendo la improbable necesidad de algún “fin superior”, o de algún “principio vital” que dirige al organismo viviente, el vitalismo acusa al mecanicismo de esquivar totalmente con sus “explicaciones” causales el fenómeno de lo viviente.

A la objeción mecanicista de que una explicación por los “fines”, es decir, por la totalidad, tiene un carácter antropomórfico injustificable, el vitalismo responderá que esta objeción es ingenua dado que *toda* “explicación” ya lo tiene en el hecho de suponer una naturaleza plenamente racional y preparada para ser “explicada”.

En Kant encontramos una descripción que de algún modo concilia las partes en pugna: en un organismo, afirmaba el filósofo, “todo es recíprocamente medio y fin”.<sup>55</sup> Los fenómenos de autorreparación son en los organismos vivientes una prueba de ello.

Tal vez sea posible ir más allá de estos análisis basados en descripciones morfológicas y funcionales e intentar comprender de qué hablamos cuando nos referimos a la “vida” que ya está *presupuesta en ambas posiciones*. Para ello, se deberá, según propone el fenomenólogo Michel Henry, dejar de plantear el problema del significado de *vida* en un plano “óntico”, como si la vida fuese una “cosa” particular, un “ente” altamente complejo que se explica a partir de relaciones entre otras “cosas” o por el contrario como si fuese una “cosa” que precede a las partes que la componen. Será preciso, en cambio, pensarla en una perspectiva *fenomenológica*: en lugar de pensar la vida a partir de sus formas objetivas, visibles –donde la

54 Karl Ludwig Bertalanffy. *Les problèmes de la vie: essai sur la pensée biologique moderne*. París: Gallimard, 1964.

55 Immanuel Kant, *Crítica del juicio*.

vida está siempre supuesta pero nunca manifiesta de modo directo, como vida viviente–, se trata ahora de *dar cuenta de su modo específico de manifestarse, de su modo de aparecer*.

Nos servimos del concepto “vida” en muchos sentidos: psicológico, espiritual, biológico, etcétera. Sin duda, para los vivientes que somos no hay nada más importante que aquello que designa esta palabra. “Vida”, sin embargo, no solo es el concepto más importante, aquel que nos habla de lo que nos es lo más cercano y querido, sino también el concepto más vago y oscuro.

Por oscuro que fuere el concepto, no nos privamos, prescindiendo de toda precaución metodológica, de hablar de ella cuando, día tras día, nos referimos a nuestras experiencias, expresamos nuestros deseos, relatamos e interpretamos nuestras historias personales, etcétera. Este discurso espontáneo del viviente sobre su propia vida –que a su vez forma parte de ella– no solo nos parece legítimo sino, ante todo, necesario e inevitable. En todos estos discursos, en todos estos relatos, presuponemos aquello de que hablamos, la “vida”, en alguna oscura significación esencial que refiere nuestra condición de vivientes. Pero, ¿en qué consiste esta condición de vivientes constantemente supuesta, constantemente aludida? ¿De qué hablamos cuando nos referimos a la “vida”?

Si fuese posible aprehenderla en aquello que le es más propio, en su “esencia”, ¿le cabría todavía a la filosofía pronunciar a su propósito algún discurso con pretensión de veracidad? ¿Acaso, como nos ha acostumbrado el cientificismo, no es la ciencia con sus métodos rigurosos quien podrá decir qué es lo esencial? ¿No es la ciencia con sus métodos experimentales y rigurosos quien puede en nuestra época arrogarse el derecho, el privilegio y seguramente el monopolio de decir a propósito de la “vida” algo verdadero? ¿No existe acaso, por otra parte, una ciencia natural, la biología, que se da precisamente como objeto propio garantizar la constitución de un discurso verdadero sobre la vida, que busca determinarla en sus rasgos característicos, explicarla situándola como efecto en la compleja cadena de fenómenos que a su vez descubre progresivamente otra ciencia y que logra con indiscutible éxito revelar sus propiedades, sus transformaciones internas, sus orientaciones posibles, sus límites, etcétera?

Es aquí preciso recordar una observación de Edmund Husserl (1859-1938)<sup>56</sup> con la que habíamos comenzado esta sección. La afirmación *de que la ciencia con*

---

**56** Fundador de la fenomenología, una de las corrientes filosóficas más importantes del siglo xx. Entre sus más destacados representantes cabe mencionar a Max Scheler, Martin Heidegger, Maurice Merleau-Ponty, Jean-Paul Sartre, Emmanuel Levinas y Michel Henry. La fenomenología, oponiéndose a todo punto de partida de los análisis que presuponga una postura acerca de la naturaleza metafísica del mundo –por ejemplo, que el mundo es independiente de la conciencia, o que Dios existe o que no existe– y a los discursos puramente especulativos acerca del ser, afirma: *hay tanto “ser” como aparecer*. Su tarea consistirá en *describir los diversos modos en que los diferentes tipos de fenómenos se presentan a una conciencia que es donadora de sentido*. La fenomenología es un método descriptivo y no explicativo.

*sus métodos experimentales puede arrogarse el monopolio del conocimiento verdadero de la realidad*, relegando toda otra forma de conocimiento al rango de prejuicio es, de acuerdo con el filósofo alemán, ella misma un gravísimo prejuicio. Ante todo, *porque esta afirmación del cientificismo no puede ser verificada mediante los métodos experimentales de la ciencia* y entonces, lejos de expresar una verdad científica, resulta ser una afirmación infundada y contradictoria. Pero más allá de esta crítica de principios a la pretensión de la ciencia de gobernar el discurso sobre la verdad es posible mostrar, en particular, el grave prejuicio que pesa sobre el discurso científico y lo transforma en un saber ingenuo y también perjudicial *cuando su objeto es, en particular, la vida*. Cuando la vida es tomada por “objeto”; cuando la subjetividad experimentada que siempre reina en el vivir es confundida con la objetividad que nos muestran el pensamiento y la percepción; es decir, con la muerte. Cuando la vida se toma por un fenómeno “natural”, algo que acontece en tercera persona.

Para poder mostrarlo, debemos preguntarnos una vez más, como lo hemos hecho en las páginas precedentes, cómo procede la ciencia para producir sus verdades.

De acuerdo con Husserl, la ciencia moderna, nuestra ciencia, se origina en una decisión genial, cuyas consecuencias, sin embargo, están aún por pensarse de manera radical. Recordemos sus características más importantes.

El siglo xvii propuso una crítica profunda del mundo como mundo *sensible*, que tuvo como consecuencia el abandono de la concepción tradicional de los cuerpos materiales. Esta crítica se apoya en una decisión intelectual que, como hemos dicho anteriormente, desemboca en la fundación por Galileo de la ciencia moderna. ¿En qué consiste esta decisión? En la afirmación de que el conocimiento verdadero de nuestro universo no puede ser un conocimiento sensible, por ejemplo aquel que nos ofrecen nuestra vista, nuestro tacto, y esto, debido a que lo propio del universo es estar compuesto *por una materia extensa, y carente de toda propiedad sensible*. Una pura extensión –un espacio– que, por consiguiente, puede ser delimitada, medida y se adapta entonces adecuadamente a su transposición en figuras geométricas. Y la geometría, ciencia de las figuras puras, permite un conocimiento racional e independiente de toda experiencia, dado que las construye *idealmente a priori* y también *a priori* recaba en ellas sus propiedades.

Así es, pues, cómo el conocimiento del mundo, transformado en conocimiento de formas ideales puras y absolutamente racionales, se opone desde entonces al conocimiento de los cuerpos sensibles. Es posible “leer el Gran Libro del Universo” –escribe Galileo– a condición de aprender el lenguaje secreto en que está escrito: la geometría. En efecto, los signos de este lenguaje del universo son “triángulos, círculos y otras figuras geométricas sin las que sería humanamente imposible comprender una sola palabra”.<sup>57</sup> Con esta verdadera revolución, con este rediseño

57 Galileo, *Opere*, Ed Nazionale, vol. VII, p.129. Citado por M. Henry. *Incarnation*, p. 143. París: Seuil, 1990.

de la naturaleza, la moderna ciencia naciente sustituye los cuerpos que perciben nuestros sentidos –aquello que “ingenuamente” llamamos la realidad– por lo que se podría llamar unos cuerpos “científicos”.

¿Qué ventajas ofrece esta reducción del mundo sensible a formas puras? Sin duda la más importante de ellas es que el conocimiento a través de nuestros sentidos solo permite la conformación de enunciados *particulares*: *esta mesa es roja, este café es amargo*. Por el contrario, el conocimiento del mundo reducido a idealidades matemáticas da lugar a enunciados de validez universal y, como tales, científicos.

La posibilidad de reducir el mundo en que vivimos a un mundo caracterizado por una serie de parámetros ideales se funda en lo que Husserl llamaba un “análisis de la esencia” de las cosas. La “esencia” es aquel mínimo absolutamente indispensable para que algo sea lo que es. Para obtener estas “esencias” invariables de la naturaleza Galileo elimina de la realidad todas aquellas propiedades susceptibles de ser eliminadas *sin que el mundo desaparezca*. En efecto, es posible concebir en imaginación una cosa material que esté desprovista de propiedades sensibles determinadas como cierto color, cierto sabor, cierto olor, etcétera, pero es imposible concebir una cosa *sin representarse al mismo tiempo su magnitud, su forma, su localización espacial*. El momento de la fundación teórica de la ciencia moderna y de su reducción de la realidad sensible, es decir, “vívida”, a una realidad puramente objetiva e independiente de nuestros sentidos, el momento de la transformación de los cuerpos sensibles en cuerpos estrictamente *ideales*, en cuerpos “científicos”, cabe entero en este extracto tomado de *Il Saggiatore* (en castellano *El ensayador*), de Galileo:

Me veo necesariamente obligado, cada vez que concibo una materia o una sustancia corporal, a concebir al mismo tiempo que ella se encuentra delimitada y dotada de tal o tal figura, que ella es grande o pequeña respecto de otras, que ella está en tal o tal lugar, que se mueve o está inmóvil [...] y por ningún esfuerzo de la imaginación puedo separarla de estas condiciones; pero que sea blanca o roja, amarga o dulce, sonora o muda, de olor agradable o desagradable, no puedo forzar el espíritu a tener que aprehenderla como necesariamente acompañada de tales condiciones [...].

Como vemos, la fundación galileana de la ciencia moderna ha consistido en una operación de abstracción y, consecuentemente, de reducción. De la infinita riqueza de cualidades en que nos es dado el mundo real como mundo experimentado, como mundo vivido, solo se ha retenido un conjunto limitado de propiedades cuantificables.

Se dirá que toda ciencia que comienza lleva a cabo una reducción para definir su campo específico de acción y el tipo de objeto que su proyecto ha de investigar. Sin embargo, si prestamos atención, observamos que en el caso de Galileo la re-

ducción no desemboca en la constitución de alguna ciencia *en particular* sino en la *definición de la realidad en general como una realidad de esencia ideal, matemática y estrictamente objetiva*.

Correlativamente a esto, la reducción desemboca en una definición de la ciencia moderna que rechaza todos los saberes espontáneamente asentados en nuestra experiencia sensible y vivida del mundo. Poniendo fuera de consideración el conjunto de propiedades sensibles de los objetos, es decir, desestimando los objetos como objetos *originariamente* dados a nuestros sentidos, la reducción logra definir a la ciencia matemática, y *al modo de certeza que le es propio*, como única forma de conocimiento verdadero posible.

En la experiencia de la manzana que cae, a Galileo no le interesa la manzana ni el árbol del que cae ni siquiera el suelo: únicamente está atento a la altura que se puede medir en un espacio supuesto homogéneo y al punto ideal de masa que cae regido por una ley en un tiempo que también es supuesto homogéneo. Lo único que Galileo retiene de la realidad en su experiencia es tiempo, espacio, movimiento y causalidad.

Observemos, por otra parte, que el hecho de que haya un tiempo y un espacio no pertenece a los descubrimientos de la física sino que es un supuesto aceptado tanto por Galileo como por todos los hombres: lo que de modo implícito reconoce Galileo sin ofrecerle, sin embargo, ningún sitio en su teoría es que *la relación entre el hombre, el tiempo, el espacio y la causalidad ya está preestablecida*.

¿Cómo es esta relación vivida, experimentada, que precede a la ciencia y la hace posible? ¿En qué consiste la relación entre el hombre y el tiempo, entre el hombre y el espacio, y, en el hombre, entre el tiempo y el espacio?

Volvamos a aquello que la reducción que funda la ciencia moderna ha descartado. Si no se encuentra en el mundo, ¿dónde está entonces y en qué consiste la realidad de todos esos colores, sabores, aromas, texturas experimentadas, eliminadas por la reducción galileana en el preciso momento en que se definía, en un movimiento doble, la esencia de la realidad y el *modus operandi* de la ciencia moderna que busca conocerla? ¿Dónde están todas esas propiedades que, por ser “inesenciales”, han desaparecido del objeto definido ahora científicamente y que así se presenta como perfectamente autónomo e independiente de nuestra sensibilidad?

Galileo las considerará simples “apariencias”, “puros nombres” que solo residen en el cuerpo sintiente, es decir en el viviente: “Si se suprime el animal, escribe Galileo, todas estas propiedades son suprimidas o anuladas”.

*Podemos ahora evaluar la magnitud del movimiento de distanciación respecto de la vida que lleva a cabo la ciencia moderna en el instante de su nacimiento: el mundo en que vivimos es, para ella, un mundo puramente objetivo, esto es, totalmente independiente de aquellas propiedades que, como el color, el calor, etcétera, son simplemente proyectadas por el cuerpo viviente sobre el objeto real.*

Una proyección de cualidades, es decir de sensaciones e impresiones, totalmente azarosa, en la medida en que otras especies de animales, por ejemplo, se-

rían susceptibles de proyectar otras –en virtud de su propia organización “biológica”– y así, serían capaces de darse otros mundos posibles.

Dicho de modo conciso: los objetos “sensibles” que componen el mundo solo son “sensibles” en tanto sobre ellos se realiza la proyección de ciertas propiedades sentidas, *cuya única realidad reside en aquellos que sienten, es decir, en los vivientes.*

La reducción operada por la constitución de la ciencia moderna tiene un mérito fundamental cuando, involuntariamente, pone de manifiesto la ambigüedad que habitualmente reviste el uso del concepto de “objeto sensible”: en efecto, “sensible”, nos muestra Galileo, no es el objeto llamado “sensible”, sino únicamente *el poder que lo experimenta, “el animal”, el viviente.*

Si ahora se sometiese a la mirada de la ciencia al viviente mismo, portador de esta sensibilidad y susceptible de experimentar estas impresiones cuya única realidad consiste *en ser experimentadas*, que, como supo mostrar Galileo, no pertenecen al mundo objetivo (y que por ello han sido eliminadas en el momento de la constitución de la ciencia por no pertenecer a la realidad), si –como lo hace por ejemplo esa ciencia de la vida que es la biología– se intentase, no siquiera dar cuenta de ellas, sino al menos tenerlas frente al científico, ante el cristal del microscopio ¿qué habríamos de encontrar? Absolutamente nada. Esas impresiones de color, esas texturas, esos sabores, esas sensaciones de calor o de frío, en las que el mundo nos es dado originariamente como mundo colorido, fresco, etcétera, solo son reales *en tanto sentidas, en tanto vividas, en tanto vivencias y nunca se presentan ante nosotros bajo la forma de algo puesto delante, bajo la forma de un “objeto”*.<sup>58</sup>

¿Es esto decir que el mundo le debe a “la vida” sus propiedades, que no hay ningún color rojo en el mundo independientemente de una visión que lo vea, que no hay ningún sonido que resuene independientemente del poder de la audición? En suma, ¿es esto decir que los objetos de la ciencia, pero también los objetos de la simple percepción *no pueden ser disociados del conjunto de operaciones “vividas”, experimentadas, a través de las cuales nos son dados?* O más precisamente aún: ¿significa todo esto que la objetividad –toda objetividad y todo objeto– encuentran su posibilidad en un sujeto, en un sujeto viviente? Efectivamente; pero hay aún más, es preciso decir: “el mundo” le debe a la vida su posibilidad *de manifestarse, de aparecer*, y entonces, de ser conocido y eventualmente reducido a través de una serie de operaciones –como sucede precisamente y de modo sistemático desde el siglo xvii con la ciencia moderna– a un conjunto limitado de propiedades.

Se objetará: ¿acaso no es harto evidente *la objetividad* de esas leyes que con enorme esfuerzo y fructíferamente la ciencia despeja en su marcha, acaso no es indiscutible el valor *objetivo* de sus teorías que, estableciendo relaciones antes insospechadas entre los elementos de la naturaleza permiten un desarrollo en principio ilimitado de los conocimientos y poderes del hombre sobre el mundo? Sin duda; solo que esa *certeza* del físico a la hora de contrastar sus teorías, esa *evi-*

---

58 “Objeto”, del latín *objectum*, i. e., *ob-jectum*: “arrojado delante o contra”.

dencia absoluta que obtiene el matemático en sus operaciones es ella misma una tonalidad impresional de la vida, una vivencia particular que permite fundar y validar adecuadamente las operaciones complejas que realiza el científico. La evidencia científica no es más que un modo determinado y particular de la vida afectiva, un tipo de tonalidad en torno a cuya peculiar neutralidad se hacen posibles las validaciones de la ciencia.

Nos encontramos pues ante una paradoja: la reducción operada por la ciencia moderna en su nacimiento *no solo presupone la vida*, pues es en ella donde mide las evidencias y certezas que permiten validar sus resultados, sino que *también la presupone constantemente en el conjunto de operaciones que el científico realiza en sus investigaciones: mirar, dar vuelta las páginas de un libro, mover sus manos, sumar, etcétera.*

Por otra parte, y refiriéndose nuevamente al mundo vivido, esto es, al mundo revestido de todas sus propiedades sensibles y no al mundo “reducido” por la ciencia, el científico intentará evaluar el éxito o el fracaso de sus resultados. En efecto, es la luz, *tal como se manifiesta y solo puede hacerlo a una mirada*, aquello que buscó explicar la física, primero con una teoría de partículas, más tarde con una teoría de campos electromagnéticos. Contra cierto científicismo que, fascinado por el objeto, ignora el fundamento subjetivo, viviente, de toda objetividad, es justo entonces afirmar: la realidad de la luz no es la onda electromagnética sino, por el contrario, la realidad de la onda electromagnética es la luz; esa luz que nuestros ojos experimentan y a la cual estos permiten manifestarse como luz. La ciencia presupone constantemente a la vida aunque no lo sepa, aunque, perdida en la contemplación de las objetividades que ella se representa o que produce con sus experimentos ignore que todas estas objetividades se explican y se mantienen en la existencia por la “vida”.

Pero ¿qué es la vida si no es un proceso complejo y *objetivo* de asociaciones de elementos también objetivos y progresivamente determinables por la ciencia y sus procedimientos? Hemos respondido, hasta aquí, por vía negativa: *la “vida” no es nada objetivo*, nada que pueda ser dispuesto ante nosotros, expuesto a la mirada de todos y susceptible de ser medido o de entrar en algún cálculo; nada que pueda ser “objeto” de la ciencia moderna, sino aquello que constantemente esta presupone en sus procedimientos complejos. “Vida”, de acuerdo con Michel Hery, *es el nombre de una impresionalidad, de una sensibilidad que nunca siente algo más que a ella misma, que nunca transcurre en tercera persona y lo hace, en cambio, como un sentir inmediato de sí.*

Consideremos nuestro cuerpo. En tanto cuerpo perteneciente al mundo, en tanto cuerpo *objetivo* y representable, no hay nada que revele que este cuerpo que puedo *ver* sea un cuerpo *viviente*, y aún menos que sea precisamente *el mío*. Y sin embargo, ¿no se mueve acaso? ¿No son visibles sobre el rostro expresiones de alegría o de miedo? ¿No mueve sus brazos para alimentarse? ¿Pero cómo sabríamos que ese cuerpo que se mueve *ante* nosotros –digamos, ese fenómeno kantiano dado en el espacio y en el tiempo–, ese rostro que se sonroja son un cuerpo vivien-

te y expresivo si no hiciésemos nosotros mismos e inmediatamente, independientemente de toda representación, independientemente de todo cuerpo objetivo y de toda visión, la experiencia de vivir, si no supiésemos de manera inmediata y, por decirlo de algún modo, “desde adentro” de ella misma y como vivientes, qué es vivir?

Por vago que sea su concepto, sabemos al menos que aquello que llamamos “vida” y que presupone no solo las operaciones del científico sino todas las determinaciones de nuestra existencia, tiene *un modo tal de manifestarse* que, lejos de mostrarse ante una mirada como un elaboradísimo y extraordinario objeto, se mantiene en una invisibilidad absoluta que no es, sin embargo, sinónimo de algún “inconsciente”, sino, por el contrario, de aquello que nos es lo más inmediato y conocido.

Por tratarse de la vida tal como se manifiesta inmediatamente a ella misma en nuestra experiencia de vivientes, por tratarse de la vida como fenómeno originario y *no de una vida representada*, “objetiva” (como aquella que el biólogo asegura reconocer del otro lado del microscopio al observar partículas que se mueven o se agitan y denomina entonces “vivientes” por analogía con su propia vida), la hemos de llamar “vida fenomenológica”. De esta vida fenomenológica que no es sino nuestra pura y simple experiencia de *sentirnos* caminando, pensando, moviendo nuestro cuerpo, desplegando nuestros poderes subjetivos, *resulta por abstracción* esta otra vida que es objeto de la ciencia, la vida en un sentido “biológico”.

En el mismo momento en que, bajo el impulso de Galileo, se establecen los principios fundamentales de la ciencia moderna a través de una decisiva eliminación de las cualidades impresionales que constituyen el mundo que experimentamos, y se comprende a las matemáticas y la geometría como el lenguaje secreto “en que está escrito el libro del mundo”, René Descartes, a través de un esfuerzo especulativo sin precedentes *que va en sentido exactamente contrario al de Galileo*, *funda la posibilidad de todo conocimiento objetivo en la experiencia inmediata de un yo vivido*.

En efecto, el célebre *cogito* cartesiano apunta a mostrar que el único dominio de *certeza absoluta*, en cuanto a la realidad, es la experiencia inmediata del yo y sus poderes. “Pienso”, “soy”, es más cierto y seguro que la existencia del mundo (e incluso que las idealidades matemáticas), por ser la verdad más originaria y fundamental, aquella de la cual dependen todas las otras.<sup>59</sup> En sus *Meditaciones metafísicas*, un texto que será tan decisivo para la modernidad como aquel otro en que Galileo asentaba los principios de la ciencia moderna, Descartes, a la búsqueda de una verdad que fuera absolutamente cierta e indubitable, termina encontrándola en el “yo pienso”.<sup>60</sup>

---

59 Incluso la certeza de la existencia de Dios deriva, en el Descartes creyente, de otra certeza que la precede y la hace posible: la certeza del *pienso*, la certeza del *soy*.

60 “Yo pienso” (*cogito*), que significa –en la Segunda de las *Meditaciones metafísicas*, momento crucial del descubrimiento cartesiano de un fundamento incondicionado– simplemente: “yo siento”. Soy una cosa que consiste en sentir.

Descartes no rechaza la idea de una ciencia “objetiva”, absolutamente rigurosa y con pretensiones omni-englobantes, como aquella que promete comenzar el modelo galileano; no refuta a esta ciencia naciente sino que, por el contrario, *le ofrece la metafísica requerida para concebir una naturaleza matematizable*. Sin embargo, la radicalidad del filósofo francés consiste en que *también pretende fundar a esta ciencia “rigurosa” en una verdad inicial e incondicionada; en una verdad absoluta*.<sup>61</sup> Pues tanto las verdades de la percepción como las de las matemáticas se apoyan en supuestos dudosos –como muestra en su Primera Meditación– *que dejan a las proposiciones de la ciencia galileana acerca de la realidad en la incertidumbre*.

Descartes está fascinado con la claridad de las verdades matemáticas y con su procedimiento axiomático deductivo. Por este motivo, la única verdad incondicionada que Descartes ha encontrado, el “yo pienso”, que Descartes entiende explícitamente como un “yo siento”, debiera funcionar como un axioma, como una verdad autoevidente que sirva de punto inicial y de sostén a una ciencia por vez primera constituida sobre una base indubitable. Lo que aquí nos interesa es que en su esfuerzo por dotar al pensamiento científico de una base segura e indiscutible, Descartes la encuentra precisamente en la experiencia *subjetiva y vivida del cogito*; y la encuentra *luego de haber rechazado todas las determinaciones objetivas –ya fueren matemáticas o simplemente materiales–, por ser incapaces de ofrecer alguna certeza absoluta*.<sup>62</sup>

Así es como, con Descartes, la subjetividad deviene el principio de todo conocimiento posible, el ser real por excelencia.

Con el filósofo francés, la antigua fascinación del hombre griego por el misterio del mundo y los entes que lo componen ha cedido su lugar a una fascinación por la secreta luz que mantiene a las cosas en la existencia, ofreciéndoles la posibilidad de aparecer, de “ser” y así de poseer un sentido: la conciencia humana. El secreto de las cosas se halla en la luz que las ilumina y les permite aparecer, “ser”: la conciencia es *el aparecer* del mundo, la luz que mantiene en la existencia a todo aquello que pueda aparecer. Es en *su certeza* que pueden brillar un instante los entes del mundo antes de volver a caer en la noche impensable de la que han sido sacados por ella. En efecto, la piedra, la mesa, tienen el fundamento de su “ser” fuera de ellos mismos. Son incapaces de “ser” por ellos mismos y le deben todo a una conciencia exterior que, ofreciéndoles el aparecer, las promueve a la existencia.

61 “Absoluta”, es decir, sin lazos, incondicionada.

62 ¿Cómo saber, se interroga en sus *Meditaciones metafísicas* Descartes, si la vida entera no es un sueño? ¿Cómo saber entonces si todos los objetos que veo con mis ojos, toco, oigo, etcétera, no son precisamente ensoñaciones, ilusiones?, ¿cómo saber si en lugar del Dios bondadoso, no existe un genio todopoderoso pero infinitamente maligno que me hace creer cada vez que pienso, por ejemplo, que dos más tres es cinco? No hay verdad segura *ni en las “realidades” objetivas que me ofrecen los sentidos ni en las objetividades ideales de las matemáticas o de la lógica*.

La conciencia, por el contrario, es aquello que no debe pedir prestada fuera de sí alguna luz para mostrarse, para “ser”: la conciencia es aquello donde lo que aparece no es un “algo” en particular, cierta “cosa”, sino el *puro hecho de aparecer*. *No es ella, pues, una “cosa”, un “objeto” que “sea” a igual título y del mismo modo que las cosas.*

Seguramente, Descartes, luego de reconocer este suelo seguro,<sup>63</sup> esta única esfera de certeza absoluta que es la conciencia, se haya equivocado al designarla como “cosa” que piensa<sup>64</sup> (*res cogitans*): el modo de ser de las cosas, su contingencia, su impotencia para llegar a la presencia por ellas mismas, es decir, para ser, es tal que deben pedir prestado este aparecer a una conciencia.

El contrasentido en que consiste comprender el ser de la conciencia, es decir, la condición de toda cosa, como una “cosa”, y la dificultad de asignarle algún contenido positivo, fue sin duda lo que motivó que, luego de Descartes, la conciencia fuera entendida como “acto” y como “acción”: así, por ejemplo, el idealismo alemán del siglo XIX, entreviendo el contrasentido en que consiste comprender aquello que es la condición de toda cosa –la conciencia– como aquello que ella misma condiciona, es decir, como una cosa, *interpretó al sujeto y a la conciencia como acción*. La conciencia, en todo caso, ocuparía en adelante un papel fundamental en la reflexión filosófica.<sup>65</sup>

Ahora bien, la conciencia es una conciencia *viviente*, y la *certeza* que Descartes descubre en ella, en su espesor vivido, es precisamente la certeza con que esta vida se manifiesta *a ella misma* en una total transparencia, sin ocultarse nada, sin reservarse ni guardarse algo. Y lo que nos interesa aquí es precisamente este hecho de “vivir”.

Lo que muestra Michel Henry es que el descubrimiento cartesiano de la conciencia nos pone en camino hacia el misterio de la vida, como vida real, es decir, como vida experimentada, como vida “fenomenológica” y no como su “doble” muer-to, una supuesta vida objetiva aprehendida exteriormente en la representación.

Toda conciencia es una conciencia *viviente*, y hasta podría decirse que su proximidad respecto de la vida es tal que *la conciencia nunca conoce a la vida pensándola*, es decir, representándola, tomándola como un objeto exterior a ella al que habría de ir descubriendo a través de exploraciones sucesivas, sino viviéndola. Pero si bien sabemos ya que la vida vivida, la vida en tanto experimentada es la única vida real, y no aquella supuesta “vida” objetiva que define la biología –de la que hemos intentado mostrar el carácter derivado respecto de la primera– no sabemos aún en qué reside precisamente este carácter “viviente” de la conciencia.

---

63 René Descartes. *Meditaciones metafísicas*, segunda Meditación.

64 “Soy, esto es seguro; pero ¿qué soy? Una “cosa que piensa”, es decir, que siente, quiere, etcétera, se responde Descartes.

65 Así sucedió con la filosofía poscartesiana, en particular con el llamado idealismo alemán y luego con la fenomenología husserliana.

Para poder seguir avanzando, debemos superar cierta importante dificultad: ¿no es la vida un “ser” particular, digamos un modo de organización de la materia, probablemente el más complejo de todos? En tanto la vida es un particular y determinado *modo de ser*, en tanto *la cuestión del ser pareciera ser más originaria que la de la vida y subordinarla*, ¿no debiera un pensamiento radical que pretendiese determinar la significación de la vida comprender previamente qué es lo que “ser” quiere decir?: ¿la comprensión del “ser” –objeto de la ontología– no debiera preceder en derecho a cualquier otro conocimiento, por ejemplo al de las ciencias, si es que pretendemos comprender la más simple y elemental de sus proposiciones, por ejemplo, que dos más tres es cinco? Pues, en efecto, todo “es”: dioses, hombres, cosas e ideas “son”, aunque, es cierto, en sentidos muy distintos.

La elucidación del sentido del ser constituyó la tarea fundamental y más urgente que uno de los grandes filósofos del siglo xx –Martin Heidegger– asignó a la filosofía. Pues, pese a los éxitos extraordinarios que la ciencia ha obtenido y obtiene al establecer relaciones causales entre las cosas, se muestra cada día más desorientada *en cuanto a la significación general de sus propios progresos y, aún más grave, como lo había mostrado ya Schopenhauer, del sentido mismo de la existencia*. Y sin embargo, contra Heidegger es posible sostener como hace Michel Henry que, si bien todo cuanto aparece viene al ser, si todo “es” y es en un “mundo” (árboles, planetas, ideas, dioses “son”), el viviente, a diferencia de las cosas que pueblan el mundo, solo viene al ser *en la vida* y dentro de ella: *para el hombre, “ser” no significa ante todo llegar al mundo y mostrarse en él como un “fenómeno” en el sentido de Kant sino, llegar a sí, vivir. O, si se quiere, nacer*. La cuestión de la vida es pues más fundamental, más originaria que la cuestión del ser.

En su tentativa de comprender la realidad, la fenomenología busca evitar que sus análisis partan de cualquier aseveración acerca de su supuesta naturaleza metafísica –por ejemplo, evita suponer que el mundo existe independientemente de la conciencia o que existe alguna realidad “en sí” por detrás de lo que aparece–. Pues semejantes afirmaciones –frecuentes en la filosofía que la precedió– parecen totalmente injustificadas: nada hay en lo que aparece que dé prueba de ellas. Se trata, en cambio, de describir lo que aparece tal como aparece. Ni más ni menos. ¿Cómo aparece pues la vida? O lo que es igual: ¿cómo llega el viviente a la vida, a una vida que siempre lo precede? Lo hace de tal modo que en ella encuentra todos sus poderes, se apropia de ellos y los pone en obra. Sus poderes: su cuerpo, no en tanto un *objeto* del mundo que habría de poseer la curiosa propiedad de ser *el mío* y responder inmediatamente con sus movimientos a mi voluntad bajo la forma de un mando a distancia, sino en tanto *conjunto de poderes inmediatamente vividos*, el cuerpo comprendido en su sentido “fenomenológico” radical, como todo aquello que responde inmediatamente a un “yo puedo”.

Tenemos así una serie de nuevos problemas: ¿cómo llega la vida “fenomenológica”, es decir, real (no la imposible vida “objetiva”), a ella misma de tal modo que, en ella y por ella, puede el viviente (y nunca desde fuera de ella) acceder a la vez a la vida y a sí mismo como un “yo”, apropiarse de sus poderes, hacerlos suyos

y, entonces, “poder”? Es preciso, para responder a todas estas preguntas, tomar en cuenta los resultados anteriores y, reteniendo sus conclusiones, operar una diferenciación radical *en el plano del aparecer mismo*. Todo cuerpo objetivo, el cuerpo que veo y toco –incluso aquel que llamo “mío”– aparece de tal modo que aquello que le permite aparecer en el mundo (de forma que podamos decir “es”, “existe”) le es siempre exterior. A propósito de ese cuerpo al que accedemos superando la distancia que nos separa de él, de ese cuerpo siempre dado en el mundo *frente al poder del conocimiento*, frente a la “conciencia”, habíamos visto (siguiendo a Husserl) *que únicamente una mera suposición nos permite afirmar que es un cuerpo “viviente”*. Si, por el contrario, llamamos ahora “cuerpo propio” a la experiencia en que este cuerpo objetivo –que veo y toco, de algún modo “ante mí”– me aparece como “mío” y como un cuerpo no hipotética sino *realmente viviente*, se hace preciso decir: *el mismo cuerpo me es dado dos veces a la vez, y a través de dos modos totalmente distintos de aparecer, es decir, de conocimiento*. Y que aquello que llamamos la “piel” resulta ser algo como la frontera que separa a estos dos modos y a la vez los reúne. De un lado, del lado de la luz, la objetividad de un fenómeno y sus movimientos en el espacio susceptibles de ser “explicados” por la causalidad. Del otro, la inmediatez sin distancia en que mis poderes se apropian de ellos mismos, como poderes vivientes se experimentan y solo así “pueden”.

Más aún, es en esta llegada a ellos mismos donde la “vida” –en el sentido fenomenológico, que, como vimos, es su sentido más originario, es decir, no derivado–, haciendo que los poderes “puedan”, entregándolos a ellos mismos, me entrega a mí como el “sí mismo” que soy.

¿Es preciso haber llevado la descripción tan lejos para decir lo que es trivial, a saber, que nuestro cuerpo es dado exteriormente e interiormente a la vez? ¿O que la “vida” siempre teje su realidad en la interioridad y nunca en el mundo, nunca en la objetividad? ¿O, dicho más simplemente todavía, para decir que la vida no es un objeto ni tampoco alguna relación simple o compleja entre objetos? Sucede que lo trivial no solo es lo más difícil de pensar sino también aquello a propósito de lo cual habitualmente se expresan los mayores sinsentidos. En efecto, por “interioridad”, lo que se suele comprender es *la pertenencia de una cosa al ámbito de otra*, la inclusión de algún elemento en otro, respecto del cual se dirá que es “interior”. Y bien, hemos mostrado, repitiendo los análisis de algunos de los filósofos más importantes, que *semejante relación no tiene precisamente nada que ver con alguna “interioridad” verdadera sino que, en rigor, designa una separación, designa, precisamente, la exterioridad recíproca entre objetos*. Una verdadera interioridad, como aquella en que la vida se aparece y nos aparece, no puede pensarse en estos términos.<sup>66</sup> Pensar la vida significa entonces buscarla fuera de la objetividad y del plano de luz donde se manifiestan los cuerpos objetivos –aquello que llama-

---

**66** Y esto no es nada banal. Todo cuerpo objetivo consiste en una pura exterioridad, y esta exterioridad jamás se invierte en una interioridad: si se corta un objeto, y esto se puede hacer por principio de manera ilimitada, no hemos de encontrar más que otras nuevas su-

mos el “mundo”–, abandonar el medio en que la ciencia, que por esencia ignora la vida y a la vez la presupone constantemente, encuentra sus objetos y explora sus relaciones y propiedades; pensar la vida significa también pensar una *forma de aparecer*, una forma de “ser” que no requiere de ninguna separación ni distancia. Significa además pensar una forma tal de aparecer que, en ella, el “sí mismo” de la vida –en el caso del hombre el “yo”– no queda nunca *frente* a ella, separado de ella, como un misterioso *objeto*, sino siempre atado interiormente a ella por un lazo de necesidad esencial. Pues, si el yo no fuese de entrada un yo viviente, un yo atado *interiormente* a la vida y engendrado por ella, si el yo fuese algo “objetivo”, ¿qué me permitiría reconocer que ese maravilloso objeto que tendría entonces ante mí es un “yo” y, para más, justamente el mío?

Probablemente el mérito mayor de aquel genio de las ciencias y de la filosofía que fue Descartes haya pasado hasta hoy desapercibido. Porque buscando un suelo seguro para el conocimiento científico, una verdad incondicionada y absoluta, no solo *estableció una distinción rigurosa entre estos dos modos de aparecer totalmente heterogéneos e irreductibles el uno al otro, en que nos son dados, por un lado, los objetos del mundo y, por el otro, la vida* –que él llamaba “conciencia”–, sino que mostró con una claridad notable las confusiones a las que lleva su desconocimiento.

En efecto, que la vida no se expone jamás en la objetividad significa que ninguna determinación puramente objetiva es capaz de cumplir alguna acción subjetiva, por ejemplo que ninguna computadora puede pensar, o que ninguna cámara puede ver o experimentar placer o dolor. Y sin embargo, ¿acaso no es la mano objetiva la que duele? ¿Acaso no es el ojo material, el ojo objetivo quien ve? Precisamente esta objeción le fue hecha a Descartes por Gassendi, otro célebre filósofo de su época.

La respuesta de Descartes fue sorprendente: no es el ojo quien ve, sino yo. El ojo, esa configuración puramente objetiva, es incapaz de cumplir algún conocimiento.<sup>67</sup> “Ver” no es solo ser impresionado mecánicamente por una realidad exterior, por un “estímulo, como sucede con la cámara de fotos, sino, ante todo, *sentirse* viendo. Precisamente aquello que ninguna “realidad” puramente objetiva está en condiciones de hacer. Y lo mismo podríamos responder en cuanto al dolor de la mano: no es, en rigor, la mano –ese objeto que tengo ante mi mirada– lo que duele sino, justamente, el dolor.<sup>68</sup>

---

perfiles expuestas, nuevas objetividades, nuevas formas de exterioridad. Nunca algo como “la vida”.

**67** Respuesta de Descartes a Gassendi: “Respuesta a las Vtas. Objeciones”, en *Meditaciones metafísicas*.

**68** Cómo el dolor puede ser situado y localizado en el espacio (por ejemplo, cuando se dice que duele un dedo), cómo puede ser referido a la objetividad de un cuerpo, cómo aquello que es inmediatamente experimentado y que incluso consiste en esta pura experiencia de sí *puede a la vez* ser representado y referido a un cuerpo objetivo, es un problema que no podemos abordar en esta breve aproximación.

¿Cómo se accede al dolor de tal modo que lo conocemos inmediatamente, cómo se accede a la visión? Desde dentro de ellos –en el sentido riguroso de interioridad “ontológica” y no “óptica” del que hablábamos antes–, y por ellos. Lo vemos, en todo conocimiento, en toda visión, en todo pensar, en todo oír, hay *dos conocimientos a los que corresponden dos modos distintos de aparecer*: el ver alcanza lo visto en una distancia, en una diferencia que los separa. Este es el primer modo de conocimiento. Por un lado, la impresión –dirá la ciencia–; por el otro, lo impresionado. Y sin embargo, no habría impresión ni impresionado, estímulo y ser-afectado, *si a la vez el acto de ver, el acto de tocar, etcétera, no se afectara inmediatamente a sí mismo en un aparecer sin distancia, que no le debe nada al tiempo, al espacio y a la causalidad que opera en ellos*. Y este es el segundo modo de conocimiento. ¿Significa esto que la vida llega a sí, hace su experiencia, “vive” fuera del tiempo? Pero ¿cómo podría engendrarse un sí mismo viviente en el tiempo, que todo lo pone fuera de sí, que impide toda coincidencia, todo “ser”?

Este segundo modo de aparecer, este segundo conocimiento inscripto en toda relación del viviente con el mundo objetivo es aquel en el que la “vida” llega a sí como un sentirse, se “conoce”, experimenta sus poderes y entonces “puede”. Y esto sucede no solo fuera del mundo galileano de la ciencia natural, sino también, fuera del mundo anterior a su reducción, y como siendo la condición de todo mundo, al menos para el hombre.

¿Qué nombre darle, pues, a la esencia de la vida, a su modo específico de aparecer? El filósofo francés Michel Henry la llama “afectividad”. La afectividad fue constantemente confundida por la filosofía de la tradición y por las ciencias con una capacidad de ser afectados por la exterioridad del mundo. Fue confundida pues con la sensibilidad, con el poder que nos abre al mundo exterior y nos entrega sus objetos. La afectividad, sin embargo, no designa el poder de ser afectados por los objetos, *sino por sí mismo* en una afección inmediata y sin distancia. “Afectividad” no designa entonces alguna propiedad contingente *que el viviente podría tener o no, sino el modo mismo en que aquello que llamamos vida llega a sí como lo que ella es, una pura prueba impresional, un experienciarse que, por otra parte, constituye el aparecer sin el cual ningún aparecer “objetivo” sería posible*. La afectividad es pues aquel sentirse inmediato sin el cual no podríamos “sentir” nada<sup>69</sup> exterior. Por estar siempre *supuesta como condición de todos nuestros sentidos, es posible afirmar: la vida, la afectividad, es aquello que no puede ser nunca sentido a través de nuestros sentidos*.

Hemos llegado, pues, al siguiente resultado. La vida, en su realidad concreta y efectiva, la vida como puro hecho de experimentarse, la vida fenomenológica siempre supuesta en todas las operaciones del hombre, en el despliegue de sus poderes, y por lo tanto también en sus producciones culturales y científicas, no

---

69 Para distinguir la visión humana –que es visión de un yo– de una supuesta visión cumplida por algún cuerpo objetivo, por ejemplo, los ojos, Descartes escribe “nos sentimos ver”. Es este sentirse el que falta en la cámara fotográfica, impidiéndole entonces ver.

espera ningún progreso del pensamiento para poder cumplirse y, por el contrario, siempre lo precede haciéndolo posible. Una verdadera “ciencia de la vida”, aquella que fuera capaz de restituir en el plano del pensamiento sus infinitas propiedades y posibilidades, deberá estar en condiciones de pensar una interioridad verdadera, una interioridad tal que, por así decirlo, el contenido no rebase el continente, donde lo “interior” sea idéntico a aquello que lo contiene, donde el poder que hace aparecer no sea exterior a lo que aparece.

Si la filosofía, como fenomenología, está a la altura de esta tarea, podrá decirse que ella es la verdadera ciencia de la vida, la verdadera biología.

## **La revolución metafísica y la ciencia. Algunas consideraciones de orden histórico**

### **De la metafísica de la forma a la metafísica de la fuerza**

No puede permanecer sin pensarse el extraordinario despegue de las ciencias que, a partir del siglo xv y hasta nuestros días ha arrancado secretos, primero al cielo, luego a la materia, antes de comenzar a alumbrar los misterios de lo viviente entre los siglos xix y xx, para inmediatamente expresarse en descubrimientos e invenciones notables que transformaron para siempre la relación del hombre con su mundo. ¿Cómo se explica, luego de siglos de quietud, este brusco estallido cuyo impulso inicial pareciera ya no concebir límites y que se expande en una marcha cada vez más acelerada? A esta transformación en el ritmo de los descubrimientos correspondió la transformación de la antigua ciencia en la ciencia moderna por geniales pensadores como lo fueron Nicolás de Cusa, Copérnico, Galileo, Descartes y Newton.

La fecundidad de la ciencia comenzada por ellos no se explica, pese a la apariencia, por ciertos descubrimientos particulares sino *por la significación novedosa y propiamente revolucionaria que estos descubrimientos recibieron*. Podríamos expresarlo mejor diciendo que la revolución provocada por la nueva ciencia de la naturaleza se explica *por una modificación radical de la concepción del mundo y de sus primeros principios; esto es, por una revolución metafísica*.

Las grandes decisiones tomadas por estos pensadores en el campo de la interpretación y del ordenamiento de los resultados de sus investigaciones y experimentaciones, solo pudieron ser posibles a condición de operar una ruptura con los presupuestos de la ciencia de la Antigüedad.

A la metafísica de la “forma” (materia y forma componen la sustancia), concebida por Aristóteles, la sustituyó primero una metafísica de la *extensión y el movimiento*, y más tarde una de la *fuerza*: no hay en el universo sino extensión y movimiento, afirmó primero Descartes; no hay más que infinitas “mónadas” de fuerza, sostuvo más tarde Leibniz.

En un muy interesante trabajo de Frederic Morin que, pese a haber sido publicado en 1857<sup>70</sup> no ha perdido en nada su originalidad y su profundidad, el autor se concentra en explorar los supuestos metafísicos propios a la ciencia de la Antigüedad y del Medioevo para compararlos con los de la nueva metafísica que possibilitó a la ciencia moderna nacida en el siglo XVI. En las páginas que siguen nos limitaremos a restituir sintéticamente y a comentar algunos de los esclarecedores análisis de su libro.

El filósofo muestra cómo las grandes teorías científicas de la Antigüedad y del Medioevo no surgieron de azarasas especulaciones sino que son la inmediata consecuencia de los supuestos de la *metafísica de la forma* propuesta por Aristóteles. Una metafísica cuyos principios se tardó dos siglos (XVI-XVII) en derribar y en cuya demolición intervino, bajo la forma de discusiones acaloradas sobre la teoría de la materia y la forma, prácticamente todo el mundo científico de finales del siglo XVII.

En efecto, el gran combate de fondo entre la ciencia antigua y la moderna tuvo lugar bajo el modo de una discusión en torno a la metafísica de la Antigüedad, y es por ello que los grandes innovadores que fueron Cusa, Copérnico, Kepler, Galileo, Leibniz y Descartes estaban tan concentrados en consideraciones puramente especulativas acerca de la noción de “sustancia” como en el cielo del que día a día arrancaban sus secretos.

Contra la idea aún hoy comúnmente admitida de que la ciencia medieval debía su prolongado estancamiento a su inmersión en el misticismo y en la metafísica, así como al consecuente desprecio por toda observación de los hechos concretos (situación que el Renacimiento supuestamente habría revertido dando con ello lugar a la extraordinaria sucesión de descubrimientos e inventos), Morin opone la tesis de una ciencia antigua y medieval *aún más atenta a la observación que la nuestra*.

De acuerdo con la interpretación más habitual, la ciencia moderna habría nacido a partir del instante en que se dejó de lado la especulación en torno a puras abstracciones para prestar atención a los hechos. La ciencia moderna debería su poder explicativo a su toma de distancia respecto de la filosofía y de sus métodos especulativos. Este paradigma tan difundido es, a grandes rasgos, aquel que el fundador del positivismo, Auguste Comte, propuso para establecer su célebre concepción del “progreso”, conforme a la cual la humanidad tuvo que atravesar primero una fase religioso-metafísica para conquistar luego una etapa científica o “positiva”.<sup>71</sup>

---

**70** F. Morin. *De la Genèse et des Principes Métaphysiques de La Science Moderne: ou la Philosophie des Sciences cherchée dans leur Histoire*. París: Kessinger Legacy Reprints, 1856.

**71** Dicho sea de paso, este optimismo positivista del progreso nos parece encontrar una objeción insalvable. Al abordar las cuestiones de la causalidad, de la temporalidad y de la fuerza, en la sección precedente, hemos intentado mostrar que la ciencia contemporánea está *tan en ascuas como la antigua* cuando es cuestión de responder *al enigma de la natu-*

En rigor, según Morin, la Edad Media ha estado por lo general mucho menos apegada al misticismo y a la pura especulación de lo que se afirma. El pensamiento filosófico dominante, de cuño aristotélico y alimentado por dos grandes corrientes del cristianismo –el tomismo y el escotismo– hacía recaer el *papel protagónico del conocimiento en los sentidos*.<sup>72</sup> Esta filosofía suponía que se podía encontrar en el dato sensible –llamado la *especie impresa*–: a) una imagen de todo aquello que en la cosa percibida fuese puramente individual, accidental, específico de ese elemento singular y material; b) la imagen de su “forma” o esencia, es decir, de aquello que todo individuo perteneciente a la misma especie debía poseer como condición última y general, para poder individualizarse. A esta esencia o carácter universal incluido en lo singular se la denominaba “la forma sustancial”.

Aristóteles había afirmado que el acto del conocimiento se reducía a la actividad por la cual el intelecto, dirigiéndose al dato particular, separaba en su sustancia la materia de la forma para hacerse de esta última. En tanto la forma sustancial solo se encuentra en el dato particular, *la observación poseía entonces, contrariamente a lo que se afirma, una importancia decisiva para los procedimientos científicos medievales*. Lejos de ser desestimada, ella era el punto inicial de toda ciencia.<sup>73</sup> la observación y minuciosa descripción del dato empírico era el requisito ineludible para que el intelecto pudiese obrar con claridad.

La importancia de lo empírico y de la materia también se expresaba en la centralidad que ocupaba *el cuerpo* para el conocimiento. En efecto, Aristóteles había enseñado que el cuerpo constituía una condición decisiva para el saber, en tanto era este quien *individualizaba al alma* y le permitía diferenciar sus diversos actos. *Separada del cuerpo, el alma perdía su capacidad de concebir con claridad la “forma”, es decir, perdía la capacidad de conocer* (a menos que fuese providencialmente auxiliada por la luz divina).

Morin señala que el mismo Bacon, a quien frecuentemente se atribuye la “invención” de la ciencia moderna *basada en el recurso a la experiencia*, nunca protestó contra algún supuesto desinterés de sus contemporáneos por lo empírico sino que, por el contrario, consciente del uso y abuso general del recurso a la experiencia, simplemente *se quejaba de la pretensión generalizada (inicialmente aristotélica) de alcanzar lo general –la “forma sustancial”– a partir del examen de un simple dato particular*. Lo cual es algo muy distinto.

Contra *este tipo de inducción*, que él llamaba “vulgar”, y no contra un supuesto desprecio medieval por los sentidos y la experiencia, Bacon propone una induc-

---

*raleza más íntima de los fenómenos de que trata y sobre los cuales determina regularidades bajo la forma de “leyes”.*

**72** “*Nihil est in intellectu quod prior non fuerit in sensu*”. A Aristóteles se atribuye esta idea de que no hay nada en el intelecto que previamente no haya estado en los sentidos.

**73** Morin recuerda el punto de vista compartido por Alberto el Grande, Santo Tomás, Egidio Colonna y Francisco Suárez: “*sensus sunt primi cognitionis nostrae duces*” (los sentidos son los primeros guías del conocimiento).

ción “letrada”, que consiste en recurrir a una gran serie de datos antes de operar la inferencia inductiva. Como vemos, la teoría de las formas sustanciales, que dominó al pensamiento durante casi veinte siglos, es en el fondo una teoría sobre la inducción que pretende llevar del dato empírico particular al modelo de universalidad supuestamente incluido en él (la “forma”).

La inducción “vulgar” parte del supuesto de que en la “especie impresa” de un objeto particular se encuentra la esencia o “forma” del objeto del que ella es una imagen representada. Por esta razón es que *la ciencia aristotélica del Medioevo cree disponer de todo lo que se necesita para pasar de lo particular a lo universal gracias a la observación de un único ejemplar*. Por el contrario, la inducción “letrada” alcanza lo universal partiendo *de una extensiva descripción y comparación de numerosos ejemplares:*<sup>74</sup> *para ella lo particular no es portador de ninguna forma o esencia, y el punto de partida no es el dato particular sino, ya, la relación entre datos presumiblemente pertenecientes a un mismo fenómeno*.

Como vemos, el procedimiento inductivo es común tanto a la ciencia antigua como a la ciencia moderna, la inducción de cuño aristotélico, aún vigente en la Edad Media, *supone la inmanencia de lo universal en el seno del dato particular y por ello pretende pasar inmediatamente de lo sensible a lo intelectual, de la materia a la “forma”, y toma a esta forma por el ser verdadero*.

La inducción de la ciencia renacentista, por el contrario, no parte del elemento singular aislado *ni pretende alcanzar su realidad última sino que intenta dilucidar la regularidad que ordena a las diferentes manifestaciones visibles: ella es simplemente legisladora, pero sobre la naturaleza íntima de las cosas prefiere no expedirse*.

Tan interesante como esta inversión de la interpretación más frecuente acerca de la ciencia medieval es la aproximación que el autor propone a la ciencia del Renacimiento. En contraposición a la supuesta morosidad de la Edad Media, anclada por motivos metafísicos y religiosos en un inútil culto de la espiritualidad, suele presentarse al Renacimiento como una reacción vigorosa contra el universo puramente especulativo medieval y también como una apología de los sentidos y de la experiencia. Sin embargo, los grandes creadores y descubridores del xv, xvi

---

**74** Es preciso, sin embargo, subrayar la dificultad que esta definición de apariencia sencilla suscita en un análisis riguroso: en efecto, toda comparación de observaciones particulares, todo ordenamiento de propiedades recabadas en múltiples pruebas con el fin de establecer un elemento común y esencial, *ya presupone la previa aprehensión de aquello mismo que se busca, la esencia o “forma”*. Si lo general no fuese captado de antemano y no presidiese la búsqueda de ejemplares representativos de su clase, *la exploración sería errática por no estar presidida por ninguna orientación acerca de aquello que debe ser descripto*. Así lo vio en el siglo xx, retomando el camino abierto por Platón y Aristóteles, la fenomenología de Husserl: si se hacen variar en imaginación las propiedades de un único ejemplar hasta alcanzar el núcleo mínimo de propiedades que debe suponer para poder existir, se habrá alcanzado el dominio universal de la esencia. Con ello, se debiera afirmar que lo universal es de algún modo siempre presupuesto, al menos en las relaciones más elementales.

y XVII fueron sin excepción espíritus especulativos *que desdeñaron tanto como pudieran el supuesto poder de los sentidos y de la experiencia para arrojar alguna luz sobre el mundo.*

La ciencia de Galileo, Descartes, Leibniz y Newton, sobre cuyos principios más generales se desarrolla la ciencia de nuestros días, lejos de acudir a la experiencia y a los sentidos para recoger las cualidades y propiedades en que se entrega la realidad, tomó estas cualidades y propiedades por engañosas apariencias de una realidad más profunda, que solo el intelecto podía decodificar. Quien quiera comprender el secreto de la naturaleza, afirmaba Galileo, deberá aprender el lenguaje en que está escrita. Y este lenguaje es el de la geometría. La observación se ha vuelto insuficiente: son los ojos del espíritu quienes ven más lejos y mejor.

Así, Nicolás de Cusa –autor de la primera teoría sobre el movimiento de la Tierra<sup>75</sup>– se muestra escéptico sobre los conocimientos obtenidos por vía empírica, y a este punto de vista también adhiere Copérnico, su discípulo en filosofía y astronomía. Por su parte, Kepler expresa su neoplatonismo por medio de especulaciones absolutamente místicas a propósito de las armonías de los números, y *son estas las que lo ponen en la dirección correcta que lo conducirá al descubrimiento de sus leyes astronómicas.* En cuanto a Galileo, sus célebres y filosóficos *Diálogos* dan testimonio de su desacuerdo con el empirismo exacerbado de su época y con la confianza ciega en el valor de los datos de experiencia.

Si la ciencia medieval observa e inquiere directamente a la naturaleza, Galileo en cambio preferirá someterla a tortura para que confiese su verdad, y “la trata como un testigo mentiroso”. “Someter la naturaleza a tortura” para lograr que confiese su verdad situada más allá de las apariencias engañosas con que se presenta a nuestros sentidos es la fórmula que mejor expresa la diferencia fundamental que separa *a la experiencia antigua de la experimentación de la ciencia moderna.*

La experiencia de la ciencia aristotélica medieval se atiene a coleccionar lo inmediatamente dado para extraer de ello lo universal –la forma, la esencia– que supuestamente se alberga en su seno. Por el contrario, la experimentación renacentista se encuentra muy lejos de esta actitud especulativa y pasiva respecto de los fenómenos.

La experimentación prepara sus dispositivos, sus protocolos de implementación y espera de sus procedimientos un resultado que más bien que un *reflejo* de lo observado constituya una *reacción*. El gran escritor alemán Goethe, que también fue un espíritu científico del siglo XIX, desafiado por un consejo científico a probar con el espectroscopio recientemente inventado por Newton su teoría de los colores, prefirió renunciar alegando que las verdades arrancadas a la naturaleza “por tortura” no podían jamás ser verdades de una verdadera ciencia.

La experiencia no es la experimentación, procedimiento este último que busca por combinación artificial de datos ya conocidos obtener lo universal. Lo que

75 Nicolás de Cusa. *De docta ignorantia*.

afirma la interesante tesis de Morin es que el paso de la ciencia medieval a la ciencia moderna consistió en el paso de la experiencia a la experimentación, y no en el de las especulaciones metafísicas a la observación empírica de la naturaleza: la metafísica, como no podía ser de otro modo, sostuvo activamente a ambas ciencias.

En suma: la ciencia moderna es ciencia experimental y no ciencia de la experiencia, y la nueva ciencia no se distingue de la antigua por recurrir a la experiencia sino por haberla reemplazado por la experimentación, luego de haber transformado los supuestos metafísicos que explican en última instancia la realidad íntima del mundo.

Fue Descartes quien estableció de manera rigurosa los principios fundamentales de esta nueva metafísica moderna que habría de sostener a la ciencia naciente. Y si bien es cierto que el curioso espíritu omni-englobante del francés se entretuvo disecando cadáveres, examinando formas particulares de meteoros, describiendo las trayectorias que los haces de luz recorrían al cambiar de medio, *los principios fundamentales del sistema cartesiano no se apoyaron en ningún elemento real o supuesto de la naturaleza –y por ello susceptible de ser alcanzado por los sentidos–, sino en la luz autosuficiente de una conciencia que se sabe ella misma sin poder dejar nunca de saberse.*

Con Descartes, el elemento más seguro y firme del universo no se encuentra en el universo; podría decirse que es acósmico: la conciencia cartesiana que habría de jugar como axioma para la construcción del edificio de la nueva ciencia, concebida como axiomático-deductiva, es reconocida por el gran filósofo y científico precisamente a condición de dejar de lado no solo el universo material ofrecido por los sentidos sino también los sentidos mismos. *Pues nada de lo dado por ellos puede albergar al ser verdadero. La física cartesiana conquistada por vía especulativa se apoya en una nueva metafísica que, abandonando definitivamente a aquella otra de la “forma” y la “materia”, sostiene que nada hay en el mundo más que extensión y movimiento.* Con ello Descartes prescinde de las “propiedades secundarias” y de las “virtudes” y “formas” ocultas que todavía explicaban el universo aristotélico medieval. Las “cosas” que vemos y tocamos no son para Descartes sino el reflejo de nuestras propias sensaciones proyectadas por obra de nuestra imaginación. *Si contra el testimonio de nuestros sentidos, el mundo solo es extensión y movimiento, las matemáticas y la geometría pueden ahora salir del ámbito puramente especulativo y encontrar en ese mundo vacío y calculable su lugar natural de aplicación.* Y, así, el mecanicismo idealista de Descartes –según el cual todo el universo se explica como acción de partes sobre partes– no hizo más que retomar y profundizar el movimiento emprendido por Galileo.

La pura “extensión” a la que la metafísica de Descartes redujo el universo no es accesible a nuestros sentidos: su realidad solo nos es dada gracias a la *idea innata que de ella poseemos*. Pero si la puerta a la matematización de la naturaleza se abrió gracias a la reducción cartesiana de la realidad sensible a la extensión, lo que permitió fundar la teoría de la atracción universal fue la concepción de una *nueva metafísica* que también eliminó de la realidad a la extensión cartesiana,

y así pudo afirmar que la esencia del mundo *es fuerza o movimiento*. Leibniz fue quien, *por medio de esta nueva metafísica*, creó las condiciones para este grandioso “descubrimiento”.

El reemplazo de la metafísica aristotélica de las formas sustanciales o de las esencias por una nueva visión metafísica del mundo –primero basada en la extensión (Descartes) y luego en la fuerza y el movimiento (Leibniz)– significa una ruptura radical con la idea de que en cada hecho singular se encuentra escondida la arquitectura secreta de lo universal. *Los datos particulares surgidos de la observación ya no poseen ninguna esencia*: lo que del mundo se puede conocer es la legislación que gobierna a los movimientos, las sucesiones inalterables que encadenan a los fenómenos unos a otros y que llamamos su causalidad.

La metafísica vigente hasta el siglo xvii, momento en que, conmoviendo sus principios generales, nace la ciencia moderna, se fundaba en la vieja teoría aristotélica de la materia y la forma,<sup>76</sup> que había sido formulada casi dos mil años antes. La materia a la que refiere Aristóteles, lo hemos visto, no es nada “material” en el sentido de aquello que nuestros sentidos aprehenden o en el sentido de algún materialismo. Ella refiere más bien a una suerte de elemento primordial inerte que compone en última instancia todo lo que puebla el mundo. Este principio necesario es –según la metafísica aristotélica– lo que en una cosa concreta permanece siempre “en potencia” permitiendo sus sucesivas transformaciones. Pero es imposible de conocer, puesto que el conocimiento es siempre conocimiento de la “forma”, es decir, del principio activo que subyace en la sustancia, y esta solo es dada al intelecto. Por este motivo, la “forma” no es en absoluto el aspecto exterior de la cosa, algo visible, sino su componente más secreto e inaparente.

La escolástica identificaba a la materia (incognoscible por ella misma, pues carece de forma) como una “casi nada”. Dado que en el universo no encontramos nada con estas características se hacía necesario concebir que, junto con la materia así definida, operaba la forma: esta no solo determinaba a la materia haciendo que en cada caso asumiese una realidad particular, sino que también le ofrecía el dinamismo necesario y la dirección precisa para que se lleven a cabo sus transformaciones visibles. La “forma” *tenía, pues, un carácter activo que gobernaba las transformaciones* e indicaba el destino final de la cosa. La forma operaba actualizando las potencias de la materia como una suerte de esencia activa.

F. Morin enumera cinco consecuencias que habría determinado esta metafísica de la materia y de la forma en las ciencias antiguas y medievales.

La primera de ellas tiene que ver con la comprensión de los cambios o del movimiento en las cosas. Dado que la forma es el principio activo que gobierna las sucesivas transformaciones de la materia, el movimiento de las cosas será en cada caso *la expresión inmediata de una necesidad interna y propia a la cosa en cuestión*;

---

**76** Al examinar el problema del cambio y el movimiento, hemos presentado sumariamente al comienzo de esta sección, bajo el título “La metafísica y la física de Aristóteles”, su concepción de la sustancia como unidad de materia y forma.

algo así como una transformación instituida por la forma sustancial que opera en ella y la determina a ser lo que es. Así, en cada cuerpo, el cambio es una expresión de su propia esencia. Podemos sospechar ya la influencia inmensa que tuvo esta teoría en cuanto al modo en que se desarrolló la ciencia hasta los siglos xv o xvi. Si bien los movimientos de los cuerpos responden a estímulos originados en causas exteriores, estos movimientos y estos cambios eran considerados puramente “accidentales” respecto de los cambios “esenciales” dictados por las prescripciones internas de la forma. Este era el sentido preciso de la idea de que las cosas tenían un “movimiento natural”, y propio a cada una de ellas. La ciencia moderna, por el contrario, considera al movimiento y a las transformaciones como dictadas por leyes universales y no por prescripciones “esenciales”.

Dado el papel protagónico de la “forma” en la explicación del movimiento, el estudio del movimiento era abordado a través de una categorización cuyos elementos analíticos eran “movimiento natural” en oposición a “movimiento violento”. Basta con comparar esta manera de conceptualizar el cambio –que Galileo rechaza enfáticamente en sus *Diálogos– con la moderna oposición entre movimiento uniforme y movimiento acelerado, para entrever el abismo que separa intelectualmente al mundo moderno del mundo antiguo y medieval.*

Seguramente un pensador medieval no recusaría nuestra distinción actual, pero la caracterizaría como *inesencial*, como simplemente morfológica, por perder de vista lo que determina y explica en última instancia *qué es* un movimiento.

La materia que concibe la ciencia antigua y medieval posee en la forma que la “informa” todo lo que hace falta para que el cambio o el movimiento se produzcan en ella. Y esto es así, aun si la forma no es, en última instancia, la “causa eficiente”, es decir, el origen absoluto del movimiento “natural”.

La ciencia moderna concibe un universo habitado por cosas inertes cuyos movimientos se explican por la acción sobre ellas de fuerzas exteriores, cuyo modo de acción, indiferente a aquello sobre lo cual se aplican, produce una regularidad que recoge la “ley” científica de carácter “universal”. La ciencia antigua y medieval, por el contrario, afirma la existencia de un universo de entidades cuyos cambios responden a especies características y cuyos rasgos esenciales están inscritos en cada ejemplar en virtud de su forma sustancial. Si recordamos que para ella el fuego y el aire son “livianos”, mientras que la Tierra y el agua son “pesados”, comprendemos que la astronomía geocentrista de Ptolomeo no hacía otra cosa que *reflejar en la arquitectura del cielo el mandato de esta metafísica de la forma que rechaza toda legalidad universal: la Tierra permanece inmóvil debido a su pesadez natural y cumple las prescripciones que su forma le impone.*

El hoy “evidente” alcance *universal* del principio de inercia (de acuerdo con el cual todo cuerpo conserva su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme si no hay alguna fuerza actuando sobre él) no podía tener cabida y probablemente hubiese sonado como un disparate en la metafísica medieval.

Es por ser irreconciliable con aquella metafísica de la forma que este principio fundamental de la mecánica, de la astronomía y de la física moderna no tenía cabida posible en la ciencia premoderna.

Con profundidad, Morin señala que no por casualidad uno de los primeros innovadores de la ciencia moderna, Nicolás de Cusa, atacó *conjuntamente a la teoría de las formas sustanciales, a la idea de movimiento natural y a la astronomía geocéntrica de Ptolomeo*.

La metafísica de la forma sacaba una decisiva conclusión de la observación y comparación del cielo y la Tierra: los cuerpos “supralunares”, girando en la periodicidad de sus movimientos circulares, eran portadores de una forma sustancial más próxima a la perfección que los rústicos y aparentemente anárquicos movimientos verticales de caída que realizaban los cuerpos terrestres cuando se intentaba separarlos de su “lugar natural”. Las sustancias celestes poco tenían en común con las vetustas sustancias que se agitan desordenadamente en nuestro planeta. Por este motivo, se afirmaba que el mundo sublunar se mueve *naturalmente* en dirección rectilínea, mientras que el mundo celeste o supralunar lo hace de manera curvilínea.

La segunda consecuencia que la metafísica de la forma tuvo para la ciencia premoderna es que si bien el movimiento de un cuerpo se cumple de modo natural que le es prescripto por la “forma” cuando esta *ya está unida a la materia*, esta unión solo puede cumplirse *gracias a alguna causa exterior*. La razón de ello es que la forma, separada de la materia, carece por ella misma de la potencia necesaria para actuar y, por su parte, la materia separada de la forma es totalmente pasiva: nada hace que alguno de los dos constituyentes de la sustancia pueda salir del reposo por sus propios medios, y por consiguiente se vuelve necesario que inter venga alguna causa exterior para que la unión entre ambas pueda tener lugar. Así se explica que en el pensamiento antiguo y medieval el principio primero del movimiento debiera encontrarse en la esfera celeste y no en la imperfecta región sublunar.

Pero ¿dónde situarlo de manera precisa? Aristóteles concibió un dios *cuyas propiedades se desprendían analíticamente de las exigencias de la metafísica de la forma sustancial*. La perfección del Dios de Aristóteles se expresa afirmando que su sustancia es *forma sin materia, forma pura*. Y esto significa que nada hay en él que deba actualizarse, nada queda en él “en potencia”, ninguna materia que pueda ser “formada”. Dios es, en términos de esta metafísica, un acto puro y puramente espiritual. Pero, paradójicamente, se trata de un acto tal que por principio se encuentra impedido de todo actuar pues, ¿en qué podría consistir la acción de un ser que, dada su perfección y acabamiento, no tiene nada por realizar? Cualquier acción comprendida en el sentido que nos es habitual del término sería un testimonio de su imperfección y por lo tanto la negación de su carácter divino, es decir, de su realidad plenamente cumplida. El “acto” que le cabe a un ser así concebido es, simplemente, algo como la estática contemplación de sí mismo, saber-

se, y nada fuera de esto. En esta tarea espiritual consiste “ser” para el único ser perfecto.

Como consecuencia de lo que podría caracterizarse como la absoluta pasividad de su “acción”, este Dios no podía ser el principio activo, la causa eficiente que une activamente la materia a la forma en el mundo sublunar para hacer posible el comienzo del movimiento, y, por lo tanto, esta causa debía ser buscada en otra parte. Añadamos a lo anterior, que este Dios no solo no ha podido crear el mundo –ya que, encerrado en la autocontemplación de sí no puede siquiera conocerlo–, sino que además es enteramente ajeno a los avatares y vicisitudes del hombre, al cual no ama ni odia; tampoco posee virtudes: ni es bueno ni malo, ni valiente ni temeroso, ni justo ni injusto.

Vemos que la causa original del movimiento no está ni en la Tierra ni en el Dios inmóvil, y esto explicaría, de acuerdo con Morin, la importancia que ha tenido en los sistemas antiguos la existencia de *una instancia intermediaria entre la absoluta inmovilidad de Dios –debida a su perfección– y la absoluta inmovilidad de la Tierra, debida a su imperfección.*<sup>77</sup>

El cielo, o más bien lo que Aristóteles llamaba el “primer motor móvil”, con su plétora de astros que cumplen movimientos perfectos y dioses menores pero más atentos a los asuntos del hombre que el impasible Dios inmóvil, ha sido la fuente donde la metafísica antigua de la materia y de la forma, y con ella su correspondiente ciencia, fueron a buscar el principio explicativo del movimiento y de la generación en la Tierra.

La tercera consecuencia que tuvo esta metafísica de la “forma” para la ciencia fue que, dado que el alma era considerada *la forma del cuerpo*, es decir, el principio activo que prescribe al cuerpo la dirección de su desarrollo y las diferentes determinaciones que ha de asumir, *cualquier investigación semejante a la de la fisiología moderna resultaba innecesaria*. ¡Bastaba con afirmar: el cuerpo se nutre *porque está unido a un “alma (forma) nutritiva”* para resolver todos los misterios de la nutrición!

También la psicología, o más bien la caracterología vigente hasta el siglo xvii, respondía a la metafísica de la materia y la forma: puesto que el cuerpo posee en diversos grados los cuatro elementos fundamentales de la naturaleza (aire, tierra, agua y fuego), el cuerpo viviente –resultado de la animación del cuerpo material por la “forma” alma– poseería el “humor” o carácter correspondiente al elemento dominante: bilis (relacionada con el fuego, produce un “humor” violento), sangre (relacionada con el aire, produce un “humor” entusiasta y activo), pituita (relacionada con el agua, produce un “humor” afable y tranquilo), y atrabilis (causa de la melancolía).

La cuarta consecuencia de la teoría de la materia y de la forma es que, en tanto en el “compuesto humano” de alma y cuerpo, el alma es la forma que se

---

<sup>77</sup> Este intermediario es, en Platón, el mundo de las ideas, situado entre la idea del bien y el mundo de apariencias; en Aristóteles, el mundo supralunar, intermediario entre el mundo sublunar y el Dios aristotélico.

une al cuerpo y lo anima para poder actuar, es preciso entender que, más que dos sustancias autónomas, alma y cuerpo son *dos elementos sustanciales de una misma sustancia*. Tomás de Aquino y su escuela consideraban que el alma fuera del cuerpo permanecía en un estado antinatural que se manifestaba por la pérdida de su inteligencia,<sup>78</sup> y es esta necesidad de un lazo con el cuerpo lo que explica que, mientras vive, el entendimiento humano *siempre debe recurrir a imágenes para pensar*. La inteligencia humana está condenada a necesitar de una mediación sensible para operar, y por este motivo para el hombre *el primer objeto de conocimiento es lo material*. Este principio fundamental del pensamiento medieval *será derrumbado por el célebre cogito cartesiano, de acuerdo con el cual el conocimiento del alma es más inmediato que el del cuerpo*.<sup>79</sup> Si se señala esta dependencia congénita del espíritu respecto de la materia es solo para poner de relieve lo lejos que está la filosofía (y la ciencia) medieval –contrariamente a lo que sucederá con los fundadores de la ciencia moderna– de algún espiritualismo o misticismo. Recordemos que, en oposición frontal al pensamiento medieval, la ciencia inaugurada por Descartes encuentra el punto de partida seguro, la primera verdad que jugará de axioma para la edificación de todas las ciencias, en la afirmación del conocimiento inmediato del alma por ella misma. “En la teoría moderna –escribe Morin– la teoría del alma precede a toda doctrina y aclara el edificio del conocimiento humano. En la de la Antigüedad y la Edad Media vemos el cuerpo antes de ver el alma... que nunca se nos aparece en su individualidad íntima. Por eso es que en las grandes enciclopedias de la Edad Media el tratado *De Anima* es una parte de la física, y la última”.

La quinta consecuencia que tuvo en la ciencia natural la teoría de la forma sustancial es que, dado que solo las “formas” resultan inteligibles al alma humana y no la materia, las ciencias tendrán como objetivo único *la captación de estas formas* que constituyen lo más íntimo de los seres. *Esto explica la inclinación de la ciencia medieval a la especulación en torno a definiciones, y también explica el carácter puramente lógico de sus procedimientos*. La forma, la esencia, puramente inteligible, es el verdadero objeto de la ciencia antigua y medieval.

Platón la busca primero en las ideas del mundo inteligible, y luego Aristóteles la persigue –como “forma”– en el corazón de la cosa sensible.

Por último, esta metafísica vigente hasta el xvii hace necesaria la intervención de un intermediario entre la inteligencia y el mundo. La inteligencia no puede pasar al acto por ella misma y necesita de la intervención de algún principio exterior. Esta causa externa no puede residir sin embargo en el objeto del conocimiento, ya que, por sí mismo, este no puede salir de su encierro en sí para manifestarse. Así es como el papel de intermediario será jugado en la escolástica por la

**78** Santo Tomás, *Suma Teológica*, primera parte, q. 89, art 3, citado por F. Morin. *De la Genèse et des Principes Métaphysiques de la Science Moderne: ou la Philosophie des Sciences cherchée dans leur Histoire*. París: Kessinger LegacyReprints, 1856.

**79** Este es precisamente el título de la *Segunda meditación metafísica*, de R. Descartes.

*especie impresa*: esta suerte de imagen de la cosa contiene tanto su forma como la *materia bajo el modo de representación*, y es a través de esta representación que el alma es puesta en acto y procede a “ascender” de lo material a lo formal, es decir, de lo particular a lo universal.

Dado que la ciencia premoderna interpreta el acto del conocimiento como una inducción susceptible de llevarse a cabo a partir de un único ejemplar, en lugar de recabar y clasificar los fenómenos ella busca aislarlos, y luego en cada uno de ellos procura extraer la forma universal. Por otra parte, en virtud del carácter puramente abstracto de esta ciencia, ella opera dialécticamente y *declara conocido a su objeto tan pronto como ha logrado establecer una definición precisa de él*.

No se trata, pues, de que la ciencia antigua prefiriese adoptar una actitud metafísica antes que una actitud de observación activa sino, por el contrario, de que su *modus operandi* resulta de su total fascinación por la experiencia que terminará llevándola a erigir abstracciones que tomará como principios.

El derrumbe de la metafísica de la materia y la forma permitió la constitución de una nueva metafísica basada en la idea de “fuerza”, idea que fue causa directa de los grandes descubrimientos de los siglos XVII y XVIII. Esta idea se afianzó lenta y progresivamente a través de profundas discusiones a propósito de diferentes problemas físicos, y fue a través de estas discusiones que poco a poco la idea de fuerza dejó de ocultarse detrás de la idea de movimiento, que solo era efecto de la fuerza.

Una de estas discusiones giró en torno a la cuestión de saber si el movimiento de los cuerpos posee o no el principio explicativo de su dirección en la “forma” o naturaleza del cuerpo mismo. Nicolás de Cusa y Copérnico respondieron –por primera vez– negativamente a la cuestión. Para ellos, el movimiento no se explicaba a partir de la naturaleza intrínseca de los cuerpos *sino de leyes universales que actúan sin distingos sobre los diferentes cuerpos*. Ahora bien, la aceptación de esta nueva tesis es también la aceptación de la revolucionaria idea según la cual *la materia es de por sí inerte e indiferente a la dirección del movimiento*. Con ello se derrumbaba la teoría del movimiento “natural” propio a cada especie y, por consiguiente, también la cosmovisión de Ptolomeo. En adelante, se asumiría que, de modo universal, los cuerpos empujados por una fuerza se mueven en forma rectilínea hasta que una nueva fuerza se presenta para alterar su movimiento.

Es este nuevo axioma el que fundará la visión copernicana del mundo y permanecerá vigente hasta nuestros días, haciendo valer la idea de que la materia está en todas partes en movimiento y que no existe el reposo absoluto o, más bien, de que se trata de una simple abstracción.

Al analizar el problema del origen y fundamento del movimiento hemos visto que la ciencia antigua y medieval, por diferentes motivos, no podía situarlo ni en la forma ni en la materia del móvil, así como tampoco en la forma pura y perfecta, Dios. Todos estos elementos permanecían totalmente inmóviles, ya fuese en virtud de su imperfección, ya fuese, por el contrario, en virtud de su perfección y

completud. Por esta razón, era preciso situar el principio del movimiento en alguna instancia *intermedia*.

Una expresión científica de esta doctrina metafísica es la llamada “teoría de los medios”, según la cual el origen y fundamento del movimiento se encuentra *en el medio que envuelve al cuerpo*: una piedra que ha sido arrojada *es movida por el aire que la rodea*. Morin nos recuerda que es esta misma idea la que explica que, según la teoría de las siete o nueve esferas celestes, se afirmara que la esfera inferior recibe su movimiento de aquella que la rodea inmediatamente.

El gran historiador de la ciencia Alexandre Koyré (1892-1964) propuso<sup>80</sup> algunas esclarecedoras observaciones acerca de las consecuencias que tuvieron los supuestos metafísicos aristotélicos respecto de la interpretación del movimiento. El pensamiento premoderno *opone* naturalmente movimiento y reposo: como hemos visto, el movimiento es comprendido como paso de la materia a la forma, y por lo tanto no expresa ante todo un cambio *respecto de otros cuerpos* sino *en el interior de la realidad del móvil mismo*. El movimiento representa pues una alteración del orden cósmico, un desorden que quiebra el equilibrio natural. En tanto todo cuerpo ocupa un “lugar” natural, se puede explicar que un cuerpo pesado caiga naturalmente para recuperar su lugar propio, y con el mismo fin uno liviano se eleve;<sup>81</sup> que uno terrestre avance en línea recta y uno celeste lo haga en círculos. Comprendido de este modo, el movimiento es un estado accidental y pasajero de los cuerpos que cesa una vez que el móvil alcanza su sitio esencialmente predeterminado. En esta concepción se apoya la distinción entre movimientos “violentos” –aquellos que apartan a la cosa de su lugar– y movimientos “naturales”, aquellos que la llevan a restaurar la situación que le es propia por “forma” o esencia. Pero ¿cómo explicar, *en ausencia del principio de inercia*, el hecho de que un móvil lanzado por una fuerza exterior inicial mantenga y cumpla su movimiento *una vez separado de ella*? ¿Cómo explicar la continuidad de un movimiento si se ha perdido el contacto con la fuerza que lo originó? La *metafísica* aristotélica llevaba necesariamente a la siguiente respuesta *física*: cuando el móvil ha perdido contacto con su “motor”, su movimiento es mantenido por el contacto que tiene *con otro “motor”*: *el medio ambiente*, que lo irá impulsando en su recorrido. Esta idea de un “medio” que llena el cosmos proviene de la metafísica parmenideana que –como habíamos visto– prohibía concebir algo como el “no ser”, es decir, como el vacío. Por este motivo la ciencia de origen aristotélico está toda entera edificada sobre la idea de una naturaleza *plena* y es ajena a la noción de vacío. En tal metafísica, un movimiento en el vacío resultaba por principio impensable: sin medio ambiente, el movimiento no podría transmitirse y resultaría el absurdo de que el móvil se movería sin ser impulsado por algún “motor”. Por otra parte, de existir el vacío, la velocidad alcanzada por el movimiento del móvil sería infinita haciendo que, de-

80 A. Koyré, *Del mundo cerrado al universo finito*. México: Siglo XXI, 1979.

81 Ambos en línea recta, pues los cuerpos “sublunares” tienden a dirigirse a sus lugares naturales del modo más rápido y por la vía más corta que sea posible.

bido a la *instantaneidad* que esto implicaría en el cambio de lugares, la idea misma de “movimiento” fuese abolida. Para que la moderna idea de *vacío* fuera posible (idea asociada con la de “espacio” homogéneo y geometrizable) la ciencia tuvo que desprenderse de la concepción metafísica de un cosmos constituido por “lugares” y direcciones naturales.

En la época de Galileo se impuso la teoría del *impetus*. Ella asume integralmente los supuestos de la metafísica aristotélica, pero procura reparar algunas debilidades manifiestas en su explicación de la transmisión del movimiento en el medio ambiente. La dificultad mayor para la vieja teoría era explicar la caída *acelerada* de los cuerpos. Si los “motores” del movimiento eran *únicamente exteriores*, si el impulso que el móvil recibía de ellos era siempre el mismo, nada justificaba, en efecto, *un aumento de la velocidad por contacto con el medio*. Según Koyré, la gran novedad de la teoría del *impetus* consistió en concebir que la fuerza aplicada por el motor al móvil *no se agota en el contacto exterior con él sino que permanece de algún modo impresa en la esencia o forma del cuerpo*: este recibe a lo largo de su desplazamiento *impetus* del medio ambiente que, a su vez, son incorporados por el móvil. Ahora bien, dado que todo *impetus* se va agotando, cuando el *impetus* recibido se sobreañade a un *impetus* todavía no exhausto, la velocidad aumenta necesariamente. *El medio ambiente ya no es el factor exclusivo que sostiene al movimiento*: si se piensa que todo cuerpo posee una “pesadez” que funciona como un *impetus* inicial, *una teoría sobre el movimiento en el vacío se ha vuelto posible*. La metafísica de la sustancia, su idea de plenitud cósmica, de “lugares” diferenciados, de situaciones “naturales” en virtud de las formas, del movimiento como alteración o recuperación del reposo natural dejan poco a poco su lugar a una nueva metafísica basada en la idea de vacío, “espacio” homogéneo y por lo tanto matematizable, y de movimiento y reposo como propiedades naturales y permanentes, secundarias y dependientes de la “fuerza”, devenida nuevo actor protagónico de una naturaleza que se ha vuelto calculable. La idea de “momento” propia de la nueva física será la heredera inmediata del *impetus* de cuño aristotélico.

## **La nueva metafísica y su física**

La duda, transformada por Descartes en *método* para la obtención de una verdad incondicionada que pudiera servir de axioma para la edificación de las ciencias desembocó en su tesis del innatismo de las ideas del alma. También llevó a una nueva concepción metafísica de la naturaleza. En efecto, la naturaleza de la nueva ciencia es una *pura extensión carente de cualidades sensibles* y, por otra parte, *movimiento*. A partir de estos nuevos principios metafísicos, Descartes concibió<sup>82</sup>

---

**82** A través de su teoría de los turbillones. En F. Morin. *De la Genèse et des Principes Méta-physiques de la Science Moderne: ou la Philosophie des Sciences cherchée dans leur Histoire*. París: Kessinger Legacy Reprints, 1856.

la primera cosmología mecanicista que haya intentado explicar la constitución del universo a partir de *leyes universales del movimiento* que operan sobre la materia. Una materia que –contra la escolástica– Descartes considera desprovista en sí misma tanto de propiedades sensibles como de las aristotélicas “virtudes” ocultas. Su teoría resultó ser errónea, pero anticipó el camino de Newton al pretender explicar la gravitación y la pesadez de la Tierra según un mismo principio.

Lo que permaneció, por el contrario, fue la visión cartesiana de un mundo físico desprovisto de toda cualidad sensible y exclusivamente consistente en extensión (forma y tamaño) y movimiento, entidades abstractas todas ellas que las matemáticas podían expresar en su lenguaje formulario.

La matematización de la naturaleza (iniciada con la reducción galileana del universo sensible a formas geométricas) *encontró en el filósofo francés los principios metafísicos que la justificaban*. Con Descartes, la materia se volvía pura extensión y el movimiento dejaba de pertenecer a su esencia, transformándose en un principio universal que operaba según leyes constantes.

El mundo físico, orgánico e inorgánico, comenzaba a ser abordado a partir de abstracciones, y las explicaciones científicas prescindían de toda consideración respecto de las cualidades y propiedades sensibles de los cuerpos. Así nacía la física moderna.

El aporte de Leibniz a esta discusión en torno a principios metafísicos dio la puntada final al movimiento de ruptura con la metafísica de la sustancia que había comenzado dos siglos atrás. El filósofo alemán sostenía, disintiendo de Descartes, *que la extensión tampoco pertenecía a la esencia de los cuerpos materiales*, puesto que ella era tan solo una simple *relación aparente entre ellos*. *Del universo aristotélico compuesto por formas y materias combinadas para formar sustancias cargadas de cualidades intrínsecas, de virtudes ocultas, de tendencias inscriptas en sus esencias, ya no quedaba nada*. Leibniz afirma que la causa del movimiento es la *fuerza*, y concibe el universo como un conjunto preestablecido y armonioso de fuerzas invisibles, o “mónadas”, cuyo modo de acción tiene vigencia universal.

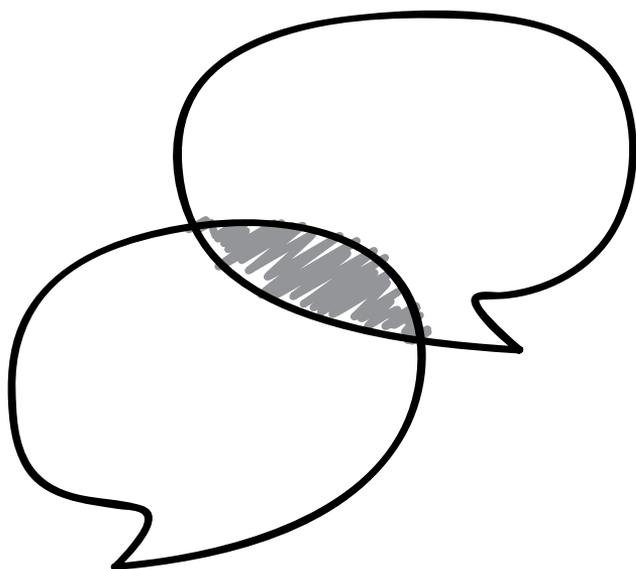
Según Morin, las investigaciones sobre la organización de los seres vivos encontraron un principio fecundo de renovación en todas estas ideas: una vez abolida la idea aristotélica de “forma” ya no interesaba el aspecto morfológico, la semejanza exterior y visible entre los organismos, sino el que partes diversas y sensiblemente distintas cumplieren una misma *función*. La fisiología podía salir de las catacumbas de la anatomía. La enorme cantidad de observaciones realizadas hasta ese entonces y clasificadas con arreglo a consideraciones de tipo morfológico era ahora reconfigurada *en función de la finalidad*.

La idea de fuerza, oculta detrás de la de movimiento, abrió así, primero, una nueva perspectiva cosmológica; luego permitió una nueva concepción del mundo físico, y finalmente orientó las investigaciones hacia una nueva manera de abordar los fenómenos de la vida.



# 09

**A manera de epílogo**





Queridos y pacientes lectores: nuestra intención en este último capítulo es enfatizar, a manera de diálogo –y por lo tanto un poco más informalmente–, algunas ideas que nos parecen importantes y que tratamos de discutir a lo largo de las secciones precedentes, dedicadas a las ciencias naturales y a la filosofía.

De esta forma, cumplimos nuestra promesa de hacer un viaje de ida desde la astrobiología (capítulos 1 a 7) a la filosofía (capítulo 8), y volver (capítulo 9). Nuevamente, muchas gracias por habernos acompañado hasta este punto.

**Javier (J):** Mario, vos establecés muy claramente en el capítulo 8 que todo el edificio de las ciencias naturales está construido sobre una base y unos pilares metafísicos, que la mayor parte de las veces son invisibles para los propios científicos, y cuya ignorancia nos ayuda a emborracharnos un poco más de un ingenuo cientificismo. ¿Por qué no nos aclarás un poco más estas ideas?

**Mario (M):** Por metafísica se entiende, desde Aristóteles, a la ciencia que busca elucidar los primeros principios. Aristóteles da a entender que esta ciencia puede tomar dos direcciones: 1) Ya sea como ciencia *de lo más general*, a saber, ciencia del ser –pues todo “es”– (suele llamársela *metafísica general*). En este sentido, “lo primero” es el ser. 2) Ya sea como ciencia del ente supremo o *del primum ens*, es decir, de Dios (metafísica especial). En la primera dirección se lanza la filosofía. En la segunda vía se lanza la teología (y tal vez también la ciencia, cuando busca un primer “ente”, un primer fenómeno a partir del cual dar cuenta del resto). Es importante comprender que la primera dirección –metafísica general– no busca conocer algún primer ente sino aquello que todo ente supone, el ser.

La segunda dirección persigue, por el contrario, un *primum ens*. En este sentido, la teología y la ciencia –en tanto esta última, siguiendo el principio de causalidad, buscando explicar el ente pretende fundarlo en un ente más originario y remontar si fuera posible hasta el ente “fundamental”– constituyen ambas metafísicas *specialis*. De manera radical, en el siglo xx, Heidegger caracterizó tanto a la teología como a la ciencia como “metafísicas”, por olvidar el problema del sentido del ser en beneficio de la cuestión del ente. Pues para el filósofo alemán, “metafísica” significa: todo aquel saber que, voluntaria o involuntariamente, olvida la fundamental cuestión del ser. Y ¿por qué sería más decisiva la cuestión del sentido del ser que la cuestión del “primer ente”? Porque si no comprendemos qué significa “ser”, no comprendemos qué estamos diciendo cuando decimos, por ejemplo: la ciencia descubre que el primer elemento “es” tal o tal cosa.

Si, siguiendo a Aristóteles, comprendemos por “metafísica” la ciencia de los primeros principios en cualquiera de los dos sentidos que distinguía el filósofo griego, es preciso afirmar que toda ciencia de la *physis*, toda física siempre *parte*

*de un conjunto de principios primeros, que ya presupone implícita o explícitamente.* Estos principios, por no ser nada “físico”, son objetos de una metafísica. Así, por ejemplo, la física aristotélica es finalística, pues la naturaleza se explica en ella a partir de su finalidad (que es la perfección), cualitativa (pues explica la naturaleza a partir de “virtudes” o de “cualidades”) y realista (pues presupone la existencia de “sustancias” autónomas respecto de la conciencia). Y estos tres rasgos de la física de Aristóteles se originan en su metafísica, que está compuesta por varios principios explicativos: la sustancia (entendida como realidad última, unidad de materia y forma), acto y potencia, causalidad, “lugares” jerarquizados en el cosmos (en vez de un “espacio” homogéneo análogo al de las matemáticas). Por otra parte, el cosmos es comprendido como una totalidad ordenada, los movimientos sublunares de los cuerpos pesados son comprendidos como accidentes del estado natural de reposo, etcétera. Todos estos principios metafísicos permiten a Aristóteles explicar en qué consiste la realidad “última” de las cosas.

Por el contrario, la ciencia natural moderna, iniciada por Galileo en el siglo xvii y desarrollada luego entre otros por Descartes y Newton, encuentra sus principios metafísicos en la hipótesis de un universo infinito, en un “espacio” que ella comprende como suma de “lugares” no jerarquizados ni cualitativamente diferenciados (sobre el que es posible entonces aplicar las matemáticas y, dada la homogeneidad y la continuidad supuestas, el análisis diferencial), tiempo homogéneo, existencia de “masa”, “fuerza”, “energía”, comprensión del movimiento como estado natural (pues contrariamente a la metafísica de Aristóteles, todo se supone estar en movimiento). Es a partir de estos nuevos supuestos que la ciencia moderna organiza las explicaciones que propone acerca de los fenómenos observables. Ahora bien, *estos presupuestos no son experimentables.*

La ciencia también tiene presupuestos, esta vez bajo la forma de axiomas, en los principios lógicos que organizan el pensamiento racional (principios de contradicción, de identidad, de tercero excluido, etcétera). Si se acepta que la realidad física responde a cualquiera de estos principios –en el sentido riguroso del término–, y que por ello puede ser explicada, se acepta que responde a unos principios que no solo *no se muestran en la physis que el científico observa* (¡no hay instrumento de experimentación física capaz de captar el principio de no contradicción!) sino que además estos principios lógicos estructuran *a priori* el conocimiento de la *physis*. Por último, señalaba una tercera raíz de la metafísica implícita en toda ciencia natural en lo que llamé “axiomática de la percepción”: la *physis*, cualesquiera fueran sus principios metafísicos (antiguos o modernos), *aparece*. Este aparecer es siempre *supuesto* por la ciencia, pero no explicado por ella.

**J:** Entonces, Mario, si no te entiendo mal, toda la estructura de nuestras ciencias exactas y naturales tiene un fundamento metafísico, conformado por el conjunto de primeros principios que es necesario asumir para desarrollar la ciencia. Lo que me parece interesante destacar como primera lección de humildad para nosotros, los científicos de las ciencias exactas y naturales (de aquí en más, vulgarmente los

científicos), es que nuestras propias ciencias se fundan sobre un conjunto de primeros principios sobre los cuales no podríamos aplicar el propio método científico, y en ese sentido la ciencia se parece un poco a la teología, aunque sea un ateo, como el que habla, el que tiene que asumirlo. Ahora me gustaría llevarte a discutir algunos aspectos de la naturaleza del conocimiento que puede alcanzar la ciencia (entiéndase las naturales y exactas). Vos nos contabas que a Kant, a diferencia de Hume, no le caben dudas de que la ciencia conoce. Pero también indicabas que lo que la ciencia conoce, según el filósofo alemán, no es la “realidad profunda” del mundo, sino el fenómeno, es decir, su modo de presentarse ante la requisitoria condicionante del hombre. Ahora ¿cómo definir la “realidad profunda” de las cosas? Y si bien entiendo que la filosofía es más radical que las ciencias naturales acerca del conocimiento de las cosas, ¿por qué debemos preocuparnos por el “en sí” o por la esencia si de todas maneras parece ser inasible por el conocimiento humano?

**M:** Antes de intentar responderte, me gustaría hacer dos aclaraciones: 1) La idea de “radicalidad” de la filosofía –propia de su origen y vigente hasta el siglo XIX– es hoy puesta en cuestión por gran parte de la filosofía. La diversidad de puntos de vista sobre aquello que es la filosofía misma es tal, que más que de “filosofía” se debe hablar hoy de filosofías. A esta situación contribuyó el pensamiento de Nietzsche, los llamados “giro lingüístico” y “giro pragmático” en filosofía, ciertos marxismos, la hermenéutica y el deconstructivismo, entre otros movimientos que asumió el pensamiento del siglo XX. La vieja idea de la “radicalidad” de la filosofía está de algún modo en relación con diferentes formas de “absolutismo” de la verdad (que piensan que existe algo como la “verdad” y que hablar de “verdades relativas” y múltiples, “perspectivas”, “interpretaciones”, etcétera, no solo es un sinsentido sino que además es una vana tentativa de escapar a la cuestión, siempre presupuesta, de la verdad. En todo caso, sin la idea de “verdad” en el sentido fuerte resultaría incomprensible la idea de algún *acercamiento o avance hacia la “raíz” de las cosas, es decir, la idea de radicalidad.* 2) La filosofía, hasta antes de Hume y de Kant, comprendió la “verdad” como el conocimiento del “en sí” de la cosa. Pues ¿qué clase de “conocimiento” podría ser aquel que no fuera el de su realidad más propia? Luego del relativismo de Kant (de acuerdo con el cual “solo conocemos el fenómeno, no la cosa en sí”), el viejo “absolutismo” del conocimiento retornó por vía de Hegel (recordemos el peso enorme que tuvo su dialéctica en el siglo XX), y lo hizo aboliendo la distinción kantiana entre “fenómeno” y “en-sí”: con Hegel –como sucedía con los griegos y, en la modernidad, con Descartes– se cree nuevamente posible un conocimiento total, *absoluto* del mundo, aunque este conocimiento solo se logre al término de una marcha infinita del pensamiento. En cuanto a tu pregunta, es posible responder que lo que muestra Kant –y pretende enseñarle tanto a la filosofía como a la ciencia– es que lo que aparece –el fenómeno– *le debe todo su aparecer, su manifestarse, es decir su “ser”, a una conciencia que lo sostiene dentro de una escena finita hecha de tiempo, espacio y operaciones de*

síntesis efectuadas en función de ciertas capacidades organizativas propias de la conciencia, que son *enteramente ajenas y previas al material que ellas organizan* (estas capacidades son las que le imponen a la naturaleza “causalidad”, “sustancia”, “unidad”, “relación”, etcétera. Pero también tiempo y espacio). Si Kant tuvo razón, esto debe servir, al menos, para que la ciencia moderna no tenga la ilusión de estar comprendiendo la “realidad” del mundo como había creído estar haciéndolo durante siglos el realismo, que pensaba estar develando los secretos “últimos” del cosmos.

**J:** Pero ¿qué significa para Kant que el fenómeno solo es posible si es sostenido por una conciencia? ¿Querría decir que todo lo que ocurrió antes de la aparición de la conciencia en la historia del universo no fue fenómeno?, ¿o que solo se transforma en fenómeno histórico cuando aparece la conciencia? Solo mi terrible ignorancia e inocencia filosófica me permiten proponer lo que con mucha probabilidad es una burrada: que me parece un punto de vista que exagera la importancia de la existencia de la conciencia. La relativización de la aparición de la conciencia es lo que intenté plantear en la primera parte del libro. Me parece que para el universo ese aspecto es totalmente contingente. Entiendo que la representación del fenómeno necesita de la conciencia, pero dudo de los argumentos que necesitan de la existencia de la conciencia para plantear el “ser” del fenómeno. Aunque no haya existido conciencia durante una buena parte de la evolución del universo, de todas maneras existieron una serie de relaciones causa-efecto (y por lo tanto fenómenos), que condujeron a la aparición de la vida (LUCA). Es decir, la aparición de la conciencia, y por lo tanto de la vida, necesariamente presupone que deben haber ocurrido una serie de “fenómenos”, manifestados en el tiempo y el espacio, y que guardaron entre sí una relación causal.

Ahora, tratando de seguir comprendiendo los límites del “conocimiento científico”, me interesaba el comentario que hacías sobre la tesis de Schopenhauer de “la cuádruple raíz del principio de razón suficiente”. Nos decías que una cosa es la aplicación del principio de razón suficiente cuando el objeto de la explicación pertenece al mundo de lo físico, y otra cosa es cuando es un juicio, donde lo que se busca no es una relación causa-efecto sino un fundamento del juicio. ¿Es razonable, filosóficamente hablando, tratar de extraer algún sentido a la cadena de causalidades del mundo físico que hemos descrito en la primera parte del libro?, ¿o, para Schopenhauer, este sería un ejercicio “ilegítimo” del principio de razón suficiente?

**M:** Entiendo tu objeción a propósito de la participación de la conciencia en el entramado de la realidad, Javier, y tal vez se disipe con unas precisiones: lo que propone Kant no es una teoría sobre el universo sino sobre aquello que llamamos el conocimiento. La importancia que Kant, siguiendo a Descartes, asigna a la conciencia se funda en el hecho –ciertamente discutible pero no banal– de que sin conciencia no hay aparecer. Seguramente, el surgimiento de la conciencia pueda

ser establecido históricamente en un punto reciente del desarrollo material del universo. Tal vez, y muy probablemente, este surgimiento sea, como vos decís (y como Nietzsche había afirmado en el siglo XIX) totalmente contingente e inessential. Nada de ello pone en cuestión la afirmación kantiana de que “fenómeno” es aquello que aparece a una conciencia, y que el carácter objetivo de los fenómenos (es decir, de estar puestos allí delante, en el tiempo y el espacio frente a una mirada) está predeterminado por facultades que –como la sensibilidad, el entendimiento y la imaginación– operan dentro del marco impuesto por sus propias limitaciones o por sus propias legalidades. El relativismo de Kant no afirma de ningún modo que el universo nace con la conciencia, sino que algo *con el sentido de ser un universo* y de comportar “objetos” conectados entre sí que hacen frente al conocimiento es indisoluble de una conciencia causal, y espacio-temporal. El supuesto universo del mosquito o del murciélago nos es profundamente ajeno y sin embargo no hay motivos para afirmar que “nuestro” universo sea el verdadero. La piedra, salvo que con nuestras presunciones caigamos fuera de toda racionalidad, no posee ningún “universo”. ¿Qué “es” el mundo “antes” o fuera de una conciencia? La respuesta kantiana dice precisamente que no “es”, si “ser” *solo tiene sentido para una conciencia*. La “cosa en sí” del filósofo alemán es la expresión que recoge precisamente aquello que es ajeno a la conciencia y, por lo tanto, incognoscible. No es que la representación del fenómeno necesite de la conciencia, sino que “fenómeno” es precisamente aquello que le aparece a una conciencia como la nuestra. Hablar de un “ser” del fenómeno que precede a la conciencia y atribuirle a título de propiedades inherentes causalidad, temporalidad, espacialidad, etcétera, es, para el relativismo de Kant, una afirmación metafísica y en todo caso, un supuesto no fundado en alguna razón. El hecho de que la ciencia *encuentre racionalidad* en la organización de los fenómenos que estudia y que mediante *lazos causales* pueda retroceder racionalmente hasta momentos en que la conciencia humana seguramente no haya existido, no muestra en absoluto que esta racionalidad o que esta causalidad que organiza a los fenómenos esté intrínsecamente inscrita en la realidad de esos fenómenos. Por el contrario, tenemos la certeza de que esta racionalidad y esta causalidad son consustanciales a la conciencia que mira hacia el mundo y lo recoge en ella como un mundo racional y causal. En cuanto al segundo problema schopenhaueriano que planteás, que refiere a la posibilidad o a la imposibilidad de dar un sentido a la cadena causal conforme a la cual se le presenta al hombre su mundo, sería tal vez posible responder luego de hacer algunas aclaraciones. La filosofía de Schopenhauer es una metafísica de la voluntad. Esto significa que todo lo aparente *se explica a partir de un principio último que es una fuerza inconsciente* que opera fuera del espacio y del tiempo sin finalidad alguna *a la que el filósofo llama “voluntad”*; ella es un querer perpetuarse que empuja ciegamente y que, intentando inútilmente saciarse –pues es una voluntad–, se devora a sí misma (¡pues no hay nada más que este querer!) en un espectáculo tragicómico. La comicidad de este universo carente de destino, pujante y ciego, se manifiesta cuando lo captamos a través de la representación, es decir, en el espacio, en

el tiempo y en virtud de las categorías del pensamiento: allí nos aparece como *un universo racional que persigue con mecánica obsesión fines determinados que, sin embargo, en su conjunto, no tienden a nada*. La “física” de Schopenhauer, fundada en tal metafísica, explica los lazos causales en función de la única acción que en todas partes cumple (sin saberlo) la voluntad: *su propia reproducción*, pues ella no es dueña de su propio querer y por ello no puede dejar de querer. Por este motivo, las explicaciones “físicas” que ofrece Schopenhauer –de las que encontramos algunos ejemplos célebres y muy graciosos en su visión del sexo y del amor– son finalísticas (teleológicas), como lo eran las de la ciencia antigua. La “causalidad”, para él, es solo *la voluntad captada en la representación*, “refractada” en el espacio y el tiempo, y la voluntad realiza eterna y estúpidamente un único movimiento que consiste en buscar mantenerse en la existencia. Mientras la voluntad puja inútilmente, la representación (es decir, la conciencia humana) ofrece “en la superficie”, es decir en el tiempo y en el espacio y aplicando sus categorías organizativas, un enlazamiento continuo de “causas” y “efectos” que es el espectáculo ilusorio de aquella fuerza que en realidad... no tiende a nada. Tu pregunta alude, con profundidad, a la diferencia de planos entre la explicación científica (causal) y la filosófica (lazos entre juicios). Es imposible llegar a descubrir *a partir de los nexos causales, es decir, superficiales, de la naturaleza qué “quiere” la fuerza oculta y activa en un fenómeno, pues la fuerza no se manifiesta nunca en la objetividad*. Por este motivo tanto la causalidad como la explicación puramente racional que obra en la fundamentación de los juicios resultan ser, según Schopenhauer, impotentes para dar con la realidad; por ignorar que el secreto del mundo es una fuerza, ambas –esto es, la ciencia y la filosofía de la tradición– navegan en la superficie. Solo una hermenéutica, es decir, una interpretación, puede descifrar el sentido de una manifestación particular de la fuerza en un fenómeno dado a la representación. Aun así, el sentido revelado por la genealogía del fenómeno, es decir por la interpretación, *carece de sentido* pues remite, en última instancia, a la “voluntad”, fuerza única, inconsciente, y por lo tanto estúpida, que simplemente quiere, y lo hace sin saber por qué o para qué. La causalidad es, para Schopenhauer, un simple mayordomo que realiza presentaciones en la fiesta de la representación: ofrece nombres a puros espectros, forma parejas y hasta filas de ellos (las “leyes naturales” de la ciencia). Y estas cadenas causales *tienen sentido pues solo hay sentido allí donde hay causalidad*: el sentido de un fenómeno físico consiste precisamente en remitir a otro fenómeno. *Todo sentido consiste en una remisión semejante*. Cuando se pregunta, por ejemplo, ¿qué es este fenómeno?, la causalidad responde “aquello producido por este otro fenómeno”, o “aquello que produce a tal otro”. Y, como dice Schopenhauer: aquí termina su tarea. Para Schopenhauer, *toda significación opera en este plano fenoménico superficial*. El sentido es siempre un lazo que remite de un fenómeno de la representación a otro. En cuanto *a la realidad*, es decir, a la fuerza, ella *carece de todo sentido pues no hay más que ella misma, y por ende no remite a nada*. Por lo tanto, si entendí bien tu pregunta, se podría responder que, según Schopenhauer, la cadena de causalidades es ella misma la cadena de

sentidos. Y que, por otra parte, no siendo más que la visión de superficie, irreal, de una única fuerza que no tiende a nada, carece ella en su conjunto de todo sentido. Pues la cadena de sentidos (o de causalidades) no es el “efecto” de la voluntad (si lo fuera, ¡tendría sentido!) sino simplemente una representación fantasmagórica de aquella en el espacio, el tiempo y la causalidad.

**J:** Entonces, si no entiendo mal, según Schopenhauer lo que experimentamos es la proyección de esa “voluntad” en el espacio y el tiempo, y lo que entendemos por causalidad no es otra cosa que una “irrupción” de esa voluntad en el espacio-tiempo. Por otro lado, esa “voluntad” en Schopenhauer parece que fuera como un dios desprovisto de todos los atributos divinos, excepto la creación. Estas ideas me producen un eco que asocio con la idea de “la contingencia y la multiplicidad” en el escenario científico que describimos como multiverso. Tal vez, tratando de encontrar un paralelismo con Schopenhauer, su “voluntad” es lo que podríamos denominar en el contexto de esta teoría “contingencia creadora” del multiverso. “Contingencia creadora” que necesita de lo múltiple para crear lo que es fundamental, la conciencia (no solo humana sino animal en términos más generales).

Este verano estuve remando en el lago Gutiérrez, y en el medio del lago dejé que me arrastrara el viento. Si repitiera esta experiencia múltiples veces seguramente el viento me arrastraría a múltiples lugares distintos, diferentes del muelle de donde salí. Pero si existieran múltiples lagos, con sendos remeros, con vientos al azar, seguramente en alguno de ellos nuestro remero llegaría al mismo lugar de donde salió. Esto lo digo porque tal vez si en lugar de “voluntad ciega” pensamos en “contingencia universal”, lo que pensaba Schopenhauer no está tan alejado de lo que nos plantea hoy la teoría del multiverso. También resuenan en mí las ideas de contingencia de Jacques Monod (1910-1976), en su célebre libro *El azar y la necesidad*. Él plantea que la selección natural es un mecanismo de adaptación, pero que la dirección evolutiva de ese mecanismo biológico depende de fuerzas completamente extrañas, como el clima, la geología, los asteroides, etcétera. Esta misma idea básica es la que intenté representar en la figura 78 del capítulo 7, pero puesta ahora dentro del contexto de la teoría del multiverso.

De alguna forma, esta idea de la “voluntad” en Schopenhauer me remite a la cuestión del sentido (o no) del universo. Cuando afirmás que, como lo habían enseñado Hume y Kant antes que Schopenhauer, “la esfera de causalidad es la de las interminables conexiones entre fenómenos físicos, donde no reina ninguna necesidad real y objetiva, donde el mundo es inexplicable y su existencia no es necesaria”, con ello ¿te parece que estos filósofos se refieren al problema del sentido de lo que existe? ¿Qué podrías decirnos al respecto?

**M:** La teoría del multiverso afirma la posibilidad de la coexistencia de infinitos universos heterogéneos entre sí. Dada una cantidad de elementos (“dimensiones”, entre las cuales se encuentran “tiempos”, “espacios”, y otras que ni siquiera podemos imaginar), la indeterminación del número de universos surge de la in-

determinación matemática, es decir, de las infinitas posibilidades *de responder a la necesidad matemática*. Por el contrario, en Schopenhauer, la necesidad matemática –tercera forma del principio de razón suficiente, relacionada con el tiempo y el espacio– *opera únicamente en la representación*, es decir en la conciencia. Esto significa que *es ajena a la realidad de la fuerza*, secreto del universo. Si aprieto el puño, ese gesto puede ser representado de diversas maneras en términos espaciales, temporales y causales. Estas representaciones diversas son por principio infinitas, si aceptamos la posibilidad de infinitos universos. Incluso en alguno de ellos la necesidad matemática tal vez mostrará que este movimiento de mi puño no ha podido tener lugar. *Nada de esto tiene algo que ver con la experiencia del esfuerzo que se ha experimentado, fuerza que constituye el secreto ignorado por todas las representaciones matemáticas y por las consecuencias que arroja el juego de la necesidad matemática*. En resumen, Schopenhauer probablemente diría que podemos representarnos de mil maneras distintas la realidad. Ninguna de ellas *es* la realidad. Pues la realidad no puede ser representada, sino solo experimentada y esto solo parcialmente, ya que la voluntad es –salvo en la restringida superficie que ilumina la conciencia humana– inconsciente.

Sin duda, está aquí en juego el sentido de lo que existe, pero, ante todo, el sentido de lo que significa “existir”. En los tres casos que mencionás, la perspectiva del filósofo es sin embargo diferente. Para Hume, solo “existen” percepciones de la “mente”. Para Kant solo “existen” fenómenos.<sup>83</sup> Para Schopenhauer, en cambio, solo “existe” el “en sí” (que él comprende como una fuerza única, absoluta, sin lazos, sin relaciones), que carece de todo sentido; por el contrario, el mundo fenoménico es un espejismo, algo como el espectáculo ilusorio que el en-sí produce al reflejarse en un espejo y refractar su imagen a través del tiempo y el espacio. De esta forma, Hume y Schopenhauer coincidirían en que el mundo fenoménico posee un sentido, pero este sentido (pues el sentido se funda en que una cosa remite a otra) carece de todo sentido (que podamos conocer). Kant, contrariamente a Schopenhauer, refiere el mundo fenoménico a un en-sí incognoscible pero –dado que en el fondo es un pensador religioso– este en-sí está cargado sin duda de significación divina (como lo sugiere en su *Crítica de la razón práctica*, segundo libro de su célebre trilogía). Si el hipotético en-sí kantiano careciese de esa implícita referencia a la divinidad, el mundo fenoménico carecería, como en Schopenhauer, de todo sentido último.

**J:** De alguna manera, esta oposición de visiones acerca del problema del sentido (Hume/Schopenhauer/Kant) podría tener un correlato en las discusiones que hoy podemos ver en los foros científicos entre aquellos que defienden un sentido úl-

---

**83** Sobre el “en sí”, en cambio, no es posible formular ninguna proposición y este en sí es solo una condición lógica hipotética necesaria para poder comprender los fenómenos, es decir, aquello que “existe”. Pues “existir” significa para el hombre aparecer en el espacio, en el tiempo y como efecto de una causa.

timo de lo que existe, que se refleja en el orden de los fenómenos y sus relaciones causales (teoría del diseño inteligente), y las posiciones más radicales, que proponen la inexistencia de una causa divina, y por lo tanto la contingencia absoluta, como es el caso de Victor Stenger (1935-2014).

Siguiendo con el problema de la contingencia, cuando nos contabas que “el pensamiento de Schopenhauer expresa por primera vez en la cultura occidental bajo un modo sistemático el asombro ante un “ser no-necesario” y que “si el mundo fuese necesario poseería alguna significación; sin embargo, la ausencia de necesidad lo vuelve absurdo”, ¿creés que el absurdo se refiere a la ausencia de un sentido absoluto de lo que existe?

**M:** En efecto, como vos bien lo decís, el absurdo del mundo, al menos en Schopenhauer, refiere a la ausencia de un sentido *absoluto* de lo que aparece. Todo sentido es relativo, en tanto que congénitamente emparentado con la causalidad consiste en el modo en que un fenómeno refiere a otro. Lo que aquí falla es el sentido de la totalidad de referencias. ¡El sentido del sentido! Los fenómenos, al igual que en Kant, tienen una significación relativa: unos refieren a otros y lo hacen, entre otras cosas, en virtud del principio de causalidad que estructura nuestra representación. Sin embargo, tomados en su conjunto, es decir, tomada la larga cadena de referencias que es el mundo, esta no “refiere” en Schopenhauer a nada, no siendo sino el dibujo fantasmagórico que la voluntad –una fuerza totalmente ajena a cualquier sentido– proyecta sobre fondo de tiempo, espacio y causalidad. Como en un caleidoscopio, las infinitas formas que aparecen son las caras de un mismo y único fondo que no cambia ni cambiará. El pesimismo de Schopenhauer tiene una doble justificación: por un lado, la existencia fenomenal carece de sentido, es un simple hecho y ni siquiera un... verdadero “hecho” dado que es, como en las antiguas religiones de la India, pura ilusión. El universo no viene ni va a ningún lado: las figuras que se forman en la superficie, es decir en la conciencia, cambian ilusoriamente pues son los dibujos de lo que desde siempre y para siempre está fijo. Hasta la muerte individual es una tragicomedia: la muerte no mata realmente pues ni siquiera estamos realmente “vivos”: la muerte borra un dibujo y “nos” (la individualidad es ilusoria) lleva a un estado que ya “conocemos” pues, antes de nacer ya “hemos” estado en él un tiempo infinito y permaneceremos – con la muerte– en él ¡otro tanto!

**J:** Parece haber en Schopenhauer un pesimismo existencial con el cual no puedo dejar de sentirme personalmente identificado. A mí la idea del “absurdo de lo que existe” me remite en términos también personales a Camus y su filosofía del absurdo, es decir, a un universo sin sentido, y al desafío de cómo encontrar un sentido particular en nuestra existencia. ¿Te parece posible extraer en términos filosóficos algún juicio sobre el “sentido de lo que existe” de la historia de la evolución del universo?

**M:** Si permanecemos en el horizonte filosófico de Schopenhauer, que, al situar la realidad en la fuerza irrepresentable, es quien dentro del pensamiento clásico me ha parecido aportar la última gran transformación, la historia –comprendida como unidad teleológica (finalística) de hechos que van hacia algún lado– no existe. En los monoteísmos –y según Hegel el cristianismo es el “inventor” de la historia como unidad orientada de hechos que comienza en el paraíso y concluye en el paraíso– el punto de partida se sitúa en la eternidad, i. e, fuera del tiempo (el paraíso es ese estado de gracia previo a nuestra “caída” en el tiempo), y la historia es la historia de la redención (es decir, ¡del retorno a la eternidad, punto de partida!). El pensamiento de Schopenhauer –profundamente ateo– *aborrece toda explicación teleológica*: para él, siempre se esconde en las explicaciones finalísticas alguna intuición religiosa, alguna buena intención de salvación. Volviendo a tu pregunta, en Schopenhauer no hay ninguna “evolución”. La idea misma de evolución esconde para él una comprensión finalística de las cosas en la que está implícita la figura de un modelo ideal de acabamiento (que puede estar al comienzo o al final de la “historia”, poco importa), respecto del cual se valoran los hechos como “progresos” o “regresiones”. Este modelo ideal puede ser la felicidad humana, la disminución de las penurias ligadas a la necesidad de asegurar la reproducción mediante el trabajo, la prolongación del tiempo de vida, la minimización del sufrimiento, etcétera. Nada de esto tiene el menor sentido para una filosofía que, como la de Schopenhauer, podría resumir su visión trágica del hombre diciendo (la frase no es de Schopenhauer sino mía, pero creo que vale): *un día nunca habremos sido. Y esto es válido para hombres y cosas*. No hay para Schopenhauer, por lo tanto, ninguna historia, ninguna evolución, ningún progreso.

Si dejamos el dualismo schopenhaueriano (el mundo dado en su realidad interior como fuerza y a la vez dado ilusoriamente como representación en el tiempo y el espacio), y comprendemos el universo hegelianamente (el mundo como una conciencia que persigue su total conocimiento de sí) será desde luego posible dar un sentido –y bien optimista– al espectáculo que tenemos ante los ojos y en él a nuestra propia existencia: la historia existe y es la de una marcha hacia la racionalidad absoluta, hacia la comprensión de la total unidad entre el sujeto y el objeto, entre el espectador y el espectáculo, entre el hombre y el mundo. La historia es en Hegel la historia de ese proceso de autoclarificación de la “conciencia”, la historia de una toma de conciencia. En el panteísmo de Hegel, la historia del universo es algo así como la de un dios que se está haciendo y que solo se volverá plenamente real al término de este proceso. ¡Todo esto le olía a buena intención y religiosidad al pobre Schopenhauer que dictaba clases en la Universidad de Berlín a cuatro alumnos en la sala de al lado de la de Hegel –el mayor filósofo de su época–, ¡que disertaba ante unos quinientos estudiantes y profesores llegados desde toda Europa a escucharlo!

**J:** Tratando de entender las diferencias que señalás entre el pensamiento de Schopenhauer y el de Hegel, tal vez podríamos quedarnos con el pesimismo exis-

tencial del primero y una versión moderada y contingente del optimismo racionalista del segundo. Un universo completamente azaroso, donde contingentemente apareció la conciencia (y en esto coincidiríamos con Schopenhauer), por lo tanto sin sentido. Sin embargo, la irrupción azarosa (en términos evolutivos) de la conciencia humana parece establecer un escenario nuevo, donde podemos avanzar en el conocimiento racional del universo, y en esto estaríamos de acuerdo con Hegel. En esta atrevida (por torpe) reinterpretación, y contrariamente a Hegel, nuestro “dios” sería la “contingencia creadora de lo múltiple”, totalmente ciega y sin sentido. Creo que este escenario es bastante compatible con la teoría del multiverso.

He intentado enfatizar la idea de un escenario natural totalmente contingente, en la primera parte del libro. Ese largo y tortuoso camino que nos llevó desde el Big Bang hasta la aparición del hombre ha sido un camino esencialmente azaroso y por lo tanto podríamos decir que carente de sentido (a menos que consideremos la posibilidad de un Dios jugador), y en consecuencia la idea de una “historia de la complejización de lo que existe” es solo una ilusión, originada en nuestra única trayectoria dentro del conjunto de trayectorias posibles del “panorama cósmico” (*cosmic landscape*). Esta idea de una “contingencia absoluta” como generadora de lo que existe, ¿te parece razonable filosóficamente hablando?

**M:** Schopenhauer sería seguramente el primero y uno de los pocos filósofos en la “historia”... que adheriría sin reservas a tus conclusiones y, de haberte conocido, probablemente te hubiese citado provechosamente en su *El mundo como voluntad y como representación*. Para que ambos estuviesen totalmente de acuerdo, habría que aclarar que para él la contingencia no es la de que *las cosas sean como son*, es decir, que *tengan tales o tales otras propiedades*, o la de que el mundo sea como es, sino ante todo, *la de que... sean*. Pero creo que es también tu punto de vista. Sobre semejante fondo de contingencia y ausencia de sentido es totalmente lógico considerar como ilusoria cualquier idea de “complejización de lo que existe”. Y en esto, ¡me parece que tu pensamiento coincide nuevamente con el de Schopenhauer!

**J:** Sí, efectivamente, mi impresión es que una vez que un fenómeno existe, este está sujeto fundamentalmente (pero no exclusivamente) al azar. Por azar entiendo fundamentalmente la acepción del diccionario que dice “sin rumbo ni orden”. Es decir, una vez que algo existe, puede transitar su existencia eligiendo uno de los múltiples caminos de lo posible. Pero la contingencia es algo más profundo, el diccionario la define como la “posibilidad de que algo suceda o no”, es decir es la posibilidad de que algo “sea o no sea” con posibilidades similares. La idea de un universo contingente es mucho más clara cuanto más nos acercamos al Big Bang, cuando estamos a tiempos cercanos al de Planck ( $10^{-43}$  segundos del comienzo), la posibilidad de que el universo podría no haber existido se agiganta. A medida que recorremos el camino desde el comienzo hacia el presente, nos acostumbramos

a la idea de existir, y la conmoción de la contingencia me parece que es reemplazada por el asombro producido por el azar. La contingencia del multiverso creó lo múltiple, y en ese escenario donde lo múltiple opera aparece el azar, no ya como una elección entre “ser” o “no ser”, sino como la posibilidad de “ser de una forma” o “ser de otra”.

Ahora, hablando en términos más personales, lo que me angustia de la contingencia es que nos manda al tacho cualquier idea sobre el “sentido general de la existencia”. Haciéndote una confesión personal, ya adentrado en una crisis de ateísmo, una de las razones que me lanzaron en busca de las primeras lecturas sobre astrobiología fue la de intentar encontrar un “sentido superior” a las relaciones causa-efecto específicas en un campo disciplinar concreto. Creyendo que iba a poder encontrar algún sentido en esa historia me lancé a estudiarla para ver si desde ese “sentido general” podía encontrar algún “sentido particular de mi existencia”. Y curiosamente, lo que encontré fue todo lo contrario: ese conjunto de relaciones causales me llevaron hacia la contingencia. Pero aun entendiendo que el universo puede no tener sentido, lo que me angustia aún más es la idea de que nuestra existencia personal no tenga sentido. ¿Qué nos puede decir la filosofía acerca de la relación entre el “sentido general” de lo que existe y el “sentido particular” de nuestra existencia como hombres?, ¿son independientes?, ¿es mejor resignarse a no intentar relacionar ambos sentidos? ¿Cómo resignificar nuestra muerte personal en este contexto?

**M:** En la oposición que presentás como la del “sentido general de lo que existe” y el “sentido particular de nuestra existencia” pareciera ya estar tomada una decisión implícita: la de comprender la experiencia humana como parte de la totalidad y por lo tanto, a partir de esta totalidad (i. e, enmarcar el “sentido particular” en el cuadro de un “sentido superior” o “general”). Ahora bien, lo que se debe al movimiento iniciado por Descartes es haber mostrado (aunque en él sucede todavía de modo inacabado) la precedencia de ese “sentido particular” por sobre el “sentido general” de la existencia. En Kant (que muestra cómo el sentido de ser “fenómeno” que posee la naturaleza, es decir, de aparecer y ser conocida, *depende de una conciencia que le da sentido, y ante todo le da el sentido de ser una “naturaleza”,* un mundo), la primacía del “sentido particular” por sobre el “general” –es decir, el del mundo– queda racionalmente establecida. Más cerca de nuestra época, Heidegger, en el siglo xx, muestra el “mundo” como un plexo de remisiones, es decir, de sentidos: remisiones, porque cada componente de ese mundo lleva a otro (martillo para clavar, cohete para viajar, viajar para llegar, etcétera), y a su vez toda esa cadena de sentidos que es el “mundo” lleva a un último *sentido respecto del cual todos los otros son tributarios*. Ese último (o más bien primer) sentido es el existente humano: pues toda esa cadena de utilidades es “para mí”. De un modo general, cada época, cada cultura, tiene su “mundo”: una piedra o una gruta determinada que es objeto científico para el paleólogo, es objeto de culto para cierta cultura. El mundo del niño difiere del mundo adulto. El “mundo” de la ciencia está constitui-

do por un conjunto de “paras” que apunta a describir la creación de las cosas en términos de causalidad. El conjunto de “paras” difiere. Pero por otro lado, y esto es tal vez lo más importante, el sentido de este último sentido que es el *existente humano* es lo que se debe conocer primero si queremos comprender un “mundo” determinado, pues todos los otros sentidos remiten a él. ¿Qué sentido tiene, pues, el existente humano? ¿“Existir” significa, en el caso del hombre, lo mismo que el “existir” de un planeta o de una mesa? El hombre tiene “mundo”, la mesa, el planeta, el árbol, no. Para el hombre, “existir” significa, según Heidegger, “ser en el mundo”. En ese sentido, el existente humano es el único existente que tiene “mundo”. Tal vez sea la filosofía de Heidegger la que haya pensado de manera más interesante la cuestión de la muerte, por haberse concentrado en dilucidar el sentido del “existir” del hombre (que es diferente de la simple presencia de las cosas –que son siempre “paras” para el hombre–). Así como en la filosofía de Schopenhauer la muerte no existe realmente (tampoco... la vida, que es un simple remolino de espuma entre dos nada), en el pensamiento de Heidegger la muerte es aquello que da sentido al “existir” humano (insisto, que es distinto de la “presencia” de las cosas, pues estas no tienen mundo y simplemente están presentes). La muerte, en Heidegger, no es el final de un proceso, su término, su cesación, sino –para el existir humano– la *siempre presente* posibilidad *del fin de todas las posibilidades*. Pensar la muerte como un puro final de proceso, como lo hace por ejemplo la biología, es pensar el existir humano como si fuese el de una cosa –como una simple “presencia” ante una conciencia–. La cosa no tiene mundo pues coincide total y macizamente con su propio ser: la mesa es lo que es ante nuestra mirada. En cambio, el “existir” humano consiste en tener que llevar a cabo su ser; tenerlo a distancia y cargarlo como una mochila: *ek-sistir*, significa etimológicamente, ¡estar fuera de sí! (*ek-* es el prefijo griego que indica exterioridad). Así, en rigor, solo el existente humano *ek-siste*; en cambio la cosa “es”, “está presente” (solo interviene en ella la dimensión temporal del presente). En tanto el hombre es el existente que está fuera de sí –en el mundo– y este es su sentido de “ser”, *la dimensión temporal del futuro le es constitutivamente fundamental*: para el hombre, el sentido de su presente siempre proviene de un “proyecto”, es decir, ¡de su futuro! Esto es una tiza porque voy a escribir con ella y lo haré para dar una clase, y la daré para..., etcétera. Así, el sentido del presente se constituye siempre a partir de un futuro que encuentra y significa lo dado en la percepción presente, y que a la vez se anuda con lo ya dado en el pasado para resignificarlo. En tanto la muerte es para el existente humano el fin de todas sus posibilidades, el fin de su “mundo” y de su estar-en-el-mundo, ella es algo como el muro contra el que rebotan siempre nuestros proyectos y volviendo del futuro *dan sentido y a la vez... sinsentido* a nuestras elecciones y acciones. Estamos lejos, como ves, de concebir la muerte como el término de algún proceso de tipo causal. No duda Heidegger de que esta cesación de funciones pueda explicarse como efecto de una causación, pero, nuevamente, decir qué procesos causan la muerte (agotamientos de, excesos de, desorden u orden excesivo, etcétera) no significa en absoluto comprender *qué sentido tiene para la existencia humana*.

Estamos nuevemante ante el límite de la causalidad que había marcado Schopenhauer: ¿saber qué produce la muerte no es lo mismo que comprender qué significa! Y en esta crítica de la causalidad –por su incapacidad de ofrecer un “sentido” o una “significación”– estaría Heidegger totalmente de acuerdo con Schopenhauer. Si la muerte nos interesa es porque angustia, porque ella resulta incomprensible para una existencia que solo conoce la existencia. Y ninguna explicación que ate procesos objetivos entre sí para dar cuenta de ella (de la muerte) satisface nuestra inquietud por comprender su significado (ni, correlativamente, el de la vida): si nos atenemos a Heidegger, lo que nos interesa al intentar comprender el sentido de la muerte es, en definitiva, comprender el sentido de la *existencia* humana que es, en suma, lo único que conocemos.

Hay, en la historia de la filosofía, muchas perspectivas excitantes sobre la cuestión de la muerte, pero globalmente se puede decir que, hasta el siglo XIX, cuando se pensaba al hombre como una cosa (divinamente enlazada con Dios) entre cosas, la muerte era concebida como lo hace la ciencia: como el fin de un proceso objetivo. Tal vez la posibilidad de pensar su lazo con la angustia, es decir con la conciencia de la finitud de la existencia, permanecía –en ese contexto religioso– opacado por la supuesta garantía de la resurrección.

**J:** Me gusta la imagen de pensar la muerte como el muro que nos devuelve el sentido de nuestra existencia personal. De hecho, en el capítulo 7, cuando planteaba mis impresiones más personales sobre el sentido de la existencia, quise transmitir la idea, un poco trivial, de que la muerte es un elemento de profunda igualación humana, de “hermandad ante la tragedia” tan poderoso como la idea de que somos hijos del mismo Dios. Creo que vivimos en una sociedad acostumbrada a vivir con la violencia de la muerte (por la experiencia real de la inseguridad y la guerra y por la experiencia virtual de los medios de comunicación), pero que no está acostumbrada a pensar, meditar, aceptar y sufrir por la idea de que cada uno de nosotros va a morir. Es lógico, yo a veces fuerzo la imaginación para verme en un cajón, rodeado de quienes me quisieron y yo ya no podré querer más y me frunzo hasta lo más íntimo. Pero después, esa angustia se transforma y me lanza nuevamente hacia adelante, a “existir en el mundo con algún sentido”. En relación con la “opacidad” que muchas religiones generan sobre la angustia del existir (tal vez sea una de sus funciones principales), pensaba en el profundo acto de valor que tiene que tener alguien que no cree en Dios para entregar su vida sabiendo que no hay nada más. Imaginaba el caso de Juana de Arco y el caso de algunos existencialistas que pelearon en la Resistencia (Monod, Camus). Me imagino que Juana de Arco estaba convencida de que su muerte era parte del camino hacia Dios; para Monod y Camus la muerte era el final de todo, estaban plenamente convencidos de que si los nazis los descubrían morirían, sin embargo pelearon, me animaría a decir irreverentemente, de forma más valiente que Juana de Arco, porque pelearon sin una esperanza trascendente, pelearon por la libertad de todos, aun sabiendo que esa libertad podría costarles la existencia.

Ahora, cambiando radicalmente el tema y volviendo a una cuestión más abstracta, vos nos contabas la diferencia entre los fenómenos “ónticos” (los entes) y los fenómenos “ontológicos” (el tiempo y el espacio). Desde una perspectiva filosófica pareciera que los fenómenos ontológicos aparecen como necesarios para el despliegue de los fenómenos ónticos. Ahora bien, esta diferenciación entre el espacio y el tiempo, y el resto de los fenómenos que en estos se manifiestan, ¿cómo se puede conciliar con lo que nos enseña la teoría de la relatividad sobre el efecto que los cuerpos con masa (por ejemplo las estrellas) tienen sobre el espacio-tiempo? Si algunos entes pueden afectar al espacio-tiempo parecería que los fenómenos ontológicos no son independientes de los ónticos, y que tal vez la diferenciación de estas categorías filosóficas es una simplificación.

**M:** Arriesgaré a cuenta de posible error personal algunas consideraciones que no suponen en absoluto algún conocimiento serio de la física sino el conjunto de prejuicios del profesor de Filosofía que intenta comprender de qué habla la física contemporánea. La tesis relativista de un “continuo” espacio-temporal y ya no de un “tiempo” (como dimensión autónoma o absoluta del espacio) le sugiere al profano que soy que el “tiempo” ya no refiere a ningún *objeto de experiencia* (ni directo ni indirecto, ni subjetivo ni objetivo). El “tiempo” de la física actual no parece ser el nombre de cierta experiencia recogida a través de algunas de las modalidades que asume la conciencia (por ejemplo, espera, duración, aburrimiento, impaciencia, etcétera). La relatividad ha cambiado la definición misma de lo que hoy debemos comprender por “tiempo”, *no porque se lo haya descrito más adecuadamente revelando caracteres antes no percibidos en él, sino porque sin esta nueva definición no se hace posible comprender ciertos fenómenos observables, es decir, experimentables*. Aquello que es el tiempo, pareciera estar aquí determinado a partir de la posibilidad de dar una explicación causal satisfactoria a procesos de cambio en el espacio. Sin embargo, de no existir alguna *experiencia directa* por el hombre de aquello que la física llama “tiempo” (precisamente a través de los fenómenos de espera, aburrimiento, duración, tiempo más “corto” o más “largo”, etcétera) no sospecharíamos siquiera –recurriendo a la pura observación de cambios espaciales– su existencia. Ahora bien, esto pareciera apoyar la idea de que el tiempo *no puede ser medido* ni directa ni indirectamente, como he intentado mostrar en el capítulo 8: apoyándome en pensadores de la tradición “subjetivista” del tiempo, como Agustín, Kant, Bergson y, en parte o indirectamente, Heidegger. Una *indicación* indirecta sobre el tiempo como la que ofrece el reloj no significa su *medición* indirecta, ni un contacto indirecto con su realidad. La pregunta que me hago es ¿qué está midiendo entonces el físico cuando dice estar midiendo “tiempo”? Conocemos la célebre respuesta de Bergson: dado que el tiempo real, experimentado –la “duración”– no puede ser medido pues es una pura cualidad –la experiencia del flujo de la conciencia–, la medición científica requiere que se lo transforme simbólicamente en espacio: la espacialización del tiempo es encargada a estos mecanismos que llamamos relojes. Y solo esta espacialización simbó-

lica del tiempo permite que se lo transforme en una magnitud, en una cantidad. Lo que se mide con el reloj son siempre coincidencias espaciales. Cuando la aguja llega a este punto y coincide con él, se dice “son las cinco de la tarde”. La observación de Einstein de acuerdo con la cual incluso la simultaneidad es relativa –pues depende del movimiento particular o de la velocidad del sistema de referencia desde el cual se observen los fenómenos (recordemos el célebre ejemplo de la linterna en el medio del tren y las puertas que se abren automáticamente)– no parece más que confirmar que dos hechos que se presentan simultáneamente en el espacio para un observador no se presentan en el mismo espacio para otro. Sobre el tiempo, el reloj no nos da ninguna indicación. Y esto es así, a nuestro especulativo y limitadísimo entender científico, porque tal vez el tiempo sea una dimensión autónoma respecto del espacio, como lo pensaron la física y la filosofía clásicas, pese a todo más cercanas a las *experiencias vividas* del tiempo y del espacio que la construcción relativista.

Cuando hablamos de “tiempo de un proceso” y lo medimos, no hablamos del tiempo sino, en realidad, del desarrollo de un proceso objetivo en el tiempo (por ejemplo, número de emisiones de un átomo de cesio, pues en nada difiere un proceso objetivo cualquiera del de un reloj si no es en su supuesta regularidad. Se podría entonces decir que con el reloj un proceso “en el tiempo” –el del reloj– mide a otro proceso “en el tiempo” y busca simultaneidades espaciales, pero nada nos dice del tiempo).

El problema de fondo en todas estas discusiones es, a mi entender, *el del carácter fenomenológico* del “tiempo”: o bien lo recogemos en una experiencia vivida o bien *lo definimos* a partir de la observación de fenómenos espaciales de tal modo que permita dar cuenta de sus cambios y hasta prever la aparición de nuevos fenómenos espaciales.

El punto de vista que hemos intentado defender es el primero: suponemos que todo lo que sabemos del tiempo arraiga en las experiencias de una conciencia viva. Y es este conocimiento puramente cualitativo y por lo tanto inmensurable el que permite, por simbolización espacial, un cálculo de los cambios en el espacio.

La teoría de la relatividad le aparece al lego que soy como una muestra ejemplar del carácter puramente abstracto de sus conceptos. Una vez demostrada la constancia de la velocidad de la luz en el vacío por el experimento de Michelson y Morley, la revolucionaria tesis de Einstein, de acuerdo con la cual la velocidad de la luz relativa a un observador en cualquier sistema referencial en movimiento uniforme *es siempre la misma* (afirmación que llevó a abandonar el teorema de Galileo de adición de velocidades), hizo necesario que se solucionara la contradicción en que dejó sumido al principio de relatividad (según el cual *todo* movimiento, *toda* velocidad, son relativos) respecto de esta constancia de la velocidad de la luz independientemente de toda referencia. La solución al enigma *consistió en aplicar un dispositivo matemático*, la transformación de Lorentz –para encontrar cuáles son las magnitudes  $x$ ,  $y$ ,  $z$  y  $t$  de un sistema en el otro– pero condicionándola a esta constancia de la velocidad de la luz, obtenida empíricamente. Cuando

el físico dice: el tiempo es relativo –se alarga, se acorta–, el espacio es relativo –se agranda, se achica (o mejor aún, el espacio-tiempo), lo que dice *refiere a las exigencias surgidas de estas ecuaciones de transformación aplicadas bajo la constrictión de salvar la constancia de un fenómeno medido empíricamente (C: la velocidad de la luz)*. En síntesis, la matemática determina entonces *cómo debería ser algo llamado “espacio” y “tiempo”* para que cierto dato empírico se manifieste. Pero el lego ya no entiende qué significan ahora “espacio”, “tiempo” (o, aún menos, “espacio-tiempo”) y “velocidad”, *surgidos de la necesidad matemática y totalmente ajenos a la experiencia vivida*, a partir de la cual, sin embargo, fueron inicialmente concebidos como entidades. ¿Lo entiende el científico? Está claro que estas nuevas entidades no experimentables (aún “menos” que el espacio y tiempo clásicos) permiten realizar cálculos anticipatorios de nuevos fenómenos. También funcionó en sus explicaciones con éxito relativo durante dos mil años ese conjunto de no experimentables que constituyó la metafísica aristotélica.

Por otra parte, pese al carácter absolutamente abstracto que impone a la definición de “realidad” la necesidad matemática, la redefinición relativista de los conceptos fundamentales de la cinemática –espacio, tiempo– necesaria para reconciliar dos principios contradictorios (el de relatividad del movimiento y el de constancia de la velocidad de la luz) no puede dejar de buscar una verificación de sus teorías en el uso del “reloj”: ahora bien, si no nos hemos equivocado, que el tiempo sea uniforme y absoluto –como lo supusieron la física y la filosofía clásicas– o que sea relativo y “personal”, sobre todo esto el reloj no nos informa absolutamente nada, pues nada nos dice acerca del “tiempo”.

Con esta digresión, el lego que soy no intenta en absoluto opinar –¡sería un disparate!– sobre la validez de los resultados a los que llega la ciencia física con sus exitosas investigaciones actuales. El célebre *affaire* Sokal nos ha enseñado acerca de la especificidad de los campos de investigación y nos ha inmunizado contra la tentación de realizar traducciones salvajes de un corpus de categorías disciplinarias –las de la filosofía, por ejemplo– a otro perteneciente a un campo distinto. Pero también nos ha descubierto sin quererlo que esta transgresión puede ser realizada, y muchas, demasiadas veces lo es, por las ciencias “duras” cuando confieren a sus emprendimientos y a sus resultados el valor de estar definiendo la “realidad”. El célebre debate entre Einstein y Bergson de 1922 en la Sociedad Francesa de Filosofía se saldó en un par de acusaciones mutuas: el genial físico acusó a Bergson de no comprender nada de física y este acusó a Einstein de estar pretendiendo hacer de sus resultados una filosofía, es decir, una teoría de la realidad, una metafísica.

Volviendo ahora a la cuestión que planteás acerca de la acción de la masa sobre el tiempo y el espacio (que puede leerse como una crítica de la distinción entre lo óntico y lo ontológico), creo que el conjunto de consideraciones que he hecho sobre lo que “tiempo” y “espacio” significan en un contexto relativista permite sugerir que no se está hablando de lo mismo.

Cuando hablamos de espacio y lo medimos, hablamos de la cantidad de ejemplares de un elemento objetivo (por ejemplo, el ente definido como “metro” patrón, cuya definición actual *pone en juego al tiempo*) que pueden interpolarse de manera yuxtapuesta entre otros dos elementos objetivos (dos planetas, dos átomos, etcétera). Cuando hablamos de masa nos referimos a una magnitud que pone en juego una relación que solo puede definirse *en función de tiempo y espacio* (la balanza solo se desplaza en el tiempo y el espacio).

Las tres magnitudes –tiempo, espacio, masa– *están coimplicadas desde la física newtoniana*: la masa es la medida de la inercia de un objeto, es decir, de la resistencia que opone un cuerpo a modificar su estado dinámico, y esta modificación tiene lugar, es decir, se realiza *únicamente* en tiempo y espacio. El concepto de “masa” está íntimamente ligado al de inercia y también al de aceleración, *que presupone el de tiempo y el de espacio*. Por su parte, la definición actual de “metro” (desde 1983) proviene de considerar la velocidad de la luz, es decir de poner en relación una magnitud espacial con un tiempo determinado (un segundo) y dividir el espacio recorrido por 299.792.458. En esta coimplicación, *el tiempo pareciera ocupar sin embargo una primacía en tanto permite definir las otras dos magnitudes*. El tiempo sigue siendo, por lo que logro entender (y desde luego no tengo ninguna seguridad de estar haciéndolo bien), la condición última que permite pensar el espacio y la masa. El tiempo, como lo afirmaba Kant, pareciera ser aún hoy la condición última de todo fenómeno.

Pareciera haber pues una suerte de precedencia de tiempo y espacio (recordemos que, a su vez, el tiempo es en Kant y luego en Heidegger –en tanto es el “fuera-de-sí” fundamental– *condición del espacio*). De todos modos, el tiempo y espacio en tanto “ontológicos” (i. e., en tanto en relación fundamental con el “ser”) a los que se refieren ambos pensadores no son idénticos al tiempo y al espacio empíricos, al tiempo y al espacio que supuestamente “medimos”.

Cuando la ciencia natural afirma que la masa es un invariante, en la definición de la unidad de masa (el kg) se está suponiendo a título de condición de esta definición fundamental que el sistema se encuentre en reposo, es decir a velocidad cero, es decir, sin cambios en el espacio y en el tiempo. Se me ocurre, pero siempre profanamente, que el objetivo implícito de esta suposición (para mí incomprendible) de inmovilidad absoluta, que contradice los principios del propio pensamiento relativista, tiene la pretensión de eliminar por un instante espacio y tiempo para poder establecer un valor “absoluto”. Cuando, por el contrario, se define el segundo, esta afirmación de inmovilidad no se impone porque se supone –coherentemente con la metafísica de la nueva física– que el reposo absoluto no existe.

**J:** Creo que en lo que nos contás se sintetiza en vos no solo el filósofo, sino tu pasado como estudiante de Física, por lo que me interesa mucho lo que planteás. Y siguiendo con cuestiones filosóficas que se desprenden de la realidad física, otra cuestión que me intriga es cómo entender el “problema del no-ser”, es decir, la

“nada”. Tal vez uno intuitivamente imaginaba la nada como el vacío absoluto (sin materia), pero hoy los físicos nos dicen que aun en el vacío absoluto y como consecuencia del principio de incertidumbre de Heidelberg existen fluctuaciones cuánticas, es decir, pequeños pares partícula-antipartícula de vidas efímeras y que aparecen y desaparecen como el destello de pequeñísimos bichitos de luz. Da la impresión de que si existe “espacio-tiempo” (en términos relativísticos), la nada sería imposible. ¿Cómo encara la filosofía el problema del no-ser? ¿La nada implicaría entonces la ausencia de tiempo y espacio, ya que la mera existencia de  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $t$  implicaría al menos la existencia efímera de partículas?

**M:** Se podría abordar “heideggerianamente” esta cuestión. Para la ciencia –decía el filósofo alemán– hay, o bien entes (es decir, *cosas* que están siendo) o bien nada (es decir, ausencia de cosas), pues para ella, “ser” es sinónimo de “ente”: la ciencia solo está atenta a lo que aparece pero ignora su aparecer, su manifestarse. A esta cuestión nos referíamos bajo el título de “Significación de lo ontológico para el conocimiento”. Lo que intenta mostrar Heidegger es que el ser no es *ni una ausencia de ente ni un ente sino el aparecer (del ente) que la ciencia ignora*. En la ciencia, dado que esta solo ve o bien entes o bien ausencia de entes (que ella llama “nada”), el ser es ignorado pues no cabe en su distinción y, así, es considerado como nada. Pero esta nada peculiar que es el ser, dice Heidegger, no es la simple negación lógica ni la privación de entes sino precisamente *aquello que les permite a los entes manifestarse*, es decir, *su ser*. Esto que, por no ser un ente para el científico “no es nada”, tampoco es una de las “propiedades” que tienen los entes. En efecto, la existencia, el hecho de aparecer, de ser, no es equiparable al color rojo, al tamaño o al sabor de una cosa. Y si bien todas las cosas difieren en sus propiedades, tienen en común *que todas aparecen, “son”*. Pues bien, de esto que para la ciencia es una pura nada –que no es ni una cosa ni una propiedad de la cosa– ella no se ocupa en absoluto. ¿Es un “fenómeno”? No verdaderamente, si por fenómeno se entiende aquello que aparece, es decir, el ente. Sin embargo, se puede decir que esto que la ciencia ve como una nada y que por lo tanto ignora *es la fenomenalidad del fenómeno, su aparecer, su ser*. Evidentemente, cuando se habla de partículas de vida efímera al comienzo no se está hablando, en rigor, de una nada, ni en el sentido ontológico ni en el sentido óptico, sino de *un... pequeño y efímero algo*: ¡seguimos en el dominio del ente! La causalidad, en su trabajo regresivo, va de ente en ente y a término no puede encontrar más que un ente. ¿Cómo encontraría y exhibiría una verdadera nada?

**J:** Mario, volviendo ahora sobre lo que escribiste en el capítulo 8, muy claramente nos planteabas que una de las tentaciones del cientificismo es su fascinación por el objeto, ignorando el fundamento subjetivo, viviente, de toda objetividad. Nos proponías el ejemplo de que la realidad de la luz no es la onda electromagnética, sino, por el contrario, la realidad de la onda electromagnética es la luz. ¿Cómo te parece que podemos luchar contra esta tentación del cientificismo, que tal vez se

origine en un mandato tan riguroso como probablemente imposible para los científicos, como es el de la “objetividad absoluta”?

**M:** Lo que me parece que está en juego en el fondo de este problema es la significación de aquello que somos, y por consiguiente también de aquello que nos rodea. Creo que el significado de aquello que somos no podrá ser establecido por ningún progreso en cuanto a la comprensión de conexiones entre fenómenos objetivos. Todas estas “conexiones” presuponen ya nuestra existencia, que no es algo “objetivo”, es decir, representado o representable sino, ante todo, algo vivido. Por este motivo, a mi entender, la vida es “el” fenómeno por excelencia a partir del cual hay que partir si se quiere comprender el resto. Pero no la –imposible– vida “objetiva”, hecha de conexiones causales entre partes exteriores entre sí que tienen lugar en el tiempo y el espacio, sino la vida como vida vivida, es decir, experienciada. A esta vida, que es lo que somos inmediatamente –un conjunto de poderes, desplegados por un “sí mismo” (poder mover las manos, poder pensar y hacer ciencia, poder angustiarse, etcétera)– la he llamado aquí –siguiendo a Michel Henry– “vida fenomenológica” para distinguirla de la vida “biológica”. Soy personalmente muy pesimista respecto de las posibilidades de crear una conciencia transformadora acerca del objetivismo (y de sus consecuencias). La cultura ha escogido desde hace siglos el camino del mundo, es decir, de la objetividad: su “fenómeno” a elucidar es el mundo, y el hombre mismo le aparece como un fenómeno mundano.

**J:** Entonces, cuando afirmás que “pensar la vida significa buscarla fuera de la objetividad y del plano de la luz donde se manifiestan los cuerpos objetivos, aquello que llamamos el mundo”, ¿no sería adecuado distinguir entre “la vida” como fenómeno natural y por lo tanto objeto de estudio científico y filosófico, y “la vida” como experiencia personal encarnada, inabarcable para la ciencia, y sobre la que la ciencia se sustenta? (no hay ciencia sin hombre de carne y hueso)?

**M:** Estoy totalmente de acuerdo, Javier, con tu distinción. Sin embargo, me resulta difícil concebir algo como una vida “natural”, es decir, objetiva. Lo que hay son fenómenos objetivos en los que *únicamente un viviente puede reconocer* que funge una vida (que siempre es interioridad respecto de ella misma: un sufrirse, un padecerse, una carga, un conjunto de poderes, un sí mismo, etcétera). No es por ser objetivos sino por ser vivientes que hacemos ciencia y descubrimos la “objetividad”, es decir, que hay algo puesto ante nosotros que puede ser compartido por todos, medido, calculado, etcétera. Comparto desde luego que no hay ciencia sin hombre de carne y hueso. Pero tanto la carne como el hueso aparecen, “son”, y reciben la significación de ser una “carne” y un “hueso”, *en la vida*, que es una pura experiencia pática. Si fuésemos seres puramente “objetivos”, como la mesa, las ideas o las nubes, seres cuya realidad consistiese en una yuxtaposición de partes en la exterioridad de unas respecto de otras, no seríamos vivientes, no sabríamos nada sobre el fenómeno del “vivir”. Cómo y por qué la vida fenomenológica, la

vida que vivimos y somos, siempre aparece también asociada a un cuerpo objetivo que puede ser percibido por ella y estudiado por la ciencia sigue siendo, al menos para mí, un misterio.

**J:** Mario, finalmente quería agradecerte la generosidad que tuviste al participar de esta aventura. Disfruté mucho todas las charlas y el trabajo que hemos llevado a cabo juntos, que me entusiasmaron mucho no solo acerca de lo que la filosofía tiene para decirnos a los científicos, sino sobre todo en términos personales. Espero que los lectores que nos hayan acompañado hasta este punto lo hayan disfrutado tanto como yo.

**M:** Gracias a vos, Javier, por tu invitación a participar de este proyecto, por la estimulante pertinencia de tus cuestionamientos y por mi iniciación en los misterios de la astrobiología.

## **La roca y la montaña**



¿Quién te habrá dejado en la montaña sobre el filo del sendero?

¿Habrá sido un glaciar ciego o el sudor de un hombre lúcido?

Ningún caminante podría distinguir la diferencia.

Probablemente a casi ningún hombre le interesaría la diferencia.

Sin embargo, habrá tal vez al menos uno para quien tendrás un sentido.

El Sísifo que puede haberte llevado hasta las alturas, no sé si por castigo de los dioses, o por azar ciego del universo.

Para ese Sísifo el camino de subida seguramente estuvo cargado de dolor y cansancio, pero también de sentido y tal vez de alegría.

Busquemos nuestra roca y nuestra montaña.

Carguemos con su peso y esforcémonos por subirla.

Y al final de la jornada, solo al final, tal vez estaremos contentos de haberlo intentado.

J. M. M.



La Colección Entrecruzados presenta libros que reflexionan sobre temas científicos de orden general, con la particularidad de ser abordados desde al menos dos disciplinas (es decir, al menos dos autores), que establecen un enfoque complementario del conocimiento.

---

Un diálogo entre las ciencias naturales y la filosofía alrededor de las ideas de: creación, naturaleza, tiempo, espacio, materia, causalidad, vida y, finalmente, el hombre. En la primera parte, el científico presenta, en un nivel de divulgación, las ideas fundamentales sobre el origen y evolución del universo; aparece un escenario en el que la contingencia, primero, y el azar de lo que existe, después, funcionan como el principal mecanismo creador. En la segunda parte se explican y desarrollan las ideas metafísicas detrás de las ciencias naturales y se desnuda un esqueleto de ideas e hipótesis habitualmente invisible para el científico: el filósofo nos cuenta una historia del conocimiento y de la transformación de las ideas metafísicas poniendo un especial acento en la relación entre el viviente (en particular el hombre) y la naturaleza. Finalmente, el científico y el filósofo se encuentran en un diálogo en el que repasan las ideas más destacadas del texto.

Universidad Nacional  
de General Sarmiento 



Libro  
Universitario  
Argentino

ISBN 978-987-630-332-3



9 789876 303323