



naturaleza
y libertad
revista de filosofía

Para la publicación de este número se ha contado con la ayuda
financiera de las siguientes instituciones:
**Departamento de Filosofía y Lógica y Filosofía de la Ciencia
de la Universidad de Sevilla**
Asociación de Filosofía y Ciencia Contemporánea. Madrid

EL AJUSTE FINO DE LA NATURALEZA.
REPLANTEAMIENTOS CONTEMPORÁNEOS DE LA
TEOLOGÍA NATURAL

Número Monográfico de
NATURALEZA Y LIBERTAD
Revista de estudios interdisciplinarios

Número 5

Málaga, 2015

Esta revista es accesible *on-line* en el siguiente portal:

<http://grupo.us.es/naturalezayl>

Naturaleza y Libertad

Revista de estudios interdisciplinarios

Número 5 ISSN: 2254-96682014

Directores: Juan Arana, Universidad de Sevilla; Juan José Padial, Universidad de Málaga; Francisco Rodríguez Valls, Universidad de Sevilla.

Secretario: Miguel Palomo, Universidad de Sevilla

Consejo de Redacción: Jesús Fernández Muñoz, Universidad de Sevilla; José Luis González Quirós, Universidad Juan Carlos I, Madrid; Francisco Soler, Universität Dortmund / Universidad de Sevilla; Pedro Jesús Teruel, Universidad de Valencia; Héctor Velázquez, Universidad Panamericana, México.

Consejo Editorial: Mariano Álvarez, Real Academia de Ciencia Morales y Políticas; Allan Franklin, University of Colorado; Michael Heller, Universidad Pontificia de Cracovia; Manfred Stöcker, Universität Bremen; William Stoeger, University of Arizona.

Consejo Asesor: Rafael Andrés Alemañ Berenguer, Universidad de Alicante; Juan Ramón Álvarez, Universidad de León; Avelina Cecilia Lafuente, Universidad de Sevilla; Luciano Espinosa, Universidad de Salamanca; Miguel Espinoza, Université de Strasbourg; Juan A. García González, Universidad de Málaga; José Manuel Giménez Amaya, Universidad de Navarra; Karim Gherab Martín, Urbana University, Illinois; Martín López Corredoira, Instituto de Astrofísica de Canarias; Alfredo Marcos, Universidad de Valladolid; María Elvira Martínez, Universidad de la Sabana (Colombia); Marta Mendonça, Universidade Nova de Lisboa; Javier Monserrat, Universidad Autónoma de Madrid; Leopoldo Prieto, Colegio Mayor San Pablo, Madrid; Ana Rioja, Universidad Complutense, Madrid; José Luis González Recio, Universidad Complutense, Madrid; Javier Serrano, TEC Monterrey (México); Hugo Viciano, Université Paris I; Claudia Vanney, Universidad Austral, Buenos Aires; José Domingo Vilaplana, Huelva.

Redacción y Secretaría:

Naturaleza y Libertad. Revista de estudios interdisciplinarios. Departamento de Filosofía y Lógica. Calle Camilo José Cela s.n. E-41018 Sevilla. Depósito Legal: MA2112-2012

☎ 954.55.77.57 Fax: 954.55.16.78. E-mail: jarana@us.es

© Naturaleza y Libertad. Revista de Filosofía, 2015

ÍNDICE

EL AJUSTE FINO DE LA NATURALEZA. REPLANTEAMIENTOS CONTEMPORÁNEOS DE LA TEOLOGÍA NATURAL

| | |
|--|-----|
| Miguel Acosta (U. CEU S. Pablo), <i>Neuroteología. ¿Es hoy la nueva teología natural?</i> | 11 |
| Javier Hernández-Pacheco (U. Sevilla), <i>Filosofía y ciencia. Propuesta de una solución hermenéutica al problema de su discontinuidad</i> | 53 |
| Alejandro Llano (U. Navarra), <i>Metafísica de la Creación</i> | 67 |
| Martín López Corredoira (I. A. Canarias), <i>Ajuste fino: Nueva versión del mito del Dios-relojero para tapar agujeros en el conocimiento científico</i> | 83 |
| Miguel Palomo (U. Sevilla), <i>¿Necesitamos una teología natural ramificada?</i> | 95 |
| Francisco Rodríguez Valls (U. Sevilla), <i>¿Por qué no el paradigma teísta? Un diálogo con La mente y el cosmos de Thomas Nagel</i> | 107 |
| Francisco Soler Gil (U. Sevilla), <i>¿Es el ajuste fino del universo una falacia? Apuntes sobre el debate entre Victor Stenger y Luke Barnes</i> | 119 |
| José María Valderas (Barcelona), <i>Ajuste fino y origen de la vida</i> | 133 |
| Héctor Velázquez Fernández (U. Panamericana, México), <i>¿Es el cosmos realmente un objeto?</i> | 239 |
| Juan Arana (U. Sevilla), <i>De ajustes finos, tapones cognitivos y diferencias ontológicas</i> | 257 |

ESTUDIOS

| | |
|---|-----|
| Rafael Andrés Alemañ Berenguer (U. Alicante), <i>Del equilibrio al proceso: evolución epistemológica de la termodinámica clásica</i> | 285 |
| Iliá Colón Rodríguez (Madrid), <i>Kant y Darwin. Crisis Metafísica</i> | 315 |
| José Angel Lombo (U. Santa Cruz, Roma), José Manuel Giménez Amaya (U. Navarra), <i>Cuerpo viviente y cuerpo vivido. Algunas reflexiones desde la antropología filosófica</i> | 357 |

SECCIÓN BIBLIOGRÁFICA

| | |
|---|-----|
| Thomas Nagel, <i>La mente y el cosmos</i> , Biblioteca Nueva, Madrid, 2014 (José Antonio Cabrera Rodríguez)..... | 389 |
|---|-----|

AJUSTE FINO Y ORIGEN DE LA VIDA (Fine Tuning and Origin of Life)

José María Valderas
Barcelona

Resumen: El origen de la vida constituye unas de las grandes cuestiones que podamos plantearnos sobre la naturaleza de nuestra existencia. ¿Vivimos en un cosmos biocéntrico y preparado para la aparición de los organismos? Del tema, el llamado ajuste fino, se han venido ocupando la física de partículas, la astrofísica y la cosmología. Se trata de buscar una explicación a coincidencias improbables, no aleatorias. Con dos teorías como eje: la inflación y la relatividad general. Por lo que concierne al origen de la vida propiamente dicho se libra un debate entre los partidarios de “la información primero” y los defensores de “lo primero el metabolismo”, con la tesis del mundo de ARN como síntesis convergente de ambas posturas. Pero, a la postre, carecemos de conocimientos y medios para responder todavía a la cuestión sobre el origen. Se trata de una conjetura no falsable.

Palabras clave: Origen de la vida, ajuste fino, constantes, principio antrópico, multiverso, teleología.

Abstract: The origin of life is one of the biggest of the big questions about the nature of existence. Is the cosmos biocentric and fitted for life? The modern interest in fine-tuning exists primarily in particle physics, astrophysics and cosmology. The physicist's claims for a finely tuned universe are centered on the assertion of improbable non-randomness. When we think of cosmology, we might think of some of its most complex scientific theories, such as inflation or the general theory of relativity. Origin of life research is enlivened by a battle between two main theories. The more established “replicator first” approach holds that life started with a gene-like molecule that could catalyse its own replication. The RNA world hypothesis posits that an early step in the appearance of life, RNA acted both as an information storage molecule and as a ribozyme. “Metabolism first” protagonists argue that the reactions underpinning biochemistry were crucial, a statistical inevitability

arising from the chemistry and the thermodynamics of the early Earth. Replication would come later. In the end, there is no agreement on how resolve the problem of life's origin. Research on the topic is unfalsifiable conjecture.

Keywords: Fine-tuning, Constants, Fitness of the Cosmos, Anthropic Principle, Multiverse, Origin of Life, Teleology.

Recibido: 21/11/2014. **Aprobado:** 10/01/2015.

1. Prenotandos Físicos

De las cuestiones que suscitan mayor interés entre los científicos sobresalen dos: conocer cómo empezó el universo y desentrañar el camino seguido por este hasta la aparición de la vida. ¿Hasta la aparición de la vida o hacia la aparición de la vida? Del origen del universo se ocupa la cosmología; del origen de la vida, la biología. Parece obvio que el segundo dependa del primero: la constitución original del universo y su evolución consiguiente habrían de determinar la síntesis de los componentes de la primera forma viva. Abordarlos empíricamente resulta una tarea ardua. No podemos manipular las condiciones que alumbraron el cosmos y existen limitaciones a nuestra capacidad de observar fenómenos ocurridos hace 13.800 millones de años, en el big bang inicial o en los instantes siguientes. Más preparados nos hallamos para ensayar vías plausibles de la aparición de la vida. Por las repercusiones que esas cuestiones entrañan, la cosmología y la biología constituyen disciplinas fascinantes para el metacientífico.

Corresponde a la ciencia explicar el mundo natural: en qué consiste, cómo opera y por qué lo hace de ese modo. Nos preguntamos por la vida en el espacio porque partimos de un dato de observación; a saber: las propiedades de

nuestro universo han permitido la aparición de la complejidad y el grado en que la presentan los organismos. Obviamente, las múltiples características distintivas de éstos, a lo largo de su escala, a lo largo del árbol de la vida, dependen de su interrelación con el medio. Aquí nos ceñimos a las condiciones de partida para el advenimiento de cualquier forma de vida. Deberán generarse galaxias, estrellas y, probablemente, planetas; deberá producirse una nucleosíntesis estelar que dé origen al carbono, oxígeno, hierro y demás elementos que, en un entorno estable, puedan combinarse para formar las moléculas de la vida¹.

1.1. Leyes fundamentales

Los secretos de la naturaleza se hallan codificados en leyes fundamentales de la física que gobiernan las propiedades y conductas de las partículas elementales. La materia ordinaria consta de átomos formados a partir de electrones, protones y neutrones. A diferencia del electrón, del que no se ha encontrado pruebas de subestructura, el protón y el neutrón sí constan de partículas elementales: quarks y gluones. No podemos aislar quarks ni gluones porque interaccionan entre sí con una intensidad enorme. Para establecer sus propiedades, damos un rodeo; por ejemplo, a través de las propiedades del protón.

El protón es una partícula estable, con masa y carga eléctrica. Se comporta también como un imán sutil de una intensidad dada, o momento

1 J. D. Barrow, S. Conway Morris, S. J. Freeland & C. L. Harper, Jr. (eds.), *Fitness of the Cosmos for Life: Biochemistry and Fine-Tuning*, Cambridge, Cambridge University Press, 2008.

magnético. Este año de 2014 se ha logrado medir, con un grado de precisión sin precedentes, el momento magnético del protón². Lo han logrado utilizando la técnica de la doble trampa de Penning. Los electrones tienen carga negativa y se repelen mutuamente. Poseen también un momento magnético asociado a su espín, lo que significa que ejercen fuerzas magnéticas entre sí. Sin embargo, hasta 2014 no se había medido las interacciones entre espines electrónicos individuales. Ello se debía a que dominaban otros efectos: la mínima separación a pequeña escala entre electrones, el principio de exclusión de Pauli, que impide que dos electrones ocupen el mismo estado cuántico o la interacción eléctrica de Coulomb. Por lo que atañe a una separación mayor, la intensidad de la interacción magnética quedaba reducida y enmascarada por la fuerza que el momento magnético del electrón experimenta en un campo magnético fluctuante. En 2014 se detectó la minúscula interacción magnética entre dos electrones ligados a dos iones separados por unos dos micrometros, utilizando métodos del campo emergente de la sensación cuántica³.

Los parámetros que aparecen en el nivel más fundamental de nuestras teorías actuales sobre partículas elementales son los acoplamientos gauge electrodébil y fuerte g_1 , g_2 y g_3 ; también, las masas y autoacoplamientos de los escalares de Higgs y las constantes de acoplamiento para la interacción entre escalares y quarks y leptones. Las leyes dinámicas de la naturaleza a nivel

2 A. Mooser *et alii*, "Direct high-precision measurement of the magnetic moment of the proton", *Nature*, 509 (2014), pp. 596-599.

3 S. Koetler *et alii*, "Measurement of the magnetic interaction between two bound electrons of two separate ions". *Nature*, 510 (2014), pp. 376-380.

microscópico —relatividad general y modelo estándar de física de partículas— se encuentran constreñidas por principios de simetría (invarianza gauge e invarianza de Lorentz). Los valores específicos de los parámetros numéricos de estas teorías son, en principio, arbitrarios.

En mecánica cuántica, el resultado de una medición es intrínsecamente probabilista; asimismo, el estado de un objeto viene dado por un constructo matemático, un vector en el espacio de Hilbert, y no en términos de posición. Ello no obsta para que los estados cuánticos puedan parametrizarse mediante un conjunto de coordenadas cuya evolución en el tiempo define las trayectorias cuánticas. Se acaba de demostrar, en el año 2014, que existe una interrelación entre la dinámica de la medición, típicamente asociada con el colapso de la función de onda, y la evolución unitaria del estado cuántico tal como lo describe la ecuación de Schrödinger⁴. (Por función de onda se entiende la entidad que determina la probabilidad de diferentes resultados de las mediciones de partículas cuantomecánicas.)

1.2. Modelos

Podemos abordar las propiedades físicas fundamentales de nuestro universo desde que tenía una trillonésima de segundo de existencia. Para ello contamos con dos modelos complementarios: el *modelo estándar de la física de partículas y fuerzas* y el *modelo de concordancia de la cosmología* (llamado también modelo estándar de la cosmología). Ambos modelos describen con éxito

4 S. J. Weber, A. Chantasri, J. Dressel, A. N. Jordan, K. W. Murch & I. Siddiqi, “Mapping the optimal route between two quantum states”, *Nature*, 511 (2014), pp. 570-573.

las observaciones realizadas hasta ahora en el mundo subatómico (con potentes aceleradores de partículas de altas energías) y el mundo macroscópico (con telescopios espaciales y telescopios instalados en tierra)⁵.

Los modelos estándar de la física de partículas y de la cosmología dependen, entre otros parámetros, de la masa de las partículas elementales, la intensidad relativa de las fuerzas fundamentales y la constante cosmológica. Muchos parámetros están acotados por los datos conocidos, lo que no debe sorprendernos, pues los modelos encajan con los datos con una precisión buena y a menudo óptima. Los parámetros especifican el volumen infinitésimo del espacio de fases que define el estado del universo⁶.

El modelo cosmológico estándar del big bang no es una teoría, sino cinco teorías, superpuestas una sobre otra. En la base encontramos una teoría enraizada históricamente en la relatividad general, para explicar el corrimiento hacia el rojo; es la teoría de la *expansión*, que vale también para la radiación cósmica del fondo de microondas. Subamos un peldaño para instalarnos en la tesis de la *inflación*, requerida para explicar el problema del horizonte y el problema de la planitud en el big bang. Por encima, encontramos la hipótesis *de la materia oscura*, que da cuenta de las macroestructuras observadas (galaxias y cúmulos). Hay en el cuarto piso un tipo de descripción de las *semillas*, fluctuaciones cuánticas a partir de las cuales se desarrolla la estructura. Y en el quinto y último piso habita la misteriosa *energía oscura*, necesaria para

5 V. J. Stenger, *The Fallacy of Fine-Tuning. Why the Universe is not Designed for Us*. New York, Prometheus Books, 2011, p. 17

6 V. J. Stenger, *The Fallacy of Fine-Tuning. Why the Universe is not Designed for Us*. New York, Prometheus Books, 2011, p. 18.

permitir la aceleración reciente de la expansión cósmica, indicada por las observaciones de supernovas⁷.

A grandes rasgos, nuestro cosmos, de 13.800 millones de años, ha cubierto tres estadios principales desde el big bang inicial: uno primero de expansión rápida, dominado por la radiación; un segundo de enlentecimiento y enfriamiento como consecuencia de la acción de la gravedad, y un tercero de reacceleración a medida que la energía oscura dominó sobre la gravedad, transcurridos 7500 millones de años desde la gran explosión inicial. El universo empezó siendo una línea horizontal. En su época inicial o era de Planck, que duró unos 5×10^{-44} segundos, la temperatura del universo, entonces intensamente compacto y denso, era de $1,4 \times 10^{32}$ kelvin. De acuerdo con la teoría de cuerdas, pudo haber de 10 a 11 dimensiones, de las cuales solo cuatro se expandieron en nuestro espaciotiempo. Durante ese intervalo predominaron los efectos gravitatorios. No se habían singularizado aún lo que más tarde serían las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza: gravedad, electromagnetismo, fuerza nuclear fuerte y fuerza nuclear débil. (Otras fuerzas son derivadas, como la de rozamiento, que deriva de las interacciones electromagnéticas entre átomos.)

Con las precisas mediciones recientes de la radiación de fondo de microondas, inspecciones del corrimiento hacia el rojo de las galaxias, mediciones más exactas de la tasa de expansión del Universo y una pléyade de observaciones astrofísicas, se ha ido formando un nuevo modelo cosmológico⁸. El

7 N. J. Disney, "Modern Cosmology: Science or Folktale", *American Scientist*, 95 (2007), pp. 383-385.

8 C. L. Bennett, "Cosmology from start to finish." *Nature*, 440 (2006), pp. 1126-1131.

conocimiento se ha apuntalado sobre el corrimiento espectral hacia el rojo de las nebulosas lejanas y la detección del fondo de microondas, radiación fósil que procede de un pasado caliente y remoto. Tales observaciones, enmarcadas en el cuadro de la teoría general de la relatividad, permiten configurar un modelo dotado de capacidad para realizar predicciones y someterse a contrastación. Se habla así de un *modelo de concordancia*, en el que todas las observaciones cobrarían sentido en la explicación de la construcción del universo. Ese modelo recibe el nombre ahora de “Lambda-Cold Dark Matter” (Λ -CDM, por la letra griega empleada para designar la constante cosmológica, y las siglas en inglés de materia oscura fría); consta de 18 parámetros, 17 de ellos independientes. Su triple predicción (planitud aparente del espacio, cantidad de elementos ligeros y edad máxima de los cúmulos estelares más antiguos) se ha visto superada por media docena larga de sorpresas no predichas, incluidas la materia oscura y la energía oscura.

Al espacio con más de tres dimensiones se le denomina hiperespacio⁹. El espaciotiempo es un espacio particular, en el que las cuatro direcciones de un

9 Importa desentrañar el concepto de espaciotiempo, que exige entender el concepto de dimensión. Podemos definir la dimensión como el número de direcciones independientes en que puede desarrollarse un movimiento. El punto tiene dimensiones cero. El desplazamiento del punto forma la línea, unidimensional porque solo cabe movimiento en una dirección. El desplazamiento de la línea atrás y adelante genera un plano, bidimensional. Las dos direcciones del plano son a lo largo y a lo ancho. Cualquier nueva dirección es combinación de esas dos. Si desplazamos un plano arriba y abajo, ocupa un espacio de tres dimensiones, con tres direcciones independientes: longitud, amplitud y profundidad. Si pudiéramos desplazar el espacio atrás y adelante en “otra” dirección, generaríamos un espacio tetradimensional. No lo podemos visualizar, pero resulta muy fácil describirlo matemáticamente. En álgebra se nos

movimiento posible son longitud, amplitud, profundidad y tiempo. El tiempo no es la cuarta dimensión, sino una dirección más del espacio. Los objetos que vemos como tridimensionales en nuestra vida ordinaria aparecerían como objetos tetradimensionales en el espaciotiempo. Así como diferentes personas pueden ver diferentes dibujos bidimensionales del mismo libro tridimensional, diferentes observadores pueden ver distintos cuadros tridimensionales de la misma realidad espaciotemporal. Esos cuadros dispares son las diferentes percepciones de tiempo y espacio de los observadores en distintos marcos de referencia. Por ese motivo, observadores distintos pueden obtener resultados diferentes cuando miden tiempo, longitud o masa, aun cuando todos ellos estén contemplando la misma realidad espaciotemporal. De acuerdo con el enunciado canónico: el espacio es distintos para diferentes observadores y el tiempo es diferente para diferentes observadores, pero el espaciotiempo es el mismo para todos.

1.3. Inflación

Tras la gran explosión, el cataclismo primordial que dio origen a nuestro universo, vino una fase inmediata de inflación, de rápida expansión del espacio, en la que el cosmos creció en un factor de 10^{35} en 10^{-32} segundos. Pasó de ser menor que una partícula subatómica a adquirir el tamaño de un grano

presentan problemas unidimensionales con la variable x , problemas bidimensionales con las variables x e y , y problemas tridimensionales con las variables x , y z . Un problema tetradimensional precisaría una cuarta variable: x , y , z , w . Podríamos continuar con cinco, seis, etc, dimensiones.

de uva. La inflación cósmica habría producido una ingente cantidad de ondas gravitacionales, perturbaciones del espacio tiempo que se propagan a la velocidad de la luz. Tales fluctuaciones habrían constituido las semillas de las estructuras que observamos hoy: galaxias, estrellas, planetas e incluso organismos vivos. Luego del estirón inicial, el universo habría continuado expandiéndose a un ritmo mucho más pausado. La inflación cósmica constituye la mejor explicación sobre la estructura a gran escala del universo. En la expansión del universo operan dos fuerzas principales. La gravedad ejerce una atracción sobre la fábrica de espaciotiempo; la repulsión, o empuje, corre a cargo de la constante cosmológica o energía oscura. En su evolución fueron apareciendo secuencias de estructuras de tamaño creciente.

El big bang fue responsable de la producción de hidrógeno y helio, junto con alguna fracción de litio, los tres elementos más ligeros. Hubo también algo de deuterio, isótopo pesado del hidrógeno. La producción de oxígeno, magnesio, silicio, hierro y azufre —los elementos que componen el 96 por ciento de la masa de la Tierra—no se alcanzó hasta que se amasaron enormes cantidades de material de las estrellas, en cuyo núcleo pudieran darse reacciones termonucleares. La formación de los demás elementos se encuentra estrechamente conectada con la evolución estelar: todos (salvo el berilio y el boro) se sintetizaron en el interior de las estrellas, para ser luego eyectados al medio interestelar, de donde pasaron a incorporarse en una nueva generación de estrellas. Las reacciones de fusión (a partir del hidrógeno y el helio) del interior de las estrellas sintetizan los elementos hasta el hierro. Los elementos más pesados que el hierro no pueden formarse por fusión y se sintetizan en reacciones lentas (procesos *s*) y rápidas (procesos *r*) de captura

de neutrones. Esos dos procesos nucleares son responsables de la formación de elementos más pesados, como platino y oro¹⁰.

Toda la historia de nuestro universo, desde una fracción de segundo después de la gran explosión hasta la actualidad, puede reconstruirse a partir de unas pocas ecuaciones y cinco parámetros independientes. Los cinco parámetros son: la densidad de la materia ordinaria, densidad de la materia oscura, densidad de la energía oscura, forma y amplitud de las fluctuaciones cuánticas. Este modelo Λ -CDM describe cientos, si no miles, de datos empíricos.

En marzo de 2014 los científicos que trabajaban en un telescopio BICEP 2, del Polo Sur, declararon que a través del estudio del resplandor del estallido inicial (big bang) —la radiación cósmica de fondo de microondas— habían obtenido una prueba directa de que el cosmos recién nacido había acometido un brote singular de desarrollo exponencial, una inflación cósmica. Pero, pasados unos meses, los investigadores de la sonda espacial Planck, de la Agencia Espacial Europea, demostraron que la radiación procedente del polvo de nuestra galaxia explica parte y, posiblemente toda, la señal de BICEP¹¹.

10 J. J. Cowan & C. Sneden, “Heavy element synthesis in the oldest stars and the early Universe”, *Nature*, 440 (2006) 1151-1156.

11 A. Cho, “Evidence for cosmic inflation wanes”, *Science*, 345 (2014), p. 1547.

1.4. Principio cosmológico

Cuando consideramos a gran escala el universo, nos parece el mismo, cualquiera que fuere el punto de observación en que nos situemos. Eso afirma el *principio cosmológico*, que dicta que el universo es homogéneo e isotrópico, esto es, presenta la misma distribución básica de materia y energía. El principio cosmológico constituye una aplicación particular del *principio copernicano general* aplicado a la cosmología. Hasta la fecha, el principio cosmológico es coherente con la observación astronómica. Una versión rígida de ese principio, denominada *principio cosmológico fuerte*, sostiene que el universo parecería también el mismo en cualquier momento de su historia pasada o de su futuro. En él se basó la teoría del estado estacionario. Pero las pruebas astronómicas actuales no parecen confirmar esa tesis. Para la cosmología moderna, el Universo cambia con el tiempo y difiere según los observadores de distintos momentos de la historia cosmológica.

1.5. Constantes

Una teoría cosmológica cuántica, en razón de su naturaleza cuántica, realizará predicciones probabilísticas. Predecirá que es muy probable que descubramos que el universo (o sus fuerzas y constantes) adquieran unos valores determinados. En su libro *Just Six Numbers*, Martin Rees reflexiona sobre seis constantes físicas adimensionales cuyos valores son fundamentales

para la teoría física actual y la estructura conocida del Universo¹². Las constantes comprenden un conjunto de magnitudes que, en todo momento, combinadas con la teoría apropiada, permiten explicar el comportamiento de los sistemas físicos, lo mismo a nivel microscópico que a nivel macroscópico. Cualquier teoría física fundamental plausible debe ser conforme con las constantes que vamos a enunciar.

Las constantes fundamentales son adimensionales porque no llevan unidades asociadas, sino que poseen un valor numérico que se mantiene el mismo en cualquier sistema posible de unidades; en cuanto adimensionales, es decir, constantes expresadas en unidades naturales, no pueden deducirse de ninguna otra fuente y pueden medirse solo a partir de la naturaleza. Sostenía Eddington que todas las constantes físicas adimensionales, incluida la de la gravedad, podía evaluarse como simples expresiones matemáticas¹³. Las constantes de la naturaleza podrían ser variables estocásticas que toman diferentes valores en diferentes partes del Universo. Los valores observados de esos parámetros están, pues, determinados por el azar. (En el marco del ajuste fino, los valores de las constantes están determinados por la selección antrópica: son coherentes con la aparición de vida dentro de un intervalo estrecho de valores)¹⁴.

12 M. Rees, *Just Six Numbers: The Deep Forces that Shape the Universe*, London, Weidenfeld & Nicholson, 1999.

13 A. S. Eddington, *Theory of Protons and Electrons* Cambridge, University Press, 1936.

14 A. Vilenkin, "Anthropic predictions: the case of the cosmological constant", en *Universe or Multiverse?* ed. B. Carr, Cambridge, Cambridge University Press, 2007, pp. 163-179.

Constante cosmológica, Λ . En particular, la constante cosmológica constituye un parámetro clamoroso del ajuste fino¹⁵. En efecto, muchos aspectos de la física y la cosmología parecen finamente ajustados para permitir el funcionamiento de la química, la formación de planetas y la aparición de la vida. Si esos aspectos difirieran sustancialmente de los conocidos, no habría vida, ni se hubiera producido ningún proceso de evolución darwinista. De acuerdo con la disciplina de cada uno, así será el énfasis puesto en la importancia de uno u otro aspecto.

Representada por la letra griega lambda (Λ), se supone que la constante cosmológica es la energía del espacio vacío. Lo de vacío ha de tomarse en sentido cuantomecánico: ocupado por el bosón de Higgs, que confiere a las partículas elementales su masa. Cuando los teóricos de campos suman los efectos de esas partículas virtuales pueden determinar la energía total del vacío. Mas cuando lo hacen, obtienen un número que es 10^{120} veces mayor que el valor de la energía oscura observado; por mor de comparación, hay solo 10^{80} átomos en todo el universo visible. Einstein había introducido lambda en sus ecuaciones gravitatorias para apuntalar un universo estático, pero lo eliminó cuando Edwin Hubble descubrió que el universo se hallaba en expansión. Establecida ésta, Einstein se retractó con la frase célebre de que [la introducción de la constante cosmológica] había sido *“the biggest blunder of my life”*. Pese a tal retractación, los cosmólogos siguieron apelando a dicha constante para explicar, por ejemplo, la distribución hacia el rojo de

15 A. P. Lightman, “The Accidental Universe: Science’s Crisis of Faith”. *Harper’s Magazine*, December 22, 2011, p. 5; L. Susskind, *The Cosmic Landscape*, New York, Little Brown, 2006.

los cuásares (que después se supo que se debía a la evolución de la población de cuásares y no a un efecto cosmológico). Hasta ahora la constante cosmológica ha constituido todo un éxito en la explicación de los datos.

La función de la constante cosmológica se puso de manifiesto en un texto seminal de 1984 publicado por James Peebles. La cosmología inflacionaria había introducido y predicho un Universo plano, mientras que las observaciones revelaban que la densidad de materia, incluida la materia oscura, quedaba muy lejos de alcanzar la densidad crítica necesaria para ello. La constante cosmológica colmaba ese hiato. Peebles demostraba que la constante cosmológica conducía a modelos satisfactorios de formación de estructuras. De hecho, el modelo de Peebles era muy próximo al modelo cosmológico estándar actual¹⁶. En 1998 los cosmólogos tomaron conciencia de la importancia de la antigravedad cósmica en el control de la expansión del universo. Las mediciones de Riess¹⁷ y Perlmutter¹⁸ aportaron pruebas sólidas de que la constante cosmológica era mayor que cero.

Cualquier valor distinto del observado hubiera impedido la emergencia del propio universo¹⁹. En 1987 Steven Weinberg partió de la hipótesis de

16 J. Peebles. "Dark Matter and the Origin of Galaxies and Globular Star Clusters", *Appl. J.*, 277 (1984), pp. 470-77.

17 A. Riess *et alii*, "Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant", *The Astronomical Journal*, 116 (1998), pp. 1009-1038.

18 S. Perlmutter *et alii*, "Measurements of omega and lambda from 42 high-redshift supernovae", *The Astrophysical Journal*, 517 (1999), pp. 565-586.

19 "At present, the anthropic upper limit on the vacuum energy is larger than the present mass density, but not many orders of magnitude greater". S. Weinberg, "Living in the Multiverse", en *Universe or Multiverse*, ed. Carr, 32.

multiverso para predecir que nuestro universo observable debía tener una constante cosmológica de valor no cero, de una cuantía suficiente para acomodar la aceleración de la expansión del universo²⁰. (Como acabamos de señalar, la predicción se confirmó diez años más tarde a través de las observaciones de supernovas lejanas por dos equipos de astrónomos, liderados por Perlmutter, Riess y Schmidt.) ¿Cómo es posible que el universo encierre una energía de vacío tan pequeña para permitir nuestra existencia? La respuesta, como ha venido insistiendo Steven Weinberg desde el año 2000, requiere un multiverso²¹. Si la constante cosmológica hubiera sido mayor de lo que es, hubiera impulsado la separación del espacio-tiempo antes de que pudieran formarse planetas, estrellas y, por ende, la vida. Si hubiere sido menor, la gravedad hubiera llevado el mundo naciente a un colapso súbito²². El descubrimiento de la energía oscura obligó a los físicos a *introducir “the elephant in the room”*, es decir, a repensar en el principio antrópico²³. ¿Cómo es posible que el universo encierre una energía de vacío tan pequeña para permitir nuestra existencia? La respuesta, como ha venido insistiendo Steven Weinberg desde el año 2000, requiere un multiverso. Tamaña discrepancia entre

20 S. Weinberg, “Anthropic Bound on the Cosmological Constant”, *Physical Review Letters* 59 (1987) 2607-10.

21 “An anthropic explanation of the value of the value of the ρ_v (la densidad de energía de la constante cosmológica) makes sense if and only if there is a very large number of big bangs, with different values for v .” S. Weinberg, “The Cosmological Constant Problems”, lección impartida en Dark Matter 2000 Conference, Marina del Rey, Calif. February 22-24, 2000, arXiv:astro-ph/0005265v1. El artículo de considerado un texto capital en el campo.

22 L. Susskind, *Cosmic Landscape*, p. 83.

23 L. Susskind, *Cosmic Landscape*, x, p. 22.

teoría y observación es lo que se denomina *el problema de la constante cosmológica*, que algunos consideran el problema más espinoso de toda la física fundamental.

Con la propia constante cosmológica se asocia también el *problema de la coincidencia*: por qué hemos de vivir en una época en que la densidad de la materia oscura y la densidad de la energía oscura vienen a ser casi iguales (en torno a un factor de tres). En todas las épocas anteriores, la densidad de energía oscura habría estado subdominada por la materia y la radiación, mientras que solo en un breve intervalo de tiempo (cosmológicamente hablando) del futuro, la constante cosmológica dominaría por completo, porque su densidad es, por definición, constante, mientras que la densidad de materia se reduce en proporción inversa al volumen. El problema de la coincidencia se resuelve también con el principio antrópico. Para Stenger, en cambio, el cálculo estándar de la constante cosmológica es erróneo y debe ignorarse. Habría posibilidades viables para explicar su valor y, mientras estas no se descartan, deberíamos dejar en suspenso el ajuste fino²⁴.

Constante de estructura fina, N. La constante de estructura fina, $N \approx 10^{36}$, mide la intensidad de la fuerza electromagnética que mantiene unidos átomos y moléculas, dividida por la fuerza de gravedad entre ellos. Si esa razón fuera ligeramente menor que el valor observado, existiría solo un universo en miniatura; no podría haber seres mayores que los insectos, ni habría tiempo para una evolución biológica. Hay solo un intervalo de valores permitido para que la estructura fina posibilite la existencia de observadores en el mundo.

24 V. J. Stenger. *The Fallacy of Fine-Tuning. Why the Universe is not Designed for Us*. Amherst, Prometheus Books, 2011, pp. 282-4.

Constante ϵ . La fuerza nuclear fuerte define la intensidad con que se hallan unidos los núcleos atómicos y cómo se formaron todos los átomos de Tierra. Esta fuerza, que tiene un valor de 0,007, controla la energía del Sol y, con mayor sensibilidad, de qué modo las estrellas transmutan hidrógeno en los átomos de la tabla periódica. El valor de esta constante resulta ser de importancia crítica: si fuera 0,006 o 0,008, nosotros no podríamos existir.

Constante Ω . La constante Ω , cuyo valor se cifra en torno a 0,3, mide la cantidad de materia del universo: galaxias, gas difuso y materia oscura. Indica la razón entre la densidad real del universo y la densidad requerida para que el universo caiga en colapso bajo su propia gravedad. Ω determina el destino último del universo. Si $\Omega > 1$, el universo experimentará una gran implosión, *big crunch*. Si $\Omega < 1$, el universo seguirá expandiéndose siempre. Esa constante designa, pues, la importancia relativa de la gravedad y de la energía de expansión del universo. La velocidad inicial de expansión parece haber estado finamente ajustada.

Constante Q . Las semillas de todas las estructuras cósmicas —estrellas, galaxias y cúmulos de galaxias— se sembraron en el big bang. La fábrica de nuestro universo depende de un número, Q . La constante Q , que vale aproximadamente $1/100.000$ ($Q \approx 10^{-5}$), nos remite a la razón entre fuerza de atracción gravitatoria y energía de la masa en reposo. Resulta crítica a la hora de determinar la textura del universo. Si Q fuera más pequeña, el universo sería inerte y sin estructura; si Q fuera mayor, el universo constituiría un lugar violento, donde no podrían subsistir ni estrellas ni sistemas solares, dominado por inmensos agujeros negros.

Constante D . Existen poderosas razones físicas y matemáticas que explican por qué $D = 3$. El número de dimensiones espaciales macroscópicas es

necesariamente un número natural distinto de cero. Si tuviéramos cuatro dimensiones espaciales y una dimensión temporal, los sistemas planetarios serían inestables y resultaría imposible nuestra versión de la vida. No podríamos existir con solo dos dimensiones espaciales y una temporal.

Constante gravitatoria. Hay también constantes físicas universales dimensionales. Pertenecen a este grupo la velocidad de la luz c , la permitividad del vacío ϵ_0 (epsilon cero), la constante de Planck h , la constante gravitatoria G , e (carga del electrón), m_e (masa en reposo del electrón) o m_p (masa en reposo del protón). Dependen de las unidades empleadas para expresarlas. A partir de las constantes físicas G , h y c , podemos construir un racimo de unidades fundamentales o naturales de masa, longitud y tiempo. El mundo está condicionado principalmente por los valores de las constantes fundamentales α (otro símbolo de la constante de estructura fina), m_p/m_e (la razón de masa del protón a masa del electrón), α_G (gravitación), α_w (fuerza débil) y α_s (fuerza fuerte). Si permitiéramos que la razón de masa del electrón a masa del protón ($\beta = m_e / m_p$) y la constante de estructura fina, α , cambiaran sus valores (suponiendo que ningún otro aspecto de la física cambiaría con ese supuesto, lo que resulta falso) entonces las variaciones permitidas estarían muy acotadas. Si incrementara β demasiado, no habría estructuras moleculares ordenadas porque el valor pequeño de β asegura que los electrones ocupen posiciones bien definidas en el campo de Coulomb creado por los protones en el núcleo. El elenco de constantes fundamentales varía con el autor de la compilación²⁵. El físico experto en hidrodinámica podría razonablemente incluir la viscosi-

25 S. Weinberg, "Overview of theoretical prospects for understanding the values of fundamental constants", *Phil. Trans R Soc Lond A*, 310 (1983), pp. 249-252.

dad y densidad del agua, mientras que el experto en física atómica no se olvidaría de la masa del protón y la carga del electrón.

La constante G determina la fuerza gravitatoria entre dos masas: la intensidad de la atracción que los cuerpos se ejercen mutuamente. Hasta la fecha, se han realizado unos 300 experimentos para intentar determinar el valor de la constante gravitatoria de Newton, G , pero la clamorosa discrepancia entre los resultados producidos nos ha impedido conocer con exactitud su valor. La mayoría de los experimentos se habían basado en el péndulo de torsión o en la balanza de torsión, como en el experimento realizado por Cavendish en 1798. En todos los casos se utilizaron masas macroscópicas. No existe una relación definitiva entre G y otras constantes fundamentales. Tampoco existe una predicción teórica de su valor, ante el cual pudiéramos someter a contrastación los resultados experimentales. La mejora de la precisión con que conocemos G no solo tiene interés metrológico, sino que además desempeña un papel central en teoría de la gravitación, cosmología, física de partículas, astrofísica y geofísica.

Cuesta mucho medir la fuerza de la gravedad porque es extremadamente débil, 39 órdenes de magnitud más débil que la fuerza eléctrica de un átomo. En junio de 2014 se publicó un estudio en el que el empleo de átomos fríos aportaba nuevos datos de interés para la determinación de la constante²⁶. Para llegar a esa determinación, los autores emplearon átomos enfriados con láser e interferometría cuántica. Obtuvieron el valor de $G = 6.67191(99) \times$

26 G. Rosi, F. Sorrentino, L. Cacciapuoti, M. Prevedelli, & G. M. Tino, "Precision measurement of the Newtonian gravitational constant using cold atoms", *Nature*, 510 (2014), pp. 518-521.

$10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ con una incertidumbre relativa de 150 partes por millón (la incertidumbre estándar combinada se da entre paréntesis). La interferometría de átomos es un método que se basa en la naturaleza ondulatoria de los átomos fríos para medir con precisión la aceleración gravitatoria.

Si el valor de la fuerza de la gravedad fuera ligeramente mayor o ligeramente menor que su valor real, no podría haber aparecido la vida que se funda en el carbono. Con un valor de G ligeramente mayor, solo podrían existir estrellas enanas rojas, demasiado frías para permitir planetas en una zona habitable en torno a las mismas; si fuera el valor de G ligeramente menor, todas las estrellas serían azules gigantes y gozarían de una vida breve que imposibilitaría el advenimiento y evolución de la vida.

2. Ajuste fino y sorprendentes coincidencias

2.1. Ajuste fino

Cuanto más conocen los físicos sobre las leyes fundamentales del universo, más asombro produce que existamos. Las constantes presentan valores que parecen calculados con precisión para permitir la aparición de la vida en algún lugar del cosmos. Cuando asignamos valores diferentes a las constantes o fuerzas, descubrimos que el número de universos observables, es decir, universos que pueden prestar soporte a una vida inteligente, es muy pequeño. Basta una ligera variación en cualquiera de esos valores para impedir la apari-

ción de vida²⁷. Existe un fino equilibrio entre interacciones gravitatorias e interacciones débiles. Si el equilibrio se decantara en una dirección, el Universo habría sido de un 100 por ciento de helio en sus primeras fases, que hubiera hecho imposible la vida tal como la conocemos. Si el equilibrio se hubiera decantado en otra dirección, los neutrinos no hubieran podido dispersar las envolturas de las supernovas por el espacio, ni, por ende, distribuir los elementos pesados esenciales para la vida. Si la fuerza nuclear fuera ligeramente más intensa, en la infancia del universo se habrían fusionado entonces todos los átomos de hidrógeno para formar helio. Sin hidrógeno no cabe pensar en agua. Pero si la fuerza nuclear hubiera sido sustancialmente más endeble, no se hubieran podido mantener juntos los átomos necesarios para la biología. Hay una serie extraordinaria de condiciones físicas coincidentes que condujeron a una producción cósmica abundante del elemento carbono, base de todas las formas de vida²⁸.

Todos esos escenarios son ejemplos del problema del ajuste fino (*"fine-tuning problem"*): fuerzas y constantes de la naturaleza habrían quedado establecidas para condicionar nuestra existencia. Que la vida, tal como la conocemos, depende de los parámetros de nuestro universo constituye un truismo inobjetable. Menos evidente parece afirmar que los parámetros de

27 "If we modify the value of one of the fundamental constants, something invariably goes wrong, leading to a universe that it is inhospitable to life as we know it." J. Gribbin & M. Rees, *Cosmic Coincidences: Dark Matter, Mankind, and Anthropic Cosmology*, New York, Bantam Books, 1989.

28 F. Hoyle, *The Intelligent Universe*, London, Michael Joseph, 1983.

nuestro universo se hallan finamente ajustados para producir la vida tal como la conocemos. A eso se le ha dado en llamar *principio antrópico*.

Hace quince años, el problema del ajuste fino pareció entrar en barrena. Se venía pensando que el universo seguía su proceso de expansión iniciado tras la gran explosión, aunque iba remitiendo. Apoyándose en supernovas de Tipo Ia para medir el brillo y, por ende, la distancia de galaxias lejanas, dos equipos de investigación se aprestaron en 1998 a acotar el parámetro de deceleración, es decir, la velocidad a la que está disminuyendo la expansión. Aludimos páginas atrás a su trabajo. Descubrieron que el universo no disminuía su paso, sino que la expansión se aceleraba. (Saul Perlmutter, Brian Schmidt y Adam Reiss recibieron en 2011 el premio Nobel de física por ese descubrimiento.)

Algunos observadores ven en el ajuste fino de las constantes de la naturaleza una demostración clara de diseño. Si el ajuste obedeciera al puro azar, resultaría altamente improbable que el universo en que vivimos presentara los valores correctos de las constantes que exige la presencia de vida²⁹. Puesto que vivimos, parece obvio que las constantes tuvieron que tomar el camino que llevara a la vida; en ese sentido, la probabilidad de hallar que las constantes de la naturaleza tomaran valores de ajuste fino es del 100 por ciento. Ahora bien, la vida no depende solo de las condiciones individuales cuyos valores se encuentran en unos intervalos muy estrictos, sino también de las interacciones entre valores y fuerzas, muy ceñidas también a unos límites restrictivos.

29 A. E. McGrath, *A Fine-Tuned Universe. The Quest for God in Science and Theology*. Louisville, Westminster John Knox Press, 2009.

Hay otras porciones estériles del universo donde las constantes de la naturaleza adquieren otros valores. Pero en esos lugares estériles no habría ningún observador para preguntarse por qué allí las constantes de la naturaleza tomaban los valores que tomaban. En 1989 Roger Penrose calculó en *The Emperor's New Mind* que el estado del universo observado era uno entre 10^{123} posibles estados. En física, el estado de un sistema de muchos cuerpos queda representado por un punto en un espacio abstracto multidimensional denominado *espacio de fases*, donde cada eje corresponde a uno de los grados de libertad del sistema, tales como la coordenada x espacial o el componente y del momento de una partícula. Ese es nuestro universo.

Desde 1992 se han venido sucediendo los descubrimientos de planetas fuera del Sistema Solar (merced sobre todo al satélite Kepler) y se supone que alrededor de todas las estrellas de tipo solar de nuestra galaxia abundan planetas del tamaño de la Tierra que giran en las zonas habitables de las estrellas, es decir, en regiones del espacio que no son ni demasiado calientes ni demasiado frías, permitiendo la existencia de agua líquida en la superficie sólida del planeta. Puesto que el agua líquida es un ingrediente necesario para la vida, esos números resultan esperanzadores para quienes sospechan la existencia de vida en el espacio³⁰. Que la Tierra alberga vida constituye el

30 "Water is ubiquitous across the solar system, in cometary ices, terrestrial oceans, the icy moons of the giant planets, and the shadowed basins of Mercury. Water has left its mark in hydrated minerals in meteorites, in lunar basalts, and in martian melt inclusions. The presence of liquid water facilitated the emergence of life on Earth; thus, understanding the origin(s) of water throughout the solar system is a key goal of astrobiology." L. Ilseidore Cleeves *et al.*, "The ancient heritage of water ice in the solar system", *Nature*, 345 (2014), p. 1590.

último carácter que la hace única. La vida habita en la frontera entre el orden y el caos. Por ejemplo, las dinámicas de las órbitas planetarias de nuestro Sistema Solar son tan complicadas, que podrían tornarse inestables en miles de millones de años. De manera similar, el clima y geofísica de la Tierra ocupan la interfaz entre orden y desorden. Desde el punto de vista termodinámico la vida es un sistema sumamente ordenado. Nuestro puesto en el cosmos es especial, pero no significativo, único sin ser excepcional.

2.2. Sorprendentes coincidencias

Carr y Rees pasaron revista a las numerosas coincidencias antrópicas, es decir, los numerosos casos en que los valores de las constantes caen en intervalos muy estrechos compatibles con la vida. Y llegaban a la conclusión de que urgía una explicación antrópica³¹. La densidad real del Universo se desvía de la densidad crítica al menos en un orden de magnitud. En el pasado, la desviación era mucho menor: de una parte en 10^{16} , un segundo después del *big bang* y, menor, antes. Esos tipos de densidad permiten que el universo se expanda a una velocidad adecuada para la formación de elementos químicos como el carbono y la evolución de la vida. No existe causa física conocida para que la velocidad de expansión inicial fuera la que fue. Podríamos aducir que no estaríamos aquí si las cosas hubieran procedido de otra manera. Por otro lado, si la tasa de expansión hubiera sido ligeramente más alta, no podría

31 B. Carr B & M. Rees, "The anthropic principle and structure of the physical world", *Nature*, 278 (1979), pp. 605-612.

haber aparecido la vida porque las galaxias no se hubieran formado³². En cambio, para Ernan McMullin, las coincidencias de grandes números no tienen nada que ver con el ajuste fino de las constantes, ni este con las leyes fundamentales³³.

3. Principio Antropico

Un reto importante que tiene planteado la cosmología es el de decidir qué parámetro adimensional —pensemos en la Q , amplitud de las fluctuaciones en el fondo de radiación de microondas, o en la constante Λ , la presión de vacío físico—es realmente fundamental, esto es, explicable en el marco de una teoría unificada y definitiva, y cuáles de esos parámetros o constantes son meramente accidentales. La posibilidad de que algunos sean accidentales se explicaría en el contexto de una inflación eterna³⁴, donde cabe una infinitud de big bangs distintos en el seno de un sustrato en expansión exponencial. Algunas versiones de la teoría de cuerdas permiten una altísima variedad de vacíos, caracterizado cada uno por valores de Λ distintos (e incluso diferente dimensionalidad).

32 B. Carr “On the origin, evolution and purpose of the physical universe”, *The Irish Astronomical Journal*, 15 (1982), pp. 237-253.

33 E. McMullin, “Indifference principle and anthropic principle in cosmology”, *Studies in the History and Philosophy of Science*, 24 (1993), pp. 359-389.

34 P. J. Steinhardt, en *The Very Early Universe*, G. W. Gibbons, S. Hawking, S. T. Siklos (eds.), Cambridge, Cambridge University Press, 1983 p. 251; A. Vilenkin, *Phys. Rev. D* 27 (1983), p. 2848; A. Linde, *Mod Phys Lett A*, 81 (1986).

Ambos conceptos, Q y Λ , admiten la existencia de un vasto conjunto de universos bolsillo, un “multiverso”. Si algunas constantes físicas no son fundamentales, entonces pueden tomar valores distintos en diferentes miembros del conjunto; así, algunos universos bolsillo podrían prohibir que en su seno evolucionara la complejidad o la vida inteligente. Los organismos deberían buscarse en un universo bolsillo que fuera biofílico. Los rasgos de nuestro universo podrían ser mero resultado de la época en que existimos y podemos observar. Con otras palabras, los valores de las constantes accidentales deberían situarse dentro del intervalo que permitiera la aparición de la vida inteligente. Al proceso de acotar e investigar las consecuencias de esos dominios biofílicos se le denomina *razonamiento antrópico*³⁵.

El principio antrópico afirma, en términos generales, que cuanto observamos ha de ser *compatible* con nuestra existencia. De una manera más estricta, declara que es *necesariamente compatible* con nuestra existencia. No puede entenderse sin su contrapartida, el principio copernicano. El desplazamiento del centro cósmico ocurrió paso a paso. En 1543 Copérnico lo sacó de la Tierra y lo colocó en el Sol. El principio copernicano eliminaba al hombre de todo privilegio en el universo: la Tierra no ocupa el centro del Universo, ni una posición de excelencia en el cosmos. A finales del siglo XVIII, William Herschel lo trasladó al núcleo de nuestra galaxia, la Vía Láctea. Esa ubicación fue preterida por Harlow Shapley en 1922. En 1952 Walter Baade descubrió que nuestra galaxia era una galaxia espiral más, sin ninguna característica distintiva. De lo que se infería que el hombre no ocu-

35 M. Livio & M. Rees. “Anthropic Reasoning”, *Nature*, 309 (2005), pp. 1022-1023.

paba el ombligo del Universo. En la revolución ultracopernicana en que nos hallamos, nuestro universo resulta insignificante, uno más entre incontables, cada uno con sus propias leyes.

3.1. Antecedentes remotos

La idea de un cosmos hecho a la medida del hombre nos la han transmitido filósofos de diversas escuelas desde la Antigüedad clásica. De los presocráticos recordemos la cosmología cíclica de Empédocles. En *De Rerum Natura*, compuesto hacia el 50 a.C., Tito Lucrecio Caro esbozaba una cosmología atomista inspirada en Demócrito y Epicuro. Presentaba un universo de espacio infinito y tiempo finito, a diferencia del mundo finito y eterno que dibujara Aristóteles. Lucrecio se basaba en la brevedad de la historia del hombre.

La Edad Media cristiana sitúa al hombre en el centro de la creación. Todo se había hecho para él. En el siglo XVII, Bernard Le Bovier de Fontenelle, autor de los famosos *Entretiens sur la pluralité des mondes*, publicado en 1686, explicaba la inclinación de las órbitas cometarias con relación a la eclíptica con el razonamiento de que, si así no fuera, los cometas habrían destruido la vida sobre la Tierra. De haber sido normales las órbitas —semejantes a las de los planetas— no estaríamos aquí³⁶. Ideas parecidas fueron formuladas por Edmund Halley, William Whiston y otros filósofos natura-

36 M. M. Cirkovic, “On the first anthropic principle in astrobiology”, *Earth, Moon and Planet*, 91 (2002), pp. 243-354; M. M. Cirkovic, “Ancient origins of modern anthropic cosmological argument”, *Astronomical and Astrophysical Transactions*, 22 (2003), pp. 879-886.

les. Pero más que un antropocentrismo, en ocasiones se trata de un pensamiento teleológico. Alfred Russell Wallace, codescubridor con Darwin de la teoría de la evolución por selección natural, propuso una cosmología antropocéntrica en *Man's Place in the Universe*, aparecido en 1903. Un universo sin hombres sería un absurdo. El fin del Universo era la presencia de un ser espiritual. Con el pensamiento antrópico se ha relacionado también a Ludwig Boltzmann y su teoría sobre la baja entropía de nuestro universo, es decir, su elevada organización, inexplicable desde una óptica estadística y solo explicable para propiciar la aparición del hombre.

3.2. Antecedentes próximos

A principios del siglo XX, Lawrence J. Henderson abordó la cuestión del equilibrio interior del cuerpo humano, investigaciones que le llevaron a la idea de que no solo los organismos se hallan adaptados al medio, sino que en cierto sentido el medio se encuentra adaptado a los organismos. Era un principio antrópico “avant la lettre”. Reconocía una gavilla de sustancias imprescindibles para la vida³⁷. Incluía la hidrosfera y la atmósfera y postulaba que las leyes de la naturaleza y las propiedades de la materia se encontraban plenamente ajustadas para la aparición de la vida que conocemos sobre la Tierra³⁸.

37 L. J. Henderson, *The Fitness of the Environment*, New York, Macmillan, 1913, p. 85.

38 “The fitness of the environment results from characteristics which constitute a series of maxima —unique or nearly unique properties of water, carbonic acid, the components of carbon, hydrogen, and oxygen and the ocean— so numerous, so varied, so nearly complete among all things which are concerned in the problem, that together they form certainly the

La cuantificación es distintivo de la ciencia experimental y, su interpretación, base para extraer conclusiones. La coincidencia entre grandes números pertenecientes a ámbitos distintos que ponen en relación el megamundo con el micromundo despertó muy pronto el interés de los científicos. En el primer tercio del siglo XX, Hermann Weyl descubrió la conexión empírica entre parámetros metagalácticos y constantes microfísicas, que daría origen, decenios más tarde, a la hipótesis de la constante de la gravitación y al principio antrópico³⁹. El universo es el mayor objeto físico que puede describirse mediante un conjunto limitado de parámetros. Megaparámetros básicos son el promedio de densidad de masa (o energía) y la constante de Hubble; esta describe la tasa de expansión del universo, mediante la relación de la velocidad de recesión de las galaxias con la distancia intergaláctica, de acuerdo con la expresión $v = Hr$. La constante gravitatoria G puede atribuirse también a la megafísica. Los parámetros característicos de la microfísica son la masa de una partícula elemental m , la carga elemental e , la constante de Planck y la velocidad de la luz, c , entre otros. A partir de esos parámetros se construyen tres combinaciones que presentan un valor próximo a 10^{40} . Por su parte, Arthur Eddington describió en su *Space, Time and Gravitation*, la relación entre electricidad y gravitación en los términos de la teoría unificada de Weyl. Pero

greatest possible fitness. No other environment consisting of primary constituents made up of other known elements, or lacking water and carbonic acid, could possess a like number of fit characteristics... to promote... the organic mechanism we call life." L. J. Henderson, *The Fitness of the Environment*, New York, Macmillan, 1913, p. 272.

39 H. Weyl, "Gravitation und Elektrizität", *Königlich Preussische Akademie der Wissenschaften Sitzungsberichte*, (1918), pp. 465-578.

cuando se comprobó la debilidad de la teoría de Weyl, dirigió su mirada hacia otros constructos teóricos. Eddington calculó el número de protones y electrones en el universo (número de Eddington, N)⁴⁰ halló que rondaba la cifra 10^{79} . Advirtió que la coincidencia entre $N^{1/2}$ y la razón de la fuerza electromagnética a la fuerza gravitatoria entre un protón y un electrón era: $e^2/Gm_em_p \approx N^{1/2} \approx 10^{39}$. Eddington se propuso también explicar el valor de la constante de estructura fina $\alpha = e^2 / hc$ mediante razonamientos numéricos.

En 1920 Paul Eherenfest mostró que si hubiera solo una dimensión temporal y fuera mayor que las tres dimensiones espaciales, la órbita del planeta en torno al Sol no podría permanecer estable. Lo mismo cabe afirmar de la órbita de una estrella en torno al centro de su galaxia⁴¹. Eherenfest mostró también que si había un número par de dimensiones espaciales, entonces las diferentes partes de un impulso ondulatorio viajarían a distinta velocidad. Si hubiera $5 + 2k$ dimensiones espaciales, donde k es un número entero, entonces los impulsos ondulatorios quedarían distorsionados. En 1922, Hermann Weyl mostró que la teoría de Maxwell sobre el electromagnetismo funcionaba solo con tres dimensiones espaciales y una temporal⁴². En 1926 James

40 A. Eddington, *The Mathematical Theory of Relativity*, Cambridge, Cambridge University Press, 1923.

41 P. Ehrenfest, "How do the fundamental laws of physics make manifest that Space has 3 dimensions?", *Annalen der Physik* 61 (5) (1920), p. 440. Véase también P. Ehrenfest, "In what way does it become manifest in the fundamental laws of physics that space has three dimensions?", *Proceedings of the Amsterdam Academy*, 20 (1917), p. 200.

42 H. Weyl, *Space, time and matter*, Dover reprint, 1922, p. 284.

Jeans señalaba, en clara conceptualización antrópica, que las condiciones físicas que posibilitan la existencia de vida abarcan solo un segmento muy corto de las condiciones físicas que pueden darse en el universo⁴³. No aludió, sin embargo, a la posible función que en ello desempeñarían las constantes.

La hipótesis de los grandes números, que ponía en relación las razones de escala del Universo con la razón de las escalas de fuerza, fue un constructo de Paul Dirac. Postula esa hipótesis que siempre que dos números de cifra altísima aparecen en la naturaleza (pensemos 10^{40} y 10^{80}) o se construyen a partir de constantes naturales, se encuentran en una relación matemática sencilla⁴⁴. Dirac consideró que el número de la constante debía ponerse en relación con otros números de tamaño similar, y así caracterizar la estructura del universo⁴⁵. Se sabía en el tiempo de Dirac que la proporción entre la atracción electrostática (entre el protón y el electrón en el átomo de hidrógeno, de masa M y m , respectivamente) y la fuerza gravitatoria (entre ambas partículas) era de 10^{39} . Dirac señaló que, si medimos el tiempo en unidades del tiempo que la luz tarda en atravesar un electrón clásico, $\Delta t = e^2 / mc^3$, entonces la edad del universo dada por el tiempo de Hubble T_0 será aproximadamente el mismo número, 10^{39} . Es decir, a partir de esa aparente coincidencia, y dando por supuesto que e , m y M son constantes genuinas, Dirac llegaba a la conclusión de que la constante gravitatoria decrece lentamente con el tiempo. En efecto, puesto que la edad del universo cambia con el tiempo, las constantes fundamentales de la física deberán hacerlo en

43 J. Jeans, "Recent developments of cosmical physics", *Nature*, 118 (1926), pp. 29-40.

44 P. A. Dirac, *Proc Roy Soc A*, 165 (1938), pp. 199-208.

45 P. A. Dirac, *Proc Roy Soc A*, 165 (1938), p. 199.

correspondencia al objeto de mantener esa relación. En particular, el valor de la constante gravitatoria G decrecería con el tiempo⁴⁶.

Mientras, Eddington se afanaba en la búsqueda de una teoría fundamental de toda la física. Para ello pensó que podría explicar las coincidencias numéricas entre las constantes de la naturaleza a través de un análisis epistémico de la naturaleza de la observación. En su método de subjetivismo selectivo apeló a razonamientos que más tarde se esgrimirían en el contexto del principio antrópico. Pensó que el número cósmico —número de partículas del universo— y la mayoría de las demás constantes estaban determinados por factores mentales y, por ende, humanos⁴⁷. Otro atisbo de principio antrópico lo encontramos en un artículo publicado 1948 por Hermann Bondi y Thomas Gold, donde introdujeron la teoría cosmológica del estado estacionario. Lo hallamos al referirse a la muerte térmica de un universo estático infinitamente viejo⁴⁸.

46 Más tarde, datos procedentes de nuestro sistema solar, de sondas espaciales y de un pulsar binario descubierto por Hulse y Taylor en 1974 nos permitieron desechar que la constante gravitatoria G se esté debilitando, ni siquiera a una centésima de la tasa admitida por Dirac. R. A. Hulse & J. H. Taylor, “A high sensitivity pulsar survey”, *Astrophysics Journal*, 191 (1974) L59-L61.

47 A. Eddington, *The Philosophy of Physical Science*, Cambridge, Cambridge University Press, 1939.

48 “That our universe is not of this type is clear not only from astronomical observations but from local physics and indeed from our very existence”. H. Bondi & T. Gold “The steady-state theory of the expanding universe”, *Monthly Notices of the Royal Astronomy Society*, 108 (1948), pp. 252-270, p. 255.

Se fue viendo con creciente claridad que los fenómenos del mundo físico sustentadores de la vida eran muy sensibles a ligeros cambios en los valores de las constantes de la naturaleza. El enfoque antropocéntrico de la “coincidencia de los grandes números” partió de dos ensayos publicados por Robert Dicke en 1957⁴⁹ y 1961⁵⁰. En 1957 Dicke pensaba que la coincidencia de los grandes números constituía una prueba clara de que la constante de gravitación no cambiaba con el tiempo. Al hablar de la variabilidad de las constantes físicas, insistía en que la edad del universo hoy no era fortuita, sino que estaba biológicamente determinada. Aducía que, si la constante de estructura fina hubiera sido menor o mucho mayor que su valor actual, las estrellas (cuya luminosidad es sumamente sensible al valor de dicha constante) serían tan frías, que la existencia humana resultaría imposible⁵¹.

En 1961, Dicke avanzó una explicación más antropocéntrica de la coincidencia de los grandes números. Se la conocería por *coincidencia antrópica o universo de ajuste fino*. Declara que las cifras de la hipótesis de los grandes números son una coincidencia necesaria para la existencia de seres inteligentes, porque que parametrizan la fusión del hidrógeno en las estrellas. Puesto que los elementos más pesados que el hidrógeno eran indispensables para la vida (“*to create physicists we need carbon*”) y se formaban en el interior de la

49 R. Dicke, “Principle of Equivalence and the Weak Interactions”, *Reviews of Modern Physics*, 29 (1957), pp. 355-362; R. Dicke, “Gravitation without a Principle of Equivalence”, *Reviews of Modern Physics*, 29 (1957), pp. 363-376.

50 R. Dicke, “Dirac’s Cosmology and Mach’s Principle”, *Nature*, 192 (1961), pp. 440-441.

51 R. Dicke, “Gravitation without a Principle of Equivalence”, *Reviews of Modern Physics* 29 (1957), p. 375.

estrellas, la época de la humanidad podía determinarse por el ciclo vital de las estrellas de la secuencia principal. Dirac publicó una breve réplica a Dicke, reconociendo la coherencia del análisis de éste, pero que él prefería su propio argumento, porque permitía la posibilidad de que los planetas pudieran existir indefinidamente en el futuro y la vida no tuviera necesariamente un final. Para producir vida basada en el carbono, el universo debía tener al menos varios millones de años. Por otro lado, tampoco podía tener una edad excesiva (mayor de 10^{12} años), porque si así fuera todos los procesos estelares hubieran concluido y, por consiguiente, no habría en el medio energía de radiación que sostuviera la vida. Para Dicke, la densidad de materia del universo debía ser exactamente la masa crítica necesaria y así evitar la gran implosión⁵².

La edad del universo, vista por los observadores, no podía ser aleatoria. Los factores biológicos restringen al universo a hallarse en una “edad de oro”, ni demasiado joven ni demasiado viejo. Si el universo fuera una décima de la edad que tiene ahora, no habría transcurrido tiempo suficiente para construir niveles apreciables de metalicidad (niveles de elementos más allá del hidrógeno y del helio), en especial carbono, por nucleosíntesis. Los planetas rocosos pequeños no existirían si el universo decuplicara su edad real, la mayoría de las estrellas serían demasiado viejas para seguir en la secuencia principal y se habrían convertido en enanas blancas y los sistemas planetarios habría llegado ya a su fin. Dicke explicaba, pues, la coincidencia entre grandes números adimensionales construidos a partir de las constantes de la física

52 R.Dicke, “Dirac’s Cosmology and Mach’s Principle”, *Nature*, 192 (1961), pp. 440-441.

y la edad del universo, una coincidencia que había inspirado la teoría G variable de Dirac⁵³.

Paralela y contemporáneamente al trabajo de Dicke en Estados Unidos, en la Unión Soviética planteó razonamientos antrópicos Grigory Moiseevich Idlis, publicados en ruso en 1958. El ensayo en que aparecieron, traducido, se titulaba *Rasgos fundamentales del Universo Observado como Propiedades Características de un Sistema Cósmico Habitable*. Otro precursor soviético del principio antrópico fue Abraham Zelmanov.

3.3. Carter y el principio antrópico

La expresión “principio antrópico” fue propuesta en 1973 por Brandon Carter, en el marco del 500 aniversario del nacimiento de Nicolás Copérnico. Tres años antes, Carter había presentado una suerte de notas, inéditas aunque difundidas, bajo el epigrafe “Large Numbers in Astrophysics and Cosmology”, donde esbozaba algunas ideas que habrían de vertebrar el principio antrópico. No pretendía devolverle al hombre una posición central en el universo, ni cuestionar el principio copernicano⁵⁴; sí reconocía en cierta me-

53 *Ibid.*

54 B. Carter, “Large number coincidences and the anthropic principle in cosmology”, en *Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data*, ed. M. S. Longair. Boston, D. Reidel, 1974, pp. 291-298.

didada una situación de privilegio, habida cuenta de nuestra existencia, que requiere la concurrencia de condiciones especiales⁵⁵.

Carter distinguía un principio antrópico débil y un principio antrópico fuerte. El principio *antrópico débil* establece que “*what we can expect to observe must be restricted by the conditions necessary for our presence as observers*”. El principio *antrópico fuerte* declara que “*the Universe (and hence the fundamental parameters on which it depends) must be such as to admit the creation of observers within it at some stage*”. Y añadía: “*To paraphrase Descartes, “Cogito ergo mundus talis est”*”⁵⁶. De acuerdo con el *principio antrópico débil*, los observadores humanos constituyen un criterio de medición. Los valores de determinadas constantes y factores deben permitir que exista al menos una región del universo que presente propiedades que posibiliten la existencia del hombre y donde nosotros residamos. De acuerdo con el *principio antrópico fuerte*, el Universo debe tener (*must*) propiedades que permitan que la vida exista en algún punto del mismo. El principio antrópico fuerte vendría a ser una ley de la naturaleza que se requería para la aparición de la vida y la conciencia.

No caben pruebas observacionales del principio antrópico débil de Carter, puesto que se trata de un truismo en el que no entra la discusión. La utilidad

55 B. Carter, “Large number coincidences and the anthropic principle in cosmology”, en *Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data*, ed. M. S. Longair. Boston, D. Reidel; 1974, pp. 291-298, p. 291.

56 B. Carter, “Large number coincidences and the anthropic principle in cosmology”, pp. 121-133 en J. Leslie, ed. *Physical Cosmology and Philosophy*. New York, Macmillan, B. 1990, p. 128.

científica práctica de este principio emerge de su corolario tautológico: al hacer inferencias generales a partir de lo que contemplamos en el Universo hemos de admitir que nuestras observaciones se encuentran sesgadas inevitablemente por los efectos de selección que surgen de la restricción impuesta por nuestra situación; deben satisfacerse a priori las condiciones necesarias para nuestra existencia. Para Carter, el principio antrópico fuerte consistía en la declaración de que nuestra mera existencia como observadores inteligentes impone restricciones no ya sobre nuestra propia situación, sino también sobre las propiedades generales del Universo, incluidos los valores de los parámetros fundamentales. El principio antrópico fuerte se basa en las mismas “coincidencias cósmicas” que el principio antrópico débil. Pero a diferencia del principio débil, el principio antrópico fuerte se propone explicar por qué sucedieron tales acontecimiento improbables.

3.4. Dyson, Hawking y Rees

Entre los físicos y cosmólogos que supieron de las ideas antrópicas de Carter antes de la publicación de su trabajo de 1974 estaban Martín Rees, Freeman Dyson, John Wheeler, Barry Collins y Stephen Hawking. Algunos de ellos (Dyson, Wheeler y Hawking) habían participado en la conferencia Clifford de 1970 donde Carter avanzó su tesis. Dyson se mostró abierto a los argumentos antrópicos. Cuando miramos al Universo, escribiría, y reparamos en los numerosos aspectos de la física y la astronomía que han venido operando para beneficio del hombre, no parece sino que el Universo supiera de

nuestra llegada⁵⁷. Dyson pensó, como la mayoría de los físicos, que era errónea la hipótesis de Dirac sobre una constante gravitatoria decreciente. En una revisión que escribió en 1972 sobre la posible variación, en el curso del tiempo, de las constantes de la naturaleza se refería brevemente a lo que él denominaba “principio de cognoscibilidad” (“principle of cognizability”). Con ello daba a entender “*the conclusion that the presence in the universe of conscious observers places limits on the absolute magnitudes of γ and δ and not only on their ratio*”⁵⁸.

En 1973 Barry Collins y Stephen Hawking señalaron que, de todos los valores posibles de las constantes físicas, solo un intervalo estrecho de condiciones iniciales podían dar origen a la isotropía observada del universo real⁵⁹. En su planteamiento, razonaban que los universos anisotrópicos evolucionaban hacia una mayor anisotropía, lo que impedía la formación de galaxias. Si la formación de galaxias constituye una condición necesaria para la presencia de vida inteligente, nuestro universo debe ser isotrópico. Para explicarlo adoptaron el enfoque antrópico, basado en la hipótesis de que no había un universo, sino un conjunto infinito de universos con todas las condiciones iniciales posibles. La vida sería posible solo dentro de un subconjunto reducido del conjunto de universos. El hecho de que hayamos observado que el

57 F. Dyson, “Energy in the Universe”, *Scientific American*, 225, March 1971, pp. 51-59.

58 F. Dyson, “The fundamental constants and their time variation”, pp. 213-236 en A. Salam and E. P. Wigner eds. *Aspects of Quantum Theory*, Cambridge, Cambridge University Press, 1972, p. 235.

59 B. Collins & S. Hawking, “Why is the Universe Isotropic?”, *Astrophysical Journal Letters*, 180 (1973), pp. 317-334.

universo, anotaron, es isotrópico constituye solo una consecuencia de nuestra existencia. Y remacharon: “*The answer to the question ‘why is the universe isotropic?’ is ‘because we are here’*”⁶⁰.

Admitiendo que las galaxias y las estrellas eran necesarias para la vida, razonaban que un universo con excesiva energía gravitatoria colapsaría antes de que pudieran formarse las estrellas y un universo con poca energía no permitiría la condensación gravitatoria de galaxias y estrellas. Por consiguiente, de entre los muchos valores posibles de Ω (la razón entre la densidad media real del universo y la densidad crítica), la vida humana solo pudo haber emergido en un universo donde el valor inicial de Ω fuera 1 o casi. (Ω se halla cerca de 1.) Un año más tarde, Hawking matizaba su pensamiento⁶¹.

El principio antrópico entró de lleno en física y cosmología a finales de los años setenta. Primero, de una manera silenciosa, sin grandes oponentes. En una revisión que habría de ejercer poderosa influencia, Bernard Carr y Martin Rees recogieron todos los argumentos antrópicos conocidos en ese tiempo. Muchos científicos lo consideraron una ingeniosa herramienta del armamentario de la ciencia. Pero Carr y Rees no escatimaron reservas: “*From a physical point of view, the anthropic ‘explanation’ of the various coincidences in*

60 B. Collins & S. Hawking, “Why is the Universe Isotropic?”, *Astrophysical Journal Letters* 180 (1973), pp. 317-334, p. 334.

61 “...the isotropy of the Universe and our existence are both results of the fact that the Universe is expanding at just about the critical rate”. S. Hawking. “The anisotropy of the Universe at large times”, pp. 283-286, en M. S. Longair, ed., *Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data*. Dordrecht, Reidel, 1974, p. 285.

nature is unsatisfactory". Y prosiguieron que el principio "may never aspire to being much more than a philosophical curiosity"⁶².

Carr y Rees abordaron los valores de las constantes físicas y su relación con el principio antrópico. Mostraron que las escalas de masa y longitud de los objetos, del Universo al átomo, están determinadas por la constante de estructura fina electromagnética, la constante de estructura fina gravitatoria y la razón entre la masa del electrón y la masa del protón. La explicación antrópica de los fenómenos físicos resultaba insatisfactoria, pues era incapaz de predecir procesos o estructuras del Universo, carente de apoyo para formular hipótesis sobre la existencia de la vida y ausencia de determinación de los valores exactos de las constantes físicas. Pero el concepto valía para dar cuenta de coincidencias, tan sorprendentes cuan inexplicadas, que nos ofrece la naturaleza.

Carr prosiguió en su estudio del ajuste fino de las constantes que permitía la aparición de la vida. No hay razón física conocida de que la tasa de expansión inicial fuera la que fue, por lo que cabe especular por qué fue justamente esa. Una sugerencia es que no estaríamos aquí si las cosas hubiera procedido de otra manera. Por un lado, si la tasa de expansión hubiera sido algo ligeramente menor, el universo entraría en colapso; por otro lado, si la tasa de expansión hubiera sido ligeramente mayor, la vida no podría haber surgido porque no se hubieran podido formar las galaxias en medio de esa expansión

62 B. J. Carr & M. Rees, "The anthropic principle and the structure of the physical world", *Nature*, 278 (1979), p. 612.

general⁶³. Idea en la que abundaría Rees, al sostener que la modificación del valor de una de las constantes fundamentales se produce un descalabro general que nos llevaría a un universo inhóspito para la vida⁶⁴.

De modo parejo, las objeciones se sucedían. El ajuste fino no es necesariamente una razón para la posición especial que ocupan en el universo las formas inteligentes de vida, sostenía Yosif Rozental en 1980 a propósito de los efectos que un cambio hipotético de las constantes comportaría. La conexión entre las constantes de la naturaleza y los fenómenos del mundo físico se da ya en niveles inferiores, tales como los compuestos químicos, la estructura atómica y la estabilidad de la materia nuclear. Nuestras leyes físicas básicas, junto con los valores de las constantes fundamentales, no solo son suficientes, sino necesarios también para la existencia de los estados fundamentales. Esos estados fundamentales podían abarcar de los núcleos atómicos a los cúmulos galácticos. No veía razón alguna para singularizar las estructuras biológicas o neurológicas⁶⁵. Más proclive al principio antrópico se mostró otro exponente de la ciencia soviética, Yakov Zeldovich⁶⁶.

Para los defensores del principio antrópico, se daba por cierto el riesgo de error en una interpretación de la información astronómica y cosmológica que

63 B. Carr, "On the origin, evolution, and purpose of the physical universe", *The Irish Astronomical Journal*, 15 (1982), pp. 237-253.

64 J. Gribbin & M. Rees, *Cosmic Coincidences: Dark Matter, Mankind, and Anthropic Cosmology*. New York, Bantam Books, 1989; Y. Rozental, *Soviet Physics Uspekhi* 23 (1980), pp. 296-306.

65 Y. Rozental, en *Soviet Physics Uspekhi*, 23 (1980) 296-306.

66 Y. Zeldovich, "The birth of a closed universe, and the anthropogenic principle", *Soviet Astronomy Letters*, 7 (1981), pp. 322-323.

no prestara atención a las restricciones biológicas en cuyo marco se adquirió la información. Pero también el mensaje inverso era válido: los biólogos se exponen a equivocarse en la interpretación del registro evolutivo a menos que reparen en las restricciones astrofísicas bajo las cuales se desarrolló la evolución. Aplicado el principio antrópico débil al problema de la evolución de la vida terrestre, las pruebas acopiadas sugieren que la cadena evolutiva incluía al menos uno, y probablemente no más de dos, nexos que eran altamente improbables (*a priori*) en el intervalo temporal disponible⁶⁷. Ciertamente era que el principio antrópico fuerte tenía su talón de Aquiles en la incapacidad de formular predicciones reales⁶⁸.

3.5. Wheeler y el principio antrópico participativo

En su última etapa investigadora, John Archibald Wheeler se planteó si la vida y la mente resultaban fenómenos marginales para el universo o, por el contrario, si constituían referencias centrales del mismo. A los dos tipos manejados de principio antrópico, en 1983 Wheeler añadió *el principio antrópico participativo*, que es una interpretación de la mecánica cuántica asociada con las ideas de John von Neuman y Eugene Wigner. Podríamos considerar el multiverso inicial como un computador cuántico, masivo y en paralelo, que explorase toda espacio-posibilidad hasta que fuera capaz de generar un

67 B. Carter, W. H. McCrea, "The anthropic principle and its implications for biological evolution" *Philosophical Transactions of the Royal Society A*310 (1983), pp. 347-363, p. 347.

68 B. Carter, W. H. McCrea, "The anthropic principle and its implications for biological evolution", *Philosophical Transactions of the Royal Society A*310 (1983), pp. 347-363, p. 251.

cuerpo vivo, que se convirtió en habitáculo de un sujeto observador. En ese momento el multiverso colapsó en una realidad con ese entorno alternativo. A tenor dicho principio, la mente puede existir independientemente de la materia y crear su entorno real⁶⁹.

La naturaleza se nos revela a través de las leyes de la mecánica cuántica. De acuerdo con la teoría cuántica, antes de que se realice una observación, la partícula atómica existe en superposición de estados. Una vez observada, la partícula colapsa instantáneamente en una posición. Wheeler sugería que la realidad es creada por los observadores; ningún fenómeno es real hasta que no es observado. Participamos en traer al ser no solo lo próximo y actual, sino también lo lejano y ocurrido largo tiempo atrás. Esa declaración fue considerada extemporánea hasta que su experimento mental, denominado experimento de la “elección demorada”, se contrastó en el laboratorio en 1984. Se trataba de una modificación del experimento de doble rendija, en el que se exponía la naturaleza dual de la luz: de acuerdo con el modo en que el experimento se medía y observaba, la luz se comportaba como una partícula (fotón) o como una onda. Mas, a diferencia del experimento de doble rendija, en la versión de Wheeler el método de detección cambiaba después de que el fotón hubiera atravesado la doble rendija. El experimento mostraba que la trayectoria del fotón no quedaba establecida hasta que los físicos realizaran sus mediciones. Este resultado, unido a otro acometido en 2007, demostró lo que Wheeler había siempre sospechado: se requiere la concien-

69 J. A. Wheeler, “Law without law”, en *Quantum Theory of Measurement*, ed. J.A. Wheeler and W. H. Zurek. Princeton, Princeton University Press, 1983, pp. 182-213.

cia del observador para traer el universo a la existencia. Eso significaba que una Tierra anterior a la vida había existido en un estado indeterminado y que un universo anterior a la vida solo podía existir retroactivamente.

El principio antrópico participativo, o PAP, de Wheeler declara que el universo requiere observadores, porque sin ellos no existiría. Esta afirmación controvertida se basa en la interpretación tradicional de Copenhague de la física cuántica, que requiere un acto de observación para resolver la superposición de estados en una función de onda cuántica. Se trata de una de las variaciones del principio antrópico. Wheeler introdujo su modelo peculiar de principio antrópico cuando abordó la idea de vivir en un universo participativo, relacionado con el clásico “*it from bit*”, concepto que yace en el corazón de la teoría cuántica de la información⁷⁰. A primera vista este enfoque plantea un problema fundamental: transcurrieron miles de millones de años desde el *big bang* hasta que el Universo adquirió las condiciones razonables para el advenimiento de la vida. Pero cabría aceptar que el universo existió en una superposición de estados durante miles de millones de años hasta que llegó algún tipo de observador, en cuyo instante la función de onda pudo haber colapsado en el estado que posibilitó el asentamiento del observador.

3.6. Barrow y Tipler

En 1983 John D. Barrow incluyó un apartado sobre el principio antrópico en el número de las *Philosophical Transactions* dedicado a las constantes de la

70 J. A. Wheeler, “Information, physics, quantum: The search for links”, en *Complexity, Entropy, and the Physics of Information*, W. Zurek, ed., Redwood City, Addison-Wesley, 1990.

física⁷¹. Tres años más tarde, Barrow y Frank Tipler publicaban *The Anthropic Cosmological Principle*, sin duda el trabajo más ambicioso y sistemático sobre la cuestión. No ha sido superado en los detalles ni en fuerza especulativa. De acuerdo con el enunciado de la versión débil del principio antrópico realizada por Barrow y Tipler, los valores observados de todas las magnitudes físicas y cosmológicas no son equiprobables, sino que toman valores condicionados por la exigencia de sitios donde pueda evolucionar la vida basada en el carbono, en un Universo que ha alcanzado edad suficiente para alojarlo⁷². Por lo que se refiere al principio antrópico fuerte, sostienen que no solo observamos la existencia de un universo con vida, sino que la vida es ineludible para que el universo exista. Fundan ese argumento en la física cuántica y en el principio antrópico participativo de Wheeler.

Barrow y Tipler aportaban una explicación comprensiva, aunque bastante inteligible del papel fundamental desempeñado por las constantes de la naturaleza, con las implicaciones sorprendentes que comportaban ligeras modificaciones en sus valores. *The Anthropic Cosmological Principle* mostraba unas coincidencias fortuitas, aunque extraordinarias, que habían posibilitado la aparición de la vida⁷³. Presentaron tres vías de aportar sentido al ajuste fino

71 J. D. Barrow, "Dimensionality", *Phil. Trans. R Soc Lond A*, 310 (1983), pp. 337-346.

72 J. D. Barrow & F. J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle*. Oxford, Clarendon Press, 1986.

73 A. E. McGrath, *A Fine-Tuned Universe. The Quest for God in Science and Theology*. Louisville, Westminster John Knox Press, 2009, p. 117.

del universo que posibilitaría la aparición de la vida: las formas débil, fuerte y final del principio antrópico⁷⁴.

Barrow y Tipler se jugaron no poco en el envite. Preveían el impacto negativo en su carrera académica. Dedicaron nada menos que 200 páginas a una exploración rigurosa de la noción de “propósito” y “diseño”. Su vigor intelectual desafió a los críticos a priori, no en vano se le ha considerado la obra más importante sobre teología natural desde William Paley. Sin embargo, al situar la discusión sobre el diseño en su marco intelectual apropiado, rebatieron el mito secular de que el diseño sea una innovación reciente, nacida con Paley. Como revelaban, se trata de una de las cuestiones fundamentales más antiguas, cuya legitimidad se robustece con su antigüedad y con su palmaria importancia intelectual; la propia ciencia aristotélica se basaba en los supuestos de un mundo natural inteligente que operaba de acuerdo con cierto diseño deliberado.

Barrow siguió ahondando en la cuestión en sus trabajos subsiguientes⁷⁵. Advierte que se perciben dos formas, entre filósofos y teólogos, de presentar

74 Para un análisis crítico de esos enunciados del principio, véanse los trabajos de John Earman: “The SAP Also Rises: A critical Examination of the Anthropic Principle”, *American Philosophical Quarterly* 24 (1987), pp. 307-317; W. Lane Craig, “Barrow and Tipler on the Anthropic Principle versus Divine Design”, *British Journal for Philosophy of Science* 38 (1988), pp. 389-95; J. Silk, *The infinite Cosmos: Questions from the Frontiers of Cosmology*. Oxford, Oxford University Press, 2006, pp. 14-18; M. A. Walker & M. M. Cirkovic, “Astrophysical Fine Tuning. Naturalism, and the Contemporary Design Argument”, *International Studies in the Philosophy of Science*, 20 (2006), pp. 285-307.

el argumento del diseño. El primero es el que encontramos en la extensa sección biológica de la *Natural Theology* de William Paley, basada en resultados admirables de las leyes de la naturaleza. El argumento, aunque fácil de entender, presenta muchos flancos débiles. Dios puede eliminarse fácilmente del argumento (un razonamiento que empezó mucho antes de que Darwin publicara su teoría sobre selección natural). El segundo enfoque de Barrow se basa en la elegancia de las leyes. ¿De dónde proceden las leyes de la naturaleza? Si el Universo alcanzó su existencia en un tiempo extraordinariamente corto y poseía ya las leyes que habrían de gobernar su desarrollo, la cuestión relativa al origen y el carácter de esas leyes adquiere una enorme importancia dialéctica. Como señala Barrow, esta última versión del argumento del diseño es mucho más difícil de explicarla sin referencia a Dios. Después de todo, las leyes de la naturaleza no llegaron a existir a través de un proceso gradual de selección acumulativa. El universo que emergió del big bang, en el marco de una interpretación antrópica de los hechos, estaba ya gobernado por leyes que estaban finamente ajustadas para instar la aparición de una vida basada en el carbono. Paul Davies defiende una tesis similar⁷⁶. El principio antrópico fuerte de Barrow no puede ser falsado mediante la observación de un universo en el que no puede haber observador.

75 J. D. Barrow, *Theories of Everything: The Quest for Ultimate Explanation*. London, Vintage, 1992, pp. 118-121. J. D. Barrow, *Between Inner Space and Outer Space. Essays on Science, Art, and Philosophy*. Oxford, Oxford University Press, 2000, pp. 61-63.

76 P. Davies, *The Goldilocks Enigma: Why is the Universe Just Right for Life?* London, Allen Lane, 2006, pp. 147-71.

3.7. Otros desarrollos

Para John Leslie⁷⁷, el principio antrópico fuerte de Carter entraña varias predicciones: el desarrollo de una teoría física que refuerce la hipótesis de que ocurrieron transiciones de fase muy tempranas de una manera probabilística, no determinista; la creación de teorías sobre generación de universos múltiples; la acumulación de pruebas a favor del ajuste fino del universo; la ausencia de vida no fundada en el carbono; y por fin, la confirmación la vinculación de la formación de galaxias con la velocidad de expansión del universo.

En 1987, Steven Weinberg se propuso hallar un límite antrópico a la constante cosmológica; partió de la hipótesis de multiverso para predecir que nuestro universo observable debía tener una constante cosmológica de valor no cero, una cuantía suficiente para acomodar la aceleración de la expansión del universo⁷⁸. La predicción se confirmó diez años más tarde a través de las observaciones de supernovas lejanas por dos equipos de astrónomos, según hemos mencionado más arriba. Al poco del descubrimiento de la aceleración del universo, Weinberg propuso que el valor de la constante cosmológica que medimos ahora se habría seleccionado antrópicamente. Es decir, si hubiera muchos universos y, en cada universo, el valor de la energía de espacio vacío tomara un valor aleatorio basado en alguna distribución de probabilidades

77 J. Leslie, "Probabilistic Phase Transitions and the Anthropic Principle", en *Origins and Early History of Universe: Liege 26*, Knudsen, 1986, pp. 439-444.

78 S. Weinberg, "Anthropic bound on the cosmological constant", *Physical Review Letter*, 59 (1987), pp. 2607-2610.

entre todas las energías posibles, entonces solo en aquellos universos en que el valor no fuera diferente del que medimos podría medrar la vida. Dicho de otro modo, no debe sorprendernos descubrir que vivimos en un universo en el que podemos vivir. Más recientemente se ha tornado más escéptico⁷⁹.

El interés no decaía. En 1988 se celebró en Venecia la primera Conferencia Internacional sobre el Principio Antrópico y sus Implicaciones. Participaron, entre otros, Carter, Sciama, Hoyle, George Ellis, Barrow y otros⁸⁰. Un año después hubo otro congreso internacional en Leningrado. En 1998 Hawking y Neil Turok utilizaron la función de onda de Hawking-Hartle para el universo, acoplada con el principio antrópico, como forma de alcanzar un universo abierto en un escenario ampliamente inflacionario (sin falso vacío). Poco después, las nuevas mediciones de distancia de supernovas de tipo Ia parecieron propiciar un universo plano, y Turok al menos no deseó apelar ya al principio antrópico. En 2003, Leonard Susskind invocaba el principio antrópico para salir de la enorme multiplicidad de soluciones que infestaban la teoría de cuerdas⁸¹.

79 “This sort of reasoning is called anthropic, and it has a bad name among physicists. Although I have used such arguments myself in some of my own work on the problem of the vacuum energy, I am not that fond of anthropic reasoning” S. Weinberg, *Facing Up*. Harvard University Press, 2001, p. 173.

80 M. Abranowicz & G. F. R. Ellis GFR., “The elusive anthropic principle”, *Nature*, 337 (1989), pp. 411-412.

81 L. Susskind, “The anthropic lanscape in string theory”, *ArXiv:hep-th/0302219*.

4. Multiverso

Para resolver el problema del ajuste fino sin recurrir forzosamente al principio antrópico fuerte, ni invocar a un agente externo, se esgrimió la tesis del multiverso: si las constantes de la naturaleza adoptan todos los valores posibles en un conjunto lo bastante grande de universos, aquellos que hacen posible la vida deberán darse en algún lugar. Se supone que esos universos surgen en el curso de la inflación. Se produce una inflación caótica si persiste la inflación en dominios lejanos de nosotros, formando una estructura casi fractal de dominios inflacionarios y universos burbuja⁸².

La idea de multiverso tiene unos antecedentes históricos que, siquiera someramente, vale la pena recordar⁸³. La palabra griega *kosmos* la encontramos ya en la *Iliada* de Homero, para designar el orden de los soldados en el campo de batalla o el de los remeros en la nave. Con ese término indicaba Herodoto el alto grado de organización del estado de Esparta; también, el orden en general. De ahí pasó a denominar al mundo en su globalidad, con Pitágoras, en el siglo VI a. C., y en Protágoras, un siglo después. Ese significado quedó plenamente asentado en el tiempo de Platón (429-347 a. C.). Otros términos empleados por este para referirse al universo fueron *pan* (todo), *onta* (todas las cosas), *ouranos* (el firmamento) y *to olon* (el todo). En el *Timeo*, Platón insiste en que el mundo debe ser singular y perdurable. Pero su mundo está sembrado de diferencias, de mezcla y pluralidad; es un uni-

82 G. Ellis, "Physics ain't what it used to be", *Nature* 438 (2005), pp. 739-740.

83 M.-J. Rubinstein, *Worlds Without End. The Many Lives of the Multiverse*, New York, Columbia University Press, 2014.

verso de interrelación entre orden y desorden, entre lo singular y lo plural, entre la unidad y la diferencia.

Con Aristóteles se consolida la idea de un cosmos singular y geocéntrico, un universo cuya unicidad y eternidad no estaban aseguradas con Platón. Como el estagirita explica en el *De caelo*, el mundo puede ser generado y corruptible o increado e incorruptible. Pero no puede ser al mismo tiempo generado e incorruptible. Un universo con un principio no puede ser un universo sin un final. De las dos opciones que plantea (o generado y corruptible o increado e incorruptible), Aristóteles optará, por el segundo, para subrayar que un mundo que exista eternamente ha de ser único⁸⁴.

La teoría de una posible multiplicidad de mundos se remonta a los filósofos atomistas del siglo V a.C. Frente a los principios de la materia constituidos por un solo elemento (agua, aire, fuego, lo indefinido) de los filósofos jónicos, Leucipo y su discípulo Demócrito sostenían que el mundo estaba compuesto no de un elemento básico, sino de piezas microscópicas e indivisibles de materia denominadas átomos. Esos átomos se mueven eternamente en un vacío (*kenon*). En un tiempo y lugar indeterminados colisionan al azar y forman un vórtice, en el que los átomos quedan mutuamente entrelazados, entrelazamientos que terminarán por dar lugar a un universo. Lo mismo acontecerá con otros vórtices. Pero ni la multiplicidad espacial de los atomistas, ni la posterior multiplicidad temporal de los estoicos triunfaron. Hasta Einstein, el pensamiento occidental sostendría que el universo era uno e inmutable.

⁸⁴ Aristóteles, *De caelo*, 280a24-28.

En la Edad Media, santo Tomás de Aquino defendió la singularidad cósmica en la línea de Aristóteles, una postura que años más tarde condenaría el obispo Etienne Tempier de París cuando declaró anatema la tesis de que Dios no podía crear más de un mundo⁸⁵. Los siglos que siguieron fueron testigos de un torrente de tratados sobre la posibilidad de mundos múltiples; citemos, por mor de ejemplo, el multiverso sin centro de Nicolás de Cusa en el siglo XV y los mundos infinitos de Giordano Bruno. El término *multiverso* fue acuñado por William James en 1895. En “Is Life Worth Living?”, discurso dirigido a la Asociación de Jóvenes Cristianos de la Universidad de Harvard, expresaba el sentimiento que suponía compartido por la audiencia, de que la “*visible nature is all plasticity and indifference, a multiverse, as one might call it, and not a universe*”⁸⁶.

Hay más de un multiverso, más de un conjunto hipotético de universos⁸⁷. Algunos de esos conjuntos son incompatibles entre sí. De otros se dice que se encuentran anidados, incluidos a la manera de muñecas rusas, en una jerarquía cósmica de infinitos dentro de infinitos⁸⁸. Los hay, además, que por fin, podrían ser maneras diferentes de expresar el mismo conjunto. Tal

85 E. Grant. *Much ado about nothing. Theories of space and vacuum from the Middle Ages to the Scientific Revolution*, Cambridge, Cambridge University Press, 1981; Ed. Grant, *Planets, Stars, & Orbs. The Medieval Cosmos, 1200-1687*, Cambridge, Cambridge University Press, 1994.

86 W. James « Is Life Worth Living », *International Journal of Ethics*, 6, 1, (1895), p. 10.

87 A. Linde, “Inflationary Theory Versus Ekpyrotic/Cyclic Scenario: A Talk at Stephen Hawking’s 60th Birthday Conference”, en *The Future of Theoretical Physics and Cosmology*, ed. G. W. Gibbons, E. P. S. Shellard, & S.J. Rankin. Cambridge, Cambridge University Press, 2002, pp. 801-838.

88 M. Tegmark, “Parallel Universes”, *Scientific American*, May 2003, pp. 41-51.

acontece cuando hablamos del “paisaje” de la teoría de cuerdas. Andre Linde y Leonard Susskind sostienen que el paisaje expresa la distribución del multiverso inflacionario⁸⁹; según Stephen Hawking y Thomas Hertog, el paisaje cartografía la interpretación de muchos mundos de la mecánica cuántica⁹⁰.

La primera hipótesis de fuste científico sobre el multiverso emergió en la segunda mitad de los años cincuenta, cuando Hugh Everett convirtió a la Interpretación de Muchos Mundos (MWI, de “Many-Worlds Interpretation”) en explicación alternativa a la interpretación de Copenhague, entonces estándar, de la mecánica cuántica, avanzada por Niels Bohr y Werner Heisenberg⁹¹. Hablando con propiedad, los muchos mundos de Everett de la mecánica cuántica corresponden a los diversos estados (vectores) en una superposición de estados. Se introducen para evitar la reducción, o colapso, de la función de onda en el acto de medición⁹². Carter asoció, por su lado, las explicaciones antrópicas al multiverso⁹³, “*in terms of a ‘world ensemble’*”. De

89 A. Linde, “Eternally Existing Self-Reproducing Chaotic Inflationary Universe”, *Physics Letters B*, 175 (1986), pp. 395-400. p. 399; L. Susskind, *Cosmic Landscape: String Theory and the Illusion of Intelligent Design*, Boston, Back Bay Books, 2006, p. 12.

90 S. Hawking & T. Hertog, “Populating the Landscape: A Top-Down Approach”, *Physical Review D* 73 (2006), pp. 1-9.

91 H. Everett, “‘Relative State’ Formulation of Quantum Mechanics”, *Review of Modern Physics*, 29 (1957), pp. 454-462.

92 J. Earman, “The SAP also rises: A critical examination of the anthropic principle”, *American Philosophical Quarterly*, 24 (1987), pp. 307-317.

93 B. Carter, « Large Number Coincidences and the Anthropic Principle in Cosmology », *IAU Symposium 63: Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data*. Dordrecht, Reidel, 1974, pp. 291-298.

hecho, pretendió anclar sus muchos mundos en la interpretación de Everett, pero no era un punto de apoyo correcto, como puso de relieve McMullin⁹⁴. Ni es obligada la vinculación del principio antrópico con el multiverso. De hecho, la hipótesis del multiverso tuvo una fuerte oposición durante los años setenta y ochenta⁹⁵. Muchos científicos se sentían incómodos, y se siguen sintiendo, con la propuesta de una cantidad inmensa de universos para explicar las propiedades del cosmos donde vivimos. La teoría del multiverso se halla en las antípodas de una teoría del todo. En el marco del multiverso, tipos de partículas y formas de interacción son mero accidente. Lo que nosotros conocemos por constantes de la naturaleza, tales como intensidad de la gravedad o la razón de masa del protón a la del neutrón, presentan determinados valores aquí, pero en regiones remotas, allende nuestro horizonte de visión, podrían tomar otros valores y producir universos con propiedades muy diferentes; quizás en ausencia de átomos complejos y moléculas y, por tanto, de vida⁹⁶.

En 1977 John Archibald Wheeler planteó las posibilidades de un universo cíclico. Una secuencia infinita de universos que van alternando colapso y expansión, en rueda permanente. Cada gran implosión rebota en una nueva singularidad inicial (*big bang*). Los universos se van sucediendo bajo condi-

94 E. McMullin, "Indifference principle and anthropic principle in cosmology", *Studies in the History and Philosophy of Science*, 24 (1993), pp. 359-389.

95 M. Deakin, G. J. Troup & L. B. Grant, "The anthropic principle in a unique universe", *Physics Letters A*, 96 (1983), pp. 5-6.

96 A. Liddle, "Chasing universes", *Nature* 505 (2014), pp. 24-25.

ciones iniciales enteramente inéditas⁹⁷. Todos los modelos de big bang se van realizando, por lo que no cabe maravillarse que algunos sean coherentes con la vida. La propuesta muestra flancos débiles: si la tasa de expansión de un ciclo es suficientemente grande (si el universo de ese ciclo es abierto o plano), el colapso de implosión no se producirá.

George Ellis y G. Bundrit sugirieron la existencia de muchos dominios inconexos más allá del horizonte mutuo y en el interior de un universo FRW (de Friedmann, Robertson y Walker) infinito y abierto⁹⁸. “En un universo de baja densidad de Robertson-Walker es altamente probable, escribían, que exista una infinidad de mundos en los cuales haya publicaciones duplicadas (poblaciones iguales en número y constitución genética) de las de nuestro mundo. Podemos evitar esa conclusión, si 1) el campo gravitatorio es sumamente intenso para cerrar secciones espaciales del universo, o 2) alguna propiedad de la singularidad inicial dota a las secciones espaciales planas o hiperbólicas del Universo con topologías no naturales cerradas, no inducidas por el campo gravitatorio, o 3) el Universo es inhomogéneo, donde la vida se desarrolla solo en lugares privilegiados.”⁹⁹.

Otra hipótesis temprana sobre el multiverso entró en escena a mediados de los ochenta, cuando Alexander Vilenkin, Andrei Linde, Alan Guth, An-

97 J. Wheeler, “Genesis and observership”, en J. Butts & J. Hintikka (ed.) *Foundational Problems in the Special Sciences*. Dordrecht, Reidel, 1977, pp. 3-33.

98 G. Ellis & G. Bundrit, «Life in the infinite universe», *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, 20 (1979), pp. 37-41.

99 G. Ellis & G. Bundrit, «Life in the infinite universe», *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, 20 (1979), p. 37.

dreas Albrecht y Paul Steinhardt propusieron que el proceso inflacionario que generó nuestro universo podía ir eternamente engendrando nuevos universos¹⁰⁰. Basados en la cosmología cuántica y en el universo inflacionario, Vilenkin y Linde avanzaron sendos modelos en que las fluctuaciones cuánticas de la nada (donde “nada” significa no solo ausencia de materia, sino también de espacio y tiempo) producían una multiplicidad (infinitud) de nucleaciones, cada una de las cuales conducía a un superuniverso diferente y eternamente inflacionario. La inflación caótica a la que aluden sostiene que, a gran escala, el espacio es un vacío en eterna expansión. Cada uno de esos universos se halla espacial, causal e informacionalmente desconectado de los demás. Cada superuniverso de inflación eterna engendra una serie sin final de diferentes universos burbuja; todos, no obstante, forman parte del mismo espaciotiempo. Para restringir el conjunto ingente de condiciones iniciales, Vilenkin aplicó el principio antrópico. Por su parte, David Lewis avanzó su realismo modal, que estipula un multiverso constituido por mundos e individuos posibles que ocupan todo el espacio lógico¹⁰¹.

100 A. Vilenkin, “The Birth of Inflationary Universes”, *Physical Review D*, 27 (1983), pp. 2848-55; A. Linde, “Eternally Existing Self-Reproducing Chaotic Inflationary Universe”, *Physics Letters B*, 175 (1986), pp. 395-400; A. Albrecht A & P. J. Steinhardt, “Cosmology for Grand Unified Theories with Radiatively Induced Symmetry Breaking”, *Physical Review Letters*, 48 (1982), pp. 1220-1223; A. H. Guth AH & P. J. Steinhardt, “The Inflationary Universe”, *Scientific American*, May 1984, pp. 116-28.

101 “There are so many other worlds, in fact, that absolutely every way that a world could possibly be is a way that some universe is”. D. Lewis, *On the Plurality of Worlds*, Oxford, Basil Blackwell, 1986, p. 2.

Ya hemos dicho que en 1987 Steven Weinberg partió de la hipótesis de multiverso para predecir que nuestro universo observable debía tener una constante cosmológica de valor no cero, de una cuantía suficiente para acomodar la aceleración de la expansión del universo. En 1997 Lee Smolin propuso un modelo cosmológico evolutivo en cuyo marco, siempre que se forma un agujero negro, los procesos que se desarrollan en su interior podrían desencadenar la creación de otro universo en un espacio disjunto del suyo propio. El así llamado universo-bebé hereda determinadas propiedades de su universo progenitor, incluida la capacidad de producir nuevos agujeros negros y engendrar nuevas generaciones de universos sin final¹⁰². Lisa Randall y Raman Sundrum consideran los multiversos branas, subespacios tetradimensionales de un supuesto espaciotiempo pentadimensional. Las branas se hallan separadas en dimensiones espaciales extra, sin contacto entre sí¹⁰³. La hipótesis del multiverso antrópico recibió el apoyo de la teoría de cuerdas —en particular al percatarse de que podrían superarse los 10^{500} e incluso los 10^{1000} diferentes estados de vacío de cuerdas, correspondiente cada uno a un tipo distinto de universo. En el año 2000, Joseph Polchinsky, de la Universidad de California en Santa Barbara, y Raphael Bousso, de la Universidad de California en Berkeley, admitieron que, en torno a las dimensiones suplementarias, podrían desarrollarse otras estructuras topológicas: flujos y membranas. Tendríamos más de 10^{1000} estados de baja energía, en cada uno de los cuales podría hallarse nuestro universo

102 L. Smolin, *The Life of the Cosmos*, Oxford, Oxford University Press, 1997.

103 L. Randall & R. Sundrum, *Physical Review Letters*, 83 (1999), pp. 4690-4693.

observable. Mas la dinámica de la teoría de cuerdas no ha avanzado lo suficiente para avalar ningún juicio definitivo sobre el número de estados fundamentales que sean físicamente posibles. Sostienen algunos que es el elevado número de estados posibles fundamentales lo que nos permite una explicación del ajuste fino del universo basado en el principio antrópico¹⁰⁴.

Al doblar el milenio, la mecánica cuántica, la cosmología y la teoría de cuerdas se habían encontrado de una u otra forma con el multiverso. La hipótesis del multiverso ofrecía una salida al ajuste fino. Aunque no todos lo ven así. Bernard Carr, por ejemplo, sostiene que “en general las propuestas de multiversos no han venido motivadas por un afán de explicar el ajuste fino antrópico; en su mayoría surgieron independientemente a partir de avances en cosmología y física de partículas”¹⁰⁵. En cambio, para Martin Rees, la hipótesis del multiverso fue en su origen una conjetura motivada por el deseo de explicar el manifiesto ajuste fino del universo e, incidentalmente, una forma de minar el argumento teológico del diseño.

El universo observable se extiende hasta una distancia de unos 42.000 millones de años luz, nuestro horizonte visual cósmico. Pero no existe ninguna razón para suponer que todo termina ahí. Más allá podría haber muchos —tal vez infinitos— dominios similares al nuestro. Cada uno habría comenzado con una distribución diferente de materia, pero todos se regirían por las mismas leyes de la física. La mayoría de los cosmólogos aceptan ese

104 R. Bousso & J. Polchinski, “Quantization of Four-Form Fluxes and Dynamical Neutralization of the Cosmological Constant”, *Journal of High Energy Physics*, 6 (2000), pp. 1-25.

105 B. Carr, “Introduction and Overview”, en *Universe or Multiverse?* Ed. Carr, p. 4.

tipo de multiverso, que Max Tegmark tipifica como de “nivel 1”. Se supone que nuestro volumen constituye una muestra representante del total. Otros seres en lugares lejanos verían regiones diferentes. El conjunto de todas esas regiones, visibles o no por nosotros, conformaría la versión más sencilla de multiverso¹⁰⁶. Para Tegmark, en efecto, la cuestión clave no es la de si existe el multiverso, sino la de cuántos niveles presenta¹⁰⁷.

En el segundo nivel de Tegmark, las leyes físicas varían dentro del multiverso, de suerte que las regiones remotas pueden considerarse universos distintos. Esta versión es necesaria para explicar la constante cosmológica o la estabilidad de los neutrones en el interior del núcleo. La mayoría de esos universos serían estériles, pero algunos hervirían de vida. Partidario de este multiverso de “nivel 2” es Vilenkin, quien defiende un conjunto infinito de universos, con un número infinito de galaxias y planetas. Por su propia naturaleza, la idea de multiverso de nivel 2 trasciende toda verificación empírica. En el tercer nivel de Tegmark, habría universos paralelos solo como estados cuánticos. El multiverso de nivel cuarto proclama que el multiverso no solo está bien descrito por la matemática, sino que es matemática¹⁰⁸. Todas las estructuras matemáticas posibles presentarían existencia física y, colectivamente, ofrecerían un multiverso que subsumiría el resto.

106 M. Tegmark, *Our Mathematical Universes: My Quest for the Ultimate Nature of Reality*, New York, Knopf, 2014.

107 M. Tegmark, “Parallel universes”. *Scientific American*, May 2003, pp. 30-41.

108 “Level IV brings closure to the hierarchy of multiverses, because any self-consistent fundamental physical theory can be phrased as some kind of mathematical structure.” M. Tegmark, “Parallel universes”, *Scientific American* May 2003, p. 40.

Hay otras clasificaciones de modelos de multiverso. Por ejemplo, los que atienden a intuiciones precursoras en la historia del pensamiento¹⁰⁹. El primer tipo configura los universos *espacialmente*, con un número infinito de mundos diferentes separados por extensiones inmensas de espacio-tiempo ordinario o por un mar de energía en celeridad expansión. Salvando las distancias conceptuales, este tipo de multiverso espacial se encuentra ya entre los atomistas de la antigüedad clásica, que abogaban por un número infinito de universos dispersos por un vacío espacial infinito. El segundo tipo configura los universos *temporalmente*, de suerte que un universo o parte del mismo se colapsa para formar un nuevo universo, un proceso que se repite a través de un tiempo infinito¹¹⁰. Esos multiversos cíclicos nos traen a la memoria la cosmología de los estoicos (rivales de los atomistas), quienes sostenían que el universo se consumía periódicamente en el fuego para renacer de las cenizas del mundo viejo. Un tercer tipo de multiverso se basa en la interpretación de muchos mundos de la mecánica cuántica (MWI, de “Many-Worlds Interpretation”), que sugiere que el universo se separa en diferentes ramas cada vez

109 M.-J. Rubinstein, *Worlds Without End. The Many Lives of the Multiverse*, New York, Columbia University Press, 2014.

110 Ejemplos de obras sobre modelos temporales o cíclicos comprenden L. Smolin, *The Life of the Cosmos*, New York, Oxford University Press, 1997; L. Baum L & P. Frampton, “Turnaround in Cyclic Cosmology”, *Physical Review Letters*, 98, (2007), pp. 1-4; P. J. Steinhardt & N. Turok, *Endless Universe: Beyond the Big Bang. Rewriting Cosmic History*. New York, Broadway Books, 2008; M. Bojowald, *Once Before Time: A Whole Story of the Universe*, New York, Vintage, 2010; R. Penrose, *Cycles of Time: An Extraordinary New View of the Universe*, New York, Knopf, 2011.

que una partícula decide sobre una posición¹¹¹. Estos modelos cuánticos carecen de precedents filosóficos directos, antiguos o modernos. Ni espaciales, ni temporales, en sentido estricto, los modelos cuánticos existen como ramas diferentes de la misma función de onda cuántica en un espacio de dimensiones infinitas.

Se habla también de un tipo modal de multiverso, que estipula que todos los mundos posibles deben existir y, además, que un número infinito de cada mundo posible debe existir¹¹². Entre los precedentes filosóficos recientes, se mencionan Robert Nozick¹¹³ y David Lewis¹¹⁴. A ello es a lo que Brian Green denominaba el multiverso definitivo, porque contenía todos los demás multiversos en su interior¹¹⁵, y Paul Davies “multiverso con una venganza”¹¹⁶. Muchos descubren sus raíces modernas en la filosofía de Gottlob Leibniz, quien declaraba que en la medida en que Dios escogió entre un infinito número de mundos posibles en el momento de la creación y en la medida en que Dios es sumamente bueno, nuestro mundo debe ser el mejor de los

111 D. Deutsch, *The Fabric of Reality*. New York, Penguin, 1997; C. Bruce, *Schrödinger's Rabbits: The Many-Worlds of Quantum*, Washington DC, Joseph Henry, 2004.

112 M. Tegmark, “The Multiverse Hierarchy”, en *Universe or Multiverse*, ed. B. Carr, Cambridge, Cambridge University Press, 2007, pp. 99-125..

113 R. Nozick, *Philosophical Explanations*, Cambridge, Harvard University Press, 1981.

114 D. Lewis *On the Plurality of the Worlds*, Oxford, Oxford University Press, 1986.

115 B. Greene, *Hidden Reality: Parallel Universes and the Deep Laws of the Cosmos*, New York, Knopf, 2011, p. 294.

116 P. Davies, *Cosmic Jackpot: Why Our Universe Is Just Right for Life*, New York, Houghton Mifflin, 2007, p. 210.

mundos posibles¹¹⁷. La diferencia principal entre ambas teorías —aparte del recurso a la divinidad— es que en Leibniz los demás mundos eran posibles y en el multiverso modal todos los universos posibles son reales; también inaccesibles, al menos físicamente. El conjunto de esos universos existe fuera del espacio y del tiempo. Pero escasean los partidarios de esa propuesta. Después de todo, la praxis científica entraña la observación y contrastación experimental, que parecen quedar anulados en un número infinito de mundos posibles que existen fuera del espacio y el tiempo.

5. Teoría de cuerdas

Considerada durante años una curiosidad marginal, la teoría de cuerdas pasó a ocupar el centro de lucubración de la física de altas energías a mediados de los ochenta, cuando dos grupos de investigadores demostraron la compatibilidad de la gravedad con la física cuántica, su unión. Solo una teoría cuántica de la gravedad podía fusionarse con las otras fuerzas naturales conocidas, alguna de las cuales presenta un nítido origen cuanto mecánico. También la teoría de cuerdas predice una amplísima diversidad de universos. Permite la existencia de burbujas muy diferentes entre sí. Cuando nace una de ellas, no solo es aleatoria su distribución inicial de materia, sino que también lo es el tipo de materia que posee. El conjunto de todas las leyes locales recibe el nombre de *paisaje*. Se trata de un paisaje enorme, lo que asegura una diversidad fabulosa de universos. La teoría de cuerdas, que requiere un grado

117 N. Rescher, *On Leibniz*, Pittsburgh, University of Pittsburgh Press, 2003, en particular el capítulo 1: “Leibniz on Possible Worlds”, pp. 1-44.

altísimo de simetría, ha desempeñado un papel destacado en la física teórica de los últimos tres decenios y ha transformado por entero nuestra interpretación de los principios fundamentales de la construcción del universo. De acuerdo con sus postulados básicos, existen entidades bidimensionales (cuerdas) que vibran en un espaciotiempo de diez (u once) dimensiones y que, lejos de ser puntuales, presentan una extensión finita. Vibraciones de espaciotiempo que deberían, en principio, dar origen a las partículas. Con otras palabras, las partículas puntuales serían, en realidad, estados vibracionales de un objeto extendido al que llamamos cuerda o filamento. Así, pues, se supone que la teoría de cuerdas constituye la teoría definitiva de física fundamental, unificadora de todas las fuerzas fundamentales en una, capaz de justificar la existencia de todas las partículas fundamentales como vibraciones de objetos bidimensionales en un espaciotiempo pluridimensional.

Las condiciones de consistencia de la teoría de cuerdas quedan de una manera mucho más natural satisfechas en diez dimensiones espaciotemporales. Para dar cuenta del hecho de que solo percibimos un tiempo y tres dimensiones espaciales, es necesario suponer que las seis dimensiones adicionales se encuentran apretadamente enrolladas. La forma de ese espacio compacto de seis dimensiones se caracteriza por un gran número de enteros. Cada uno de esos enteros puede tomar un gran número de valores. Se ha estimado que el número de soluciones para la forma en que las seis dimensiones adicionales se enrollan se halla entre el orden de 10^{100} y el orden de 10^{500} . Esa multiplicidad de soluciones no es otra cosa que el paisaje de cuer-

das¹¹⁸. El razonamiento antrópico cobra sentido para una constante determinada si el rango en el cual la constante varía en el paisaje de cuerdas es amplio en comparación con el rango antrópicamente permitido de valores de la constante¹¹⁹.

La teoría de cuerdas teje una red compleja de análisis matemático, conjeturas generales que se basan en el razonamiento sobre determinados casos límite, modelización y algunas aproximaciones cuantitativas. Pero la teoría no ha encontrado confirmación empírica hasta hoy, ni ha superado todo tipo de pruebas, ni tan siquiera se encuentra completa. En su forma actual, predice que muchas de las cualidades esenciales del universo se deben a la mera casualidad. Si el universo fuese único, esas propiedades se antojarían inexplicables. ¿Cómo entender, por ejemplo, que las leyes de la física presenten los atributos que hacen posible la vida? Sin embargo, si existiesen numerosos universos, tales propiedades tendrían perfecto sentido: no habrían aparecido por ninguna razón especial, sino que simplemente serían las que surgieron en nuestra región del espacio. Y si viviésemos en otro sitio, observaríamos otras (suponiendo, claro, que se tratase de un lugar donde se permite la existencia de vida).

118 S. Weinberg, *Lake Views. This World and the Universe*, Cambridge, Mass., The Belknap Press of Harvard University Press, 2009.

119 S. Weinberg, "Living in the multiverse", en *Universe or Multiverse*, ed. B. Carr. Cambridge University Press, 2007, pp. 29-42. Ese texto fue la lección de apertura del simposio *Expectations of a Final Theory* celebrado en el Trinity College de Cambridge el 2 de septiembre de 2005.

Basándose en la cosmología inflacionaria, algunos teóricos de cuerdas sostienen que la inmensidad de estados posibles resultan ser universos isla concretos. Porque, una vez que comenzó la inflación al poco del big bang, en cualquier parte, continuará para siempre ese proceso (“inflación eterna”). Según Susskind y Vilenkin, si combinamos el paisaje de las posibilidades que emergen de la teoría de cuerdas con la inflación eterna, la cuestión no es tanto por qué se ha seleccionado un estado entre un número ingente de estados posibles, sino por qué vivimos en nuestro universo isla. Susskind y Vilenkin se apoyan en el principio antrópico. Las constantes naturales del universo observable —masa de las partículas, fuerzas, velocidad de expansión, etcétera, que dependen del estado de cuerda ocupado— deben hallarse en parámetros restringidos para que pueda darse la vida que conocemos.

Se ha sugerido que el vacío de la teoría de cuerdas es una estructura de posibilidades inmensamente complejas. Cada vacío posible resulta en un tipo diferente de física local; por ejemplo, todos los valores posibles de la constante cosmológica ocurrirán en diferentes vacíos de la teoría de cuerdas. Si suponemos que los universos bolsillo de inflación caótica corresponden a diferentes vacíos, entonces todos los tipos posibles de física ocurren en diferentes localidades en alguna parte del multiverso. Si se realizan de ese modo combinaciones suficientes de posibilidades, entonces ocurrirán inevitablemente, en alguna parte del multiverso, las condiciones increíblemente especiales para que exista la vida. En consecuencia, el diseño esgrimido a

propósito de las condiciones favorables para la vida en nuestro dominio de universo reciben una explicación enteramente naturalista¹²⁰.

Si la energía de vacío toma un amplio abanico de valores en el multiverso, seguimos a Weinberg, resulta normal entonces que los científicos se encuentren a sí mismos en un subuniverso en el que la energía de vacío tome un valor idóneo para la aparición de los científicos. Ese valor para la energía del vacío no puede ser ni demasiado grande ni positivo, porque no se formarían entonces ni las galaxias ni las estrellas. La energía del vacío debe ser menor que la densidad de masa del universo en el tiempo en que las galaxias empezaron a condensarse. Puesto que eso ocurrió en el pasado, cuando la densidad de masa del universo en expansión era mayor que en la actualidad, el límite antrópico superior sobre la densidad de energía del vacío es mayor que la densidad actual de masa, pero no muchos órdenes de magnitud superior.

Cuanto mayor el número de valores posibles de los parámetros físicos aportados por el paisaje de cuerdas, tanto más la teoría de cuerdas legitima el razonamiento antrópico como nueva base de teorías físicas: cualquier científico que estudie la naturaleza debe vivir en una parte del paisaje donde los parámetros físicos tomen valores idóneos para la aparición de la vida y su evolución; es verosímil que tales partes del paisaje existan si los parámetros toman valores suficientemente numerosos en diferentes partes del paisaje de cuerdas. Pero los argumentos antrópicos no solo aportan un límite a la energía del vacío. Nos ofrecen alguna idea del valor que debemos esperar: la energía del vacío no debe ser muy diferente del promedio de los valores idó-

120 G. Ellis, «Physics ain't what it used to be», *Nature*, 438 (2005), pp. 739-740.

neos para la vida. Eso se llama a veces el principio de la *mediocridad*. Ese promedio es positivo, porque si el valor de la energía de vacío fuera negativo, tendría que ser menor, en valor absoluto, que la densidad de masa del universo durante todo el tiempo que se invirtió en la aparición de la vida; de no haber ocurrido así, el universo hubiera entrado en colapso antes de que hubiera astrónomos. Pero si es positivo, el valor de la energía de vacío solo tiene que ser menor que la densidad de masa del universo en el momento en que se formaron las galaxias¹²¹.

6. ¿De qué vida venimos hablando?

Durante siglos, la cuestión del origen de la vida permaneció confinada en el dominio de la filosofía y la alquimia. En extensa medida, son todavía numerosos los interrogantes que se sigue planteando el filósofo¹²². También los teólogos. Las grandes religiones, como las grandes civilizaciones de la antigüedad, aportaron su propio relato sobre el origen de los cuerpos inertes y los seres vivos. La biología, su marco científico por antonomasia, acometió una investigación sistemática a mediados del siglo XX, tras el descubrimiento de las estructuras del ADN y del ARN y su papel central en la codificación de proteínas. Del carácter singular de la biología se percató ya Niels Bohr, para

121 S. Weinberg, *Lake Views. This World and the Universe*, Cambridge, Mass., The Belknap Press of Harvard University Press, 2009.

122 M. Ruse, "The origin of life: philosophical perspectives", *J Theor Biol*, 187 (1997), pp. 473-482.

quien la vida era coherente con el razonamiento humano a partir de la física y la química, pero era indecidible a partir de las mismas¹²³.

La habitabilidad de los planetas, es decir, su capacidad para sustentar formas de vida, depende de la combinación de varios factores, que se consideran esenciales para la aparición, evolución y mantenimiento de la misma. Son factores cruciales, entre otros, las propiedades orbitales del planeta, su estabilidad en el transcurso a lo largo del tiempo, su composición, la existencia de una atmósfera y una superficie, amén de ingredientes químicos apropiados. Nuestro planeta se mostró lugar apropiado para la aparición de la vida: a la distancia idónea del Sol, dentro de su zona de habitabilidad, permitió la existencia de agua líquida. Dentro del sistema solar, los mejores candidatos para albergar vida, además de la Tierra, son Marte, Europa, Titán, Ganímedes y Encelado, cuerpos celestes donde se presume la existencia de superficie de agua helada: sugieren la posible existencia de vida en el pasado, podría haberla hoy o desarrollarse en el futuro.

Ello no obsta para que la mayoría de los elementos químicos del universo se produjeran en el interior de las estrellas. De hecho, en el fenómeno de la vida se involucra el universo entero. Los elementos más pesados se crearon durante episodios de explosiones estelares¹²⁴. Los organismos se componen de solo unos 26 de los 92 elementos que ocurren en la naturaleza. De esos 26, seis son los que cargan con el grueso de su peso: oxígeno (en torno al 70 por ciento), carbono (un 15 por ciento), hidrógeno (en torno a un 10 por

123 N. Bohr, "Light and life", *Nature*, 131 (1933), pp. 421-423.

124 M. J. Barlow *et al.*, "Detection of a Noble Gas Molecular Ion, 36ArH^+ , in the Crab Nebula", *Science* 342 (2013), pp. 1343-1345.

ciento), nitrógeno (en torno a un cuatro por ciento), calcio (en torno a un 2 por ciento) y fósforo (en torno a 1 por ciento). Los otros veinte elementos esenciales para la vida se encuentran presentes en concentraciones muy pequeñas y algunos solo son elementos traza¹²⁵. Entre los seis elementos esenciales solo faltaba confirmarse el origen extraterrestre del fósforo. Lo han conseguido Koo Bon-Chul y su equipo¹²⁶. Con esos seis elementos se constituyen las macromoléculas orgánicas y, por tanto, la química de la vida; el carbono, en particular, es único porque posee capacidad de formar largas cadenas. De los compuestos que portan carbono decimos que son orgánicos.

En teoría, otros elementos de la tabla periódica podrían cumplir las mismas funciones. Elisa Wolfe-Simon y su grupo describieron una bacteria, la cepa GFAJ-1 de las Halomonadaceae, del californiano Mono Lake, que sustituía el fósforo con arsénico para sustentar su desarrollo. El intercambio de uno de los principales bioelementos podría tener una importancia crucial en la evolución¹²⁷. Hasta bien entrado el siglo XIX, los químicos pensaban que solo los organismos vivos producirían compuestos orgánicos. No se sospechaba que los componentes orgánicos, hidrocarburos y sus derivados, pudieran sintetizarse en el laboratorio mediante procesos abióticos. En 1828 D. Wöhler produjo urea sin “fuerza vital”.

125 A. Coustenis & T. Encrenaz, *Life Beyond Earth. The Search for Habitable Worlds in the Universe*, Cambridge, Cambridge University Press, 2013.

126 K. Bon-Chul, *et al.*, “Phosphorus in the Young Supernova Remnant Cassiopeia A”, *Science*, 342 (2013), pp. 1346-1348.

127 E. Wolfe-Simon *et al.*, “A Bacterium that Can Grow by Using Arsenic instead of Phosphorus”, *Science* 332 (2011), pp. 1163-1166.

6.1. Doble enfoque del problema

Queda fuera del alcance de las técnicas de física de partículas y cosmología el describir la naturaleza y el origen de la complejidad biológica. Se ignora cómo se produjo la transición de una química abiótica a los primeros sistemas moleculares complejos, dotados de capacidad de reproducirse y evolucionar. A lo largo de los últimos 50 años, los científicos han venido investigando el origen de la vida desde múltiples frentes. Unos optan por partir desde los organismos actuales para alcanzar los precursores iniciales: aunque no hay garantía de que la vida en su comienzo se asemejara necesariamente a la biología de los organismos conocidos, se arranca de los microorganismos actuales más sencillos, confiando en la continuidad de la biología hasta hoy. Otros parten de la situación de la Tierra hace 4500 millones de años. En la frontera entre lo vivo y lo inerte están los virus, que necesitan de un organismo huésped para reproducirse.

La evolución darwinista aporta una interpretación de cómo apareció la complejidad biológica, pero no le cumple ofrecer un principio general de por qué surgió. De lo que se trata es de identificar los compuestos químicos cuya síntesis y combinación produjeron las primeras moléculas orgánicas. De la silva de planteamientos, se privilegian dos fundamentales, el llamado la información primero y el que postula que lo primero fue el metabolismo. La información primero pone el énfasis en la síntesis originaria de ácidos nucleicos. El mundo de ARN constituye la hipótesis que prima el papel fundante del ácido nucleico al presentar, junto a su capacidad informativa, propiedades catalíticas. El metabolismo implica la transferencia de materia y energía entre

el ser vivo y el entorno mediante reacciones químicas que modifican las moléculas. La entidad metabolizadora por excelencia es la célula, dotada de una membrana permeable que encierra un amplio repertorio de reactivos en su interior.

6.2. Definición de vida

¿Qué es un ser vivo? En su sentido más elemental, la vida tal como la conocemos se reduce a dos funciones: metabolismo y reproducción¹²⁸. Sería muy provechoso contar con una definición clara y unívoca de vida. En su defecto, se enumeran una serie de notas distintivas o criterios que han de satisfacer los organismos¹²⁹. Cada definición de vida refleja una escuela de pensamiento distinta¹³⁰. La vida terrestre, que utiliza agua como solvente, es termodinámicamente disipativa. Se aprovecha de gradientes de energía. Todos los organismos requieren energía para desenvolverse. Intercambian materia y energía con el medio. Se abastecen en fuentes diversas (radiación solar, procesos geotérmicos, etcétera), la transforman y adaptan a cada situación para continuar viviendo. La complejidad no puede aumentar en el tiempo sin una fuente de energía libre para generarla o transferirla. Propio

128 J. Tarter, "The Search for Extraterrestrial Intelligence", *Annual Reviews of Astronomy and Astrophysics*, 39 (2001), pp. 511.

129 National Research Council. *The Limits of Organic Life in Planetary Systems*. Committee on the Origins and Evolution of Life of the National Research Council. National Academies Press, 2007.

130 P. L. Luisi, "About various definitions of life", *Orig Life Evol Biosphe* 28 (1998), pp. 613-622; M. Muller, *Bios 100. Biology of Cells and Organisms*. Hayden-McNeil, 2011.

del ser vivo es utilizar los recursos disponibles en su entorno de acuerdo con sus necesidades. Cumple a los ácidos nucleicos realizar las funciones genéticas, a las proteínas las funciones catalíticas. Además del ADN y ARN se han postulado otros ácidos nucleicos como moléculas alternativas portadoras de información. Para asegurar la supervivencia de la especie, los individuos deben poder propagarse en descendientes. Unos organismos presentan rendimientos mayores que otros también en la reproducción. Ácidos nucleicos, proteínas y otros polímeros imprescindibles para la existencia de vida se hallan encerrados y delimitados por una membrana, constituida por lípidos. Las membranas son parcialmente porosas, de suerte que los nutrientes y productos de desecho puedan entrar y salir de las células de una forma controlada.

La homeostasis asegura que el medio interno de los organismos permanezca estable dentro de los límites de actividad, a pesar de los cambios operados en el exterior. Esa capacidad de adaptación es esencial para la supervivencia. A medida que los organismos se van amoldando a un entorno cambiante, van evolucionando y modifican sus características físicas y bioquímicas, inscritas en sus genes y moduladas por el medio, para incrementar la complejidad biológica. Además, las moléculas de la vida presentan quiralidad. (Una molécula quiral posee idéntica fórmula química y diferente disposición estructural de los átomos). Los aminoácidos que componen las proteínas son levógiros; dextrógiros, los azúcares que forman la espina dorsal del ADN. Apoyados en tal preferencia, los geoquímicos piensan que las primeras moléculas bióticas se construyeron sobre una suerte de molde mineral.

Un ser vivo es un sistema químico autopoyético (capaz de regenerar sus propios componentes), basado en el carbono. El concepto de autopoyesis fue

propuesto por Humberto R. Maturana y Francisco J. Varela para caracterizar a los seres vivos¹³¹. Para reconocer la materia viva se atienden en efecto, a las relaciones isotópicas de carbono. En la Tierra, la relación $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ en los minerales es de 90. Sin embargo, en los organismos esa razón se altera debido a la fotosíntesis. Las plantas utilizan preferentemente el isótopo más ligero (^{13}C) cuando convierten la luz solar y el dióxido de carbono en materia orgánica. Los sistemas vivos que han emergido en la Tierra han aparecido a través de un proceso de variación aleatoria en la estructura de biomoléculas heredadas, sometidas a selección natural para alcanzar su eficacia biológica.

6.3. ¿Dónde y cuándo?

Se ignora cuándo hizo la vida su aparición sobre la Tierra, aunque abundan los indicios de que se hallaba firmemente asentada en los inicios del eón Archeano. Se ha logrado ya esbozar mecanismos posibles para la consecución de una replicación automantenida de ácidos nucleicos y la celularización del material genético¹³². Abundan las propuestas de químicas prebióticas. Se han

131 “An autopoietic machine is a machine organized (defined as a unity) as a network of processes of production (transformation and destruction) of components that produces the components which: (i) through their interactions and transformations continuously regenerate and realize that network of processes (relations) that produced them; and (ii) constitute (the machine) as a concrete unity in the space in which they (the components) exist by specifying the topological domain of its realization as such a network”. H. Maturana & F. J. Varela, *Autopoiesis and Cognition: The Realization of Living*, Dordrecht, Reidel, 1980, pp. 78-79.

132 J. Gollihar, M. Levy & A. D. Ellington, “Many Paths to the Origin of Life”, *Science*, 343 (2014), pp. 259-260.

acometido múltiples experimentos para reproducir la atmósfera original de la Tierra, hasta dar un cuadro plausible. Dado que las moléculas de hidrógeno son lo suficientemente ligeras para escapar del campo gravitatorio terrestre, resulta verosímil que la mayor parte del carbono atmosférico se hallara en forma de CO₂ con alguna porción en forma de CO; el nitrógeno se encontraría mayoritariamente en forma de N₂. No habría oxígeno en la atmósfera terrestre inicial; cualquier O₂ liberado durante el episodio de fusión y calentamiento de la corteza habría reaccionado con los metales corticales, causando oxidación, mientras que la falta de O₂ sería decisiva para la síntesis de moléculas orgánicas. El O₂ posee una vida media atmosférica de unos cuatro millones de años; pese a ello, llegó a constituir entre el 10 y el 30 % del volumen atmosférico en los últimos 500 millones de años¹³³. En ausencia de O₂, las combinaciones gaseosas que contienen CO, CO₂, N₂, etcétera, producen los mismos resultados que los experimentos que parten de CH₄ y NH₃. Los átomos de hidrógeno se extraen esencialmente del vapor de agua, pero las combinaciones gaseosas con menos hidrógeno propician mejor el desarrollo de aminoácidos aromáticos bajo las condiciones que esperamos de la Tierra primitiva. Aunque carezcamos de pruebas directas, cabe admitir la hipótesis de una atmósfera primitiva reductora, pues predominaría una intensa actividad volcánica que arrojaría CO₂, N₂, H₂, H₂S y SO₂ a la atmósfera, hace unos 4000 millones de años.

Entre los procesos relacionados con la vida en el *Eón Hadeano* (hace 4600-4000 millones de años) importa el papel de la estructura interna de la

133 P. G. Falkowski & Y. Isozaki, "The Story of O₂", *Science*, 322 (2008), pp. 540-542.

Tierra: en el centro, un núcleo de hierro rodeado por una capa de silicatos; se crea un campo magnético por el movimiento del núcleo magnético; la superficie del planeta es un océano de magma; el agua, inicialmente en forma de vapor, se condensa en océanos líquidos. Se produce el enfriamiento de superficie, océanos y atmósfera. A esa fase le sigue el *Archeano* (hace 4000-2500 millones de años), caracterizado por un bombardeo intenso de meteoritos. Se presume la presencia de nitrógeno combinado con metano durante este período, así como un entono violento y caliente en donde la Tierra estaba fundida debido al inmenso calor producido por la energía de acreción y por los volcanes. La concentración de los componentes esenciales de la vida se refugiaría en compartimentos alejados a los humeros hidrotermales.

Durante el *Eón proterozoico* (hace 2500-500 millones de años) se produce la oxigenación de la atmósfera. Las concentraciones de oxígeno aumentaron hasta niveles significativos hace unos 2000 millones de años como consecuencia de la fotosíntesis y secuestro de carbono orgánico. Al propio tiempo, cayeron las concentraciones de dióxido de carbono y otros gases de invernadero para compensar el crecimiento de la luminosidad solar. El clima bastante estable de la Tierra era probablemente resultado de una retroalimentación negativa entre el CO₂ atmosférico, la temperatura de superficie y la velocidad de erosión de las rocas de silicatos.

Las chimeneas de los volcanes submarinos podrían haber sido un lugar privilegiado para la síntesis de moléculas orgánicas antes de que emergiera la vida. Las altas temperaturas en las proximidades de una chimenea permiten que se desarrollen reacciones rápidas. Las moléculas acabadas de sintetizar podrían escapar por la chimenea hacia el agua oceánica circundante cuya temperatura posibilitaría la conservación de esas sustancias frágiles. En tierra

firme, podrían haberse formado moléculas orgánicas complejas en charcas someras o bordes de lagos, donde la evaporación del agua incrementaría la concentración de compuestos químicos útiles. Comoquiera que fuere el origen de la vida, se produjo la explotación de alguna forma de potencial químico redox. La síntesis de moléculas orgánicas complejas utilizadas por los organismos requiere energía. Hubo varias fuentes de energía en la Tierra primitiva. La luz ultravioleta puede formar sustancias químicas orgánicas, pero con idéntica facilidad las descompone. Las tormentas de rayos y relámpagos podrían haber resultado más útiles, puesto que se presentan cerca del suelo, permitiendo que las moléculas formadas por esa radiación lleguen a lagos y océanos intactas antes de que las degrade la luz ultravioleta. La acción de los rayos puede crear cianhídrico, un compuesto muy versátil con el que cuentan para su formación muchas moléculas orgánicas.

Algunos meteoritos contienen cantidades significativas de moléculas orgánicas, incluidos aminoácidos y bases nucleotídicas; podrían haber constituido una fuente importante porque caían con profusión sobre la Tierra. Quizá la vida surgió antes del bombardeo y fueron extremófilos los únicos organismos que sobrevivieron a ese cataclismo. Los extremófilos medran en fuentes termales, chimeneas volcánicas y otros lugares con temperaturas superiores a los 100 grados C. La vida en esos lugares extremos es dura y comporta un largo tiempo de adaptación. Por eso cabe pensar que la vida no se originara allí. Sin embargo, la presencia de extremófilos en la base del

árbol de la vida sugiere la existencia de unas condiciones tan inhóspitas para la vida, que solo los extremófilos podían sobrevivir¹³⁴.

6.4. Sopa prebiótica

Para crear vida se necesita la concurrencia y combinación de diversos compuestos orgánicos, una suerte de sopa prebiótica. Ese caldo pudo haberse preparado a partir de componentes que ya existían en la Tierra o pudo haber incluido suministros exógenos introducidos por cometas, asteroides, micro-meteoritos o partículas de polvo interplanetarias¹³⁵. A lo largo de los últimos ochenta años se han ido moléculas y macromoléculas de la bioquímica de la vida. La síntesis de Strecker produjo aminoácidos a partir de metano, amoníaco, hidrógeno y vapor de agua en los experimentos de Urey-Miller, ideados para comprobar la hipótesis de Oparin-Haldane. En el decenio de los sesenta Alec Bangham descubrió que los fosfolípidos podían establecer liposomas confinadores. Y Leslie Orgel mostró que los nucleótidos se combinaban espontáneamente, polimerizaban, en cadenas cortas de ARN.

No menos interesa conocer la replicación prebiótica. Con diverso grado de eficiencia y fiabilidad pueden generarse replicadores orgánicos¹³⁶. Ignoramos en qué medida el ciclo de replicación llevaría a la purificación de

134 J. Chambers & J. Mitton, *From Dust to Life. The Origin and Evolution of Our Solar System*, Princeton, Princeton University Press, 2014.

135 A. Coustenis & T. Encrenaz, *Life Beyond Earth. The Search for Habitable Worlds in the Universe*, Cambridge, Cambridge University Press, 2013.

136 A. J. Meyer *et al.*, "Abiotic self-replication", *Chem Res*, 45 (2012), pp. 2097-2105.

materiales (como la ribosa) a partir de mezclas complejas de moléculas prebióticas. Se ha propuesto, por ejemplo, que los ácidos nucleicos enantioméricamente puros habrían servido de óptimos sustratos para replicadores cortos; y hacerlo mucho mejor que los impuros. Debido ello en parte a la mejora registrada en la capacidad para formar enlaces fuertes con un molde naciente. Aunque también puede sostenerse que algunos errores en los emparejamientos molde-sustrato habría conducido a replicantes más robustos¹³⁷. Una vez establecido un primer replicante, y dando por supuesto que privilegiara oligonucleótidos puros u otros sustratos, hubiera sido difícil que se saliera de carril el ciclo de realimentación que conduciría a la evolución de catalizadores adicionales. Se han creado ribozimas que establecen enlaces carbono-carbono y otros¹³⁸; cabe la posibilidad de que los análogos prebióticos de estas enzimas pudieran haber intervenido en síntesis químicas en el mundo de ARN, expresión acuñada por Walter Gilbert¹³⁹. La bioquímica ocurrió en escalas de tiempo geoquímicas. Transcurrieron millones de años con un replicante sencillo hasta adquirirse un ciclo de realimentación que mejorara la replicación. Por no hablar de la química de superficie y comienzo del proceso de celularización¹⁴⁰.

137 J. Gollihar, M. Levy & A. D. Ellington, "Many Paths to the Origin of Life", *Science*, 343 (2014), pp. 259-260.

138 G. F. Joyce, "Forty years of in vitro evolution", *Angew Chem Int Ed*, 46 (2007), pp. 6420-6436.

139 W. Gilbert, "Origin of life: the RNA world", *Nature*. 319 (1986), p. 618.

140 T. Matsuura *et al.*, "Importance of compartment formation for a self-encoding system", *Proc Nat Acad Sci USA*, 99 (2002), pp. 7514-7517.

Con la concentración de componentes esenciales de la vida en compartimentos aledaños a los humeros hidrotermales, quizá resulte innecesario establecer hipótesis de reacciones específicas de los desiertos marcianos¹⁴¹. Y en cuanto se pudo contar con algunos metabolitos y aparecieron moldes de cualquier suerte, la posibilidad de un comienzo pronto de ribozimas autopolimerizantes se convirtió en una opción cada vez más realista¹⁴². Se ha creado una compleja ribozima ligasa para operar como una limitada ribozima polimerasa dotada de capacidad de generar transcritos de ARN de longitud suficiente para tener su propia actividad catalítica¹⁴³. Aunque eso no constituye ninguna demostración de la existencia de una auto-replicasa, sí aporta un camino para comprender de qué modo podría haber empezado a acumularse la materia prima de la vida basada en la ribosa. De manera similar, unos oligonucleótidos no mucho más largos que los transcritos por la ribozima polimerasa podrían autoligarse en un ciclo de amplificación exponencial.

¿Cuánto cuesta construir cadenas orgánicas? Un famoso experimento de los años cincuenta mostró que la síntesis de moléculas orgánicas era más sencilla de lo que se suponía. Stanley Miller y Harold Urey, de la Universidad de Chicago, rellenaron una vasija con moléculas sencillas: H₂, H₂O, CH₄ y NH₃. Las expusieron a chispas eléctricas, a imagen de los fenómenos eléctri-

141 W. Nitschke & M. J. Russell, "Cracking how life arose on Earth may help clarify where else it might exist", *Philos Trans R Soc London Ser B*, 368 (2013), pp. 20120-2258.

142 J. Gollihar J, M. Levy, & A. D. Ellington, "Many Paths to the Origin of Life", *Science*, 343 (2014), pp. 259-260.

143 A. Wochner *et al.*, "Ribozyme-catalyzed of an active rybozyme", *Science*, 332 (2011), pp. 209-212.

cos que suponían en los primeros estadios tras la formación de la Tierra. Días más tarde, aparecieron largas cadenas de átomos, con aminoácidos elementales. Versiones ulteriores del experimento crearon moléculas orgánicas más complejas. Tales moléculas podrían haberse mezclado en los océanos para convertirse en sopa primordial de moléculas orgánicas.

Una etapa esencial en la cadena de creciente complejidad de la forma prebiótica es la construcción de capas limitantes, membranas. ¿Cómo se forman las membranas? En ello el agua líquida, un solvente dipolar, desempeña un papel principal. En una solución de agua líquida, las moléculas muestran dos tipos de reacciones: una hidrofílica y otra hidrofóbica. Algunas moléculas presentan ambas propiedades a un tiempo, con una cabeza hidrofílica polar y una cola hidrofóbica no polar. Si esas moléculas anfífilas se sumergen en agua líquida, tienden a alinearse perpendiculares a la superficie del agua, con la cabeza en el agua y la cola en el aire. Esa configuración crea una monocapa de membranas. En algunos casos, puede formarse una estructura en doble capa. La formación espontánea de membranas en agua líquida a partir de un conjunto de moléculas anfífilas constituyó el primer paso firme en el camino hacia la vida celular. En condiciones adecuadas, las moléculas lipídicas coalescen espontáneamente para formar membranas esféricas. Tales membranas forman un entorno protegido para el desarrollo de reacciones químicas; pudieron muy bien haber sido los precursores de las primeras células.

6.5. Mundo de ARN

La reproducción mediada por ADN constituye el motor de otros hitos de la vida sobre la Tierra: el desarrollo y la evolución. El desarrollo se apoya en la replicación de la célula, mientras que la evolución implica un proceso de dos etapas: mutación y selección. El ARN es una de las moléculas que utiliza la vida para almacenar y transmitir información genética, aunque también actúa como catalizador. Algunas de las primitivas formas de vida pudieron haber dependido únicamente de moléculas de ARN, situación que se ha dado en llamar “mundo de ARN”. Con todo, el ARN resulta demasiado complejo para haberse constituido espontáneamente; por lo que resulta verosímil que al mundo de ARN le precediera una generación anterior de moléculas catalíticas cuya identidad permanece envuelta en el misterio. La formación de proteínas se adquirió evolutivamente más tarde que el ARN, a partir de aminoácidos que abundaban en el medio, prosiguiendo luego con la adición de otros producidos naturalmente. Por último, la vida desarrolló el ADN, que aporta una forma más estable y segura de almacenar información que el ARN. Las tres ramas del árbol de la vida (arqueas, bacterias y eucariotas) utilizan ADN, lo que sugiere que esa macromolécula se adquirió en una fase temprana.

En la Tierra seguimos sin disponer de oligonucleótidos basados en la ribosa y sintetizados prebióticamente para alimentar un mundo de ARN. Pero no es necesario empezar con la ribosa. En un ARN funcional cabe disparidad de esqueleto y ligamiento. Ribozimas y aptámeros toleran dicha diversidad o heterogeneidad. De hecho, una tal mezcla heterogénea podría haber constituido una ventaja selectiva al rebajar las temperaturas de fusión necesarias

para separar cadenas poliméricas. Esas mezclas heterogéneas podrían haber sido también más accesibles a través de vías de síntesis prebiótica¹⁴⁴.

La vida, entendida en su plenitud, empieza con LUCA (de “last common ancestor”), una especie que desapareció hace mucho tiempo, pero cuya proge nie llena todos los nichos ecológicos. Para llegar a un protoorganismo hipotético, los investigadores van descartando, de forma sistemática, genes de organismos existentes hasta lograr un genoma mínimo¹⁴⁵. El organismo experimental fue *Mycoplasma genitalium*, con solo 517 genes. Los autores recurrieron a la mutagénesis global de transposones para identificar los genes que no resultaran imprescindibles, con la vista puesta en comprobar que tal dotación natural era también un genoma mínimo bajo las condiciones del laboratorio. Se llegó a la conclusión de que, de los 480 genes codificadores de proteínas de *M. genitalium*, entre 265 y 350 eran esenciales bajo las condiciones de laboratorio, a los que habría que añadir un centenar más de función desconocida.

6.6. Astrobiología

A su vez, el campo emergente de la astrobiología dio su primer paso firme en 1961, en Green Bank, donde radioastrónomos y biólogos reunidos en congreso abordaron las perspectivas de vida inteligente fuera de la Tierra. En la preparación de la reunión, Frank Drake, de Observatorio Nacional de Ra-

144 M. W. Powner; S.L. Zheng & J.W. Szostak, *J Am Chem Soc* 134 (2012), p. 13889.

145 C. Hutchison, S. Peterson. S. Gill, R. Cline, O. White *et al.*, “Global transposon mutagenesis and a minimal mycoplasma genome”, *Science*, 286 (1999), pp. 2165-69.

dioastronomía, desarrolló una ecuación sobre las probabilidades de planetas con capacidad para la telecomunicación en la Vía Láctea. Básicamente es el producto de un número de factores que tienen en cuenta las estrellas que se forman cada año, de todas ellas las que tiene planetas en su zona habitable (con agua líquida), de estos los que pueden haber desarrollado vida y en los que la vida ha llegado a ser inteligente y con capacidad de comunicarse con otros mundos.

El primer intento real de búsqueda de vida en otro planeta se debe, en los años setenta, a los *Viking* de la NASA y sus experimentos biológicos y químicos en suelo marciano. La disciplina ha madurado y se especula con bioquímicas alternativas al modelo estándar (ADN y proteínas), basadas en elementos distintos del carbono, como el silicio o el germanio, así como disolventes distintos del agua¹⁴⁶. Los robots exploradores de Marte, *Spirit* y *Opportunity*, de la NASA, y *Mars Express*, de la Agencia Espacial Europea, han hallado signos claros de que el agua fluyó en Marte en un pasado remoto. *Cassini* ha venido explorando el sistema saturniano. Otras misiones se hallan en preparación (*Sample Return* a Marte e *Icy Moons Explorer* a Júpiter). La medición de la razón $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ en un material carbonáceo de un cuerpo extraterrestre habría de indicarnos, en principio, su naturaleza abiótica o biogénica.

La ciencia acepta ya la hipótesis de que los planetas que giraron en órbita alrededor de las primeras estrellas pudieron albergar vida. Se ha calculado incluso que el agua líquida —prerrequisito para la vida— pudo haberse for-

146 G. Konesky, "Potential alternative life biochemistries", *Proc. SPIE*, 8865 D, 2013.

mado en planetas rocosos a los 15 millones de años de la gran explosión inicial (el *big bang*). Según Abraham Loeb, astrofísico de la Universidad de Harvard, en el Universo primitivo, la energía requerida para mantener líquida el agua podría haber procedido del fondo cósmico de radiación de microondas. Hoy, la temperatura de esa radiación fósil es de 2.7 kelvin, pero cuando el Universo tenía 15 millones de años sería de 300 kelvin, Loeb subió esos cálculos al servidor arXiv el mes de diciembre de 2013. Podrían haber habido planetas rocosos en zonas del Universo donde la materia fuera excepcionalmente densa. Allí pudo haberse dado una época habitable durante dos o tres millones de años. Otros discrepan de Loeb. Así Christopher Jarzynski, de la Universidad de Maryland, no está convencido de que la vida pudiera existir en un universo uniformemente caliente. La vida sobre la Tierra depende termodinámicamente no solo de la fuente de calor del Sol, sino también del fondo cósmico de radiación de microondas frío, que aporta un sumidero de calor. Vilenkin objeta que tan pocos millones de años es muy escaso tiempo para producir vida inteligente. Freeman Dyson, del Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, piensa que la vida podría ser más adaptable de lo que pensamos. En su opinión, todo es habitable si sabemos desenvolvernos.

El meteorito Murchison que cayó en Australia en 1969 contiene granos de carburo de silicio que, a juzgar por sus relaciones isotópicas, fueron producidos por una supernova. Pertenece a las condritas carbonáceas, meteoritos que se supone formados a partir de fragmentos procedentes del cinturón de asteroides entre Júpiter y Marte. Se han identificado más de quinientos compuestos orgánicos en ese meteorito: hidrocarburos, alcoholes, ácidos carboxílicos, aminas, amidas, adenina, guanina y uracilo. De los setenta y

cinco aminoácidos identificados, ocho son idénticos a los aminoácidos que encontramos en las proteínas. No han aparecido, en cambio, aminoácidos ubicuos, como la histidina.

Hace 4000 millones de años, Marte era un planeta habitable. Los investigadores, al estudiar los descubrimientos del *Curiosity* se han centrado en la búsqueda de fósiles moleculares, es decir, materia orgánica procedente de microorganismos marcianos del pasado. Si Marte llegó a alcanzar condiciones favorables para la vida, cabría que se hubiera producido alguna forma de evolución en el manto bacteriano de Marte.

6.7. Primeros pasos en la evolución

La vida surgió sobre la Tierra hace unos 4000-3500 millones de años. Los organismos más antiguos identificados en restos fósiles eran minúsculos y confusos, imposibles de distinguir de estructuras que pudieran haberse formado a través de procesos abióticos. En los registros fósiles más antiguos de la Tierra encontramos estromatolitos, cuya antigüedad supera los 3000 millones de años. Se trata de estructuras coloniales formadas por cianobacterias fotosintetizadoras (responsables probablemente de la creación de la atmósfera de oxígeno de la Tierra) y otros microorganismos. Sobrevivieron en medios acuáticos calientes y construyeron arrecifes a la manera de los creados ahora por los corales. Se encuentran en entornos salinos, hipersalinos y anóxicos. Se les supone procariotas (organismos primitivos que carecen de núcleo celular). Las actividades fotosintéticas de esas poblaciones contribuyeron de manera significativa para que la atmósfera terrestre cambiara de

reductora a oxidante en el curso de la evolución y condujera al desarrollo de organismos superiores.

Por *Archaea* entendemos las primeras formas microbianas que pudieron haber evolucionado en una fase precoz de la historia de la Tierra. Pudieron ser también punto de arranque de la vida en otros cuerpos del Sistema Solar y en sistemas exoplanetarios. Fueron descubiertos por Carl Woese y su grupo en 1977¹⁴⁷. El descubrimiento de los Archaea y la propuesta de un árbol universal de tres dominios (Archaea, Bacteria y Eukarya), basado en el ARN ribosómico y en genes nucleares implicados principalmente en la traducción proteica, catalizaron nuevas ideas sobre la evolución celular y el origen de los eucariotas. Sin embargo, como informaban en diciembre de 2013 Tom A. Williams, Peter G. Foster, Cymon J. Cox & T. Martin Embley en *Nature*, se van acumulando pruebas en contra de los tres dominios postulados¹⁴⁸. Declaran que los árboles evolutivos creados sobre la base de métodos más recientes sitúan los genes del núcleo eucariota en los Archaea. Con esa conclusión se avala la hipótesis de que un organismo arqueo participó en los orígenes eucariotas mediante la fundación de un linaje huésped para el endosimbionte mitocondrial. El resultado de ese nuevo planteamiento sería que habría solo dos dominios primarios de vida: Archaea y Bacteria. Los Eucariota surgirían de una asociación entre ambos.

147 C. R. Woese & G. E. Fox, "Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: the primary kingdoms", *Proc Natl Acad Sci USA*, 74 (1977), 5088-5090; C. R. Woese & G. E. Fox, "The concept of cellular evolution", *J Mol Evol*, 10 (1977), pp. 1-6.

148 T. A. Williams, P. G. Foster, C. J. Cox & T. M. Embley, "An archaeal origin of eukaryotes supports only two primary domains of life", *Nature*, 504 (2013), pp. 231-236.

7. Filosofía del ajuste fino o estatuto del razonamiento antrópico

Desde el instante en que uno se pregunta por qué el universo es como es o por qué existe algo y no la nada, se encuentra ya en el dominio de la filosofía. Del método empleado en la cosmología del origen y evolución del universo y de la vida (tipo de pruebas empíricas observacionales utilizadas y coherencia interna de las teorías) se ocupa la filosofía de la naturaleza, que estudia también, entre otras cuestiones, el sentido y la finalidad. Hubo un tiempo en que la física se ocupaba de objetos tangibles, que podían pesarse, fragmentarse o al menos observarse. A medida que los tiempos fueron cambiando, los físicos comenzaron a atender a objetos más etéreos: campos electromagnéticos y métricas de espaciotiempo. No podemos observarlos, pero sí medir su influjo sobre la trayectoria de una partícula y, por ende, afirmar que tenemos pruebas de su existencia.

Los físicos han ahondado en la comprensión de la materia en sus propios términos, clausurada en sí misma. Los principios y leyes toman forma de ecuaciones matemáticas, abstractas y de validez universal, que se refieren a entidades —campos cuánticos— que no tienen conciencia de sí mismos. Todas las disciplinas se esfuerzan por imitar los métodos de la física para alcanzar el rigor de lo que se entiende por paradigma del método científico. En ese marco, la confirmación experimental constituye el camino para que una teoría científica adquiera estatuto de conocimiento científico. De acuerdo con el esquema hipotético-deductivo, los científicos especulan sobre una nueva teoría que se propone como hipótesis de la que se infieren deter-

minadas predicciones. Si lo predicho se confirma con lo observado o experimentado, entonces la hipótesis resulta fiable.

Un nuevo elemento metodológico, el principio antrópico, convierte la presencia de vida inteligente en criterio de interpretación. Innovación, hasta cierto punto, en el método científico que otros consideran un distanciamiento del mismo. Ese cambio exonera de la exigencia de confirmación experimental de las teorías científicas. ¿Cómo aceptarlo como propuesta científica? Cierto es que físicos y cosmólogos afirman, sin reserva mental, la existencia de otros dominios en expansión del universo, aun cuando no haya forma de observarlos, ni de someter a contrastación su supuesta naturaleza, si no es por vías indirectas muy tenues. El principio, que añade una conexión genética entre observador y objeto de observación, tipifica el papel central que las cuestiones de subdeterminación han adquirido en física contemporánea¹⁴⁹.

Pero a menudo se comete el error de confundir el principio antrópico con un principio de la física o la cosmología. Antes bien, pertenece de plano al terreno de la metodología, de la metaciencia. Compete a la ciencia empírica explicar el cómo, el por qué pertenece a la filosofía. Una filosofía de la naturaleza que se precie debe, sin embargo, apuntalar su reflexión sobre los datos

149 Los datos disponibles, incluyendo los resultados de los experimentos relevantes, nunca pueden determinar que una hipótesis sea correcta. Pero es que los datos y resultados experimentales tampoco pueden determinar completamente que una hipótesis competidora sea incorrecta. De hecho, varias hipótesis competidoras pueden ser compatibles con los datos disponibles. A esto es a lo que se suele llamar subdeterminación de las teorías.

que le suministra la ciencia de la naturaleza, de la *physis*. Como lo es la tesis del ajuste fino o del diseño inteligente.

7.1. Estructura lógica

El principio antrópico débil es una regla de inferencia tautológica. Puesto que estamos aquí, el universo satisface todas las condiciones necesarias para nuestra existencia. En términos de probabilidades, la probabilidad condicional del universo real, situado en la región restringida del espacio de universos habitables, habida cuenta de que existimos, es diferente (y muy superior) de la probabilidad absoluta que habría en una distribución *a priori* de probabilidades que no tomara en cuenta que las personas existen. Si las constantes físicas al poseer el valor que tienen constituyen una condición necesaria para la existencia de los humanos, entonces podemos concluir que las constantes físicas tienen el valor que tienen y, por tanto, posibilitan la existencia de vida. Se trata de la aplicación de la regla de inferencia del *modus ponens*: Si A entonces B, y se da A, podemos inferir B. Cabe también una argumentación antrópica por *reductio ad absurdum*. En ésta, conocida A, demostramos que B al probar que, si no se da B, tampoco se da A. Así, si ya sabemos que existen personas, y que si protones y electrones tuvieran diferente carga eléctrica no habría personas, podemos concluir que protones y electrones tienen la misma carga eléctrica (en valor absoluto). Este tipo de razonamiento es aplicación de otra vieja regla de inferencia, el *modus tollens*.

Al abordar la estructura lógica del razonamiento antrópico, podemos echar mano a distintos recursos estadísticos. Por ejemplo, aplicar la ley de verosimilitud, o de plausibilidad, que es un concepto inferencial. Al operar

con el principio antrópico, nos encontramos con un proceso de discriminación científica habitual: comparar la plausibilidad de un conjunto de hipótesis alternativas, para dar cuenta de un fenómeno, dada determinada prueba experimental u observacional. Esa situación puede analizarse en un marco bayesiano tradicional: atribuimos valores de plausibilidad *a priori* y *a posteriori* (es decir, medida de probabilidad formal) a cada hipótesis, antes y después de contar con las pruebas.

Ian Hacking, por su parte, esgrimió la falacia del tahúr (*“the inverse gambler’s fallacy”*). Denominada también falacia de Monte Carlo y falacia de la maduración de las oportunidades, constituye la creencia errónea de que si algo sucede con una frecuencia superior a lo habitual durante determinado período, sucederá con una frecuencia menor en el futuro; y al revés, si algo sucede con frecuencia menor que lo habitual durante determinado período, sucederá con mayor frecuencia en el futuro. Se supone que la naturaleza equilibraría así las oportunidades. En las situaciones en que lo observado es un fenómeno realmente estocástico (es decir, bazas independientes de un proceso aleatorio), esa creencia, aunque sugestiva a nuestra mente, es absolutamente falsa.

Asimismo, mientras algunos apelan a la teoría estadística para explicar la aparición de vida en nuestro universo. Otros se refugian en la estadística también para resaltar que, aun cuando la hipótesis de la existencia de muchos universos incrementa la probabilidad de que haya alguno compatible con la vida, no incrementa la probabilidad de que nuestro universo sea compatible con la vida; constantes y condiciones iniciales de cada universo se escogen al azar e independientemente de otros universos. Algunas explicaciones antrópicas se apoyan en la hipótesis de que todos los universos físicamente

posibles son físicamente reales. Lo que garantizaría la existencia de al menos un universo compatible con la vida, como el nuestro. Ahora bien, contra ciertos extremismos de esa tesis cabe objetar que una infinidad no implica en absoluto que cualquier disposición se encuentre presente o repetida. Piénsese, por ejemplo, en el conjunto infinito de los números pares, que no contiene ningún impar.

7.2. Estructura epistemológica

El principio antrópico no conduce a ninguna predicción científica genuina. No es una hipótesis falsable, *sensu stricto*. No predice nada que no conozcamos de antemano. Barrow y Tipler, sin embargo, rescataron la predicción de Fred Hoyle de 1953 de un estado excitado del isótopo del carbono, ^{12}C , a 7,6 MeV por encima del estado fundamental, para que se produjera en las estrellas carbono suficiente que permitiera el advenimiento de la vida en el universo. Este episodio resulta de enorme interés porque se trata del único caso en que el razonamiento antrópico ha conducido a una predicción exitosa. Hoyle decía haber razonado, a partir de la prevalencia sobre la tierra de formas de vida cuya química se fundaba en átomos de carbono-12, que debería haber una resonancia, no descubierta, en el núcleo de carbono-12, que facilitara su síntesis en el interior de las estrellas, a través de un proceso de triple alfa. Calculó la energía de esa resonancia en 7,6 millones de electronvolts¹⁵⁰. La investigación del grupo de Willie Fowler no tardó en

150 F. Hoyle “On nuclear reactions occurring in very hot stars: The synthesis of elements from carbon to nickel”, *Rev Mod. Phys* 29 (1954), p. 547.

descubrir esa resonancia; la energía que midieron no se alejaba de la predicción de Hoyle. Pese a todo, algunos objetan que Hoyle se guiara por un planteamiento antrópico al no pensar tanto en el observador cuanto en el carbono¹⁵¹.

Pudiera objetarse que tampoco la teoría de cuerdas predice todos los resultados de la física fundamental estándar. Ni parece vislumbrarse en el horizonte que pueda someterse a confirmación experimental. Cabe esperar que permanezca así en un futuro previsible. ¿Es menos científica por ello? Ciertamente es que se corre el riesgo de que una vez se pierde la conexión entre argumentación teórica y ensayo experimental, la seguridad se pierde. Hay circunstancias específicas en que el razonamiento antrópico puede ser correcto, inevitable y apropiado, reconoce, entre otros, Frank Wilzeck. El conocimiento de seres humanos no estaba prefijado en la formación del Sistema Solar. Pero hay un aspecto en que esa explicación no es trivial. Existen incontables planetas en el universo, de modo que si hubiera, aunque solo fuera, una pequeña fracción de ellos a la distancia adecuada de sus estrellas y tuvieran la masa idónea y la composición química tal, que permitiera el desarrollo de la vida, no debería sorprendernos que los seres que investigaran la distancia entre planeta y estrella descubrieran que viven en un planeta de la fracción reseñada.

151 H. Kragh, *When is a prediction anthropic? Fred Hoyle and the 7.65 MeV carbon resonance.* 2010 (Preprint).

7.3. Estructura ontológica

Los argumentos a favor del ajuste fino se centran en algunos componentes clave de nuestro Universo, como los átomos y las estrellas; muestran que se convertirían en inestables si cambiara el valor de alguna constante física. Pero en esas circunstancias, lo interesante no es la inestabilidad de un estado particular, sino la salida que toma el sistema. Si los átomos o estrellas se tornan inestables, ¿qué otra forma organizada de materia podría aparecer? En particular, ¿qué valores de las constantes físicas permitirían unas estructuras complejas del tipo de vida inteligente? No es fácil responder a esa cuestión. Si no podemos, en el estado actual de la ciencia, deducir rigurosamente la estructura del átomo de helio a partir de la física básica, no digamos de un organismo vivo.

Ahora, el razonamiento antrópico descansa sobre la conjunción de argumentos de la teoría de cuerdas y conceptos desarrollados en cosmología inflacionaria. Para comprender el argumento en toda su generalidad, necesitamos tres elementos conceptuales: inflación eterna, paisaje de la teoría de cuerdas y ajuste fino de la constante cosmológica. El paisaje de cuerdas denota el potencial de la teoría de cuerdas que presenta un número altísimo de mínimos locales, cada uno de los cuales corresponde a una opción específica de valores paramétricos de baja energía. La selección del mínimo real ocurre en los comienzos muy calientes del universo y se basa en la estadística cuántica. En un multiverso esa selección sucede, de manera independiente, en cada universo del multiverso y durante la transición hacia la fase de expansión normal. Ello implica que cada universo se caracteriza por su propio estado fundamental y, por tanto, por su propia elección de valores paramétri-

cos de baja energía¹⁵². Se trata, pues, de un problema ontológico, no religioso¹⁵³.

7.4. Razonamiento analógico: selección y eficacia

Para enmarcar el principio antrópico, hay quien reclama la atención sobre el problema de la selección operada en el multiverso por la observación. Smolin explica los valores de las constantes físicas en el marco de una selección natural cosmológica. El nudo de su tesis es que la formación de un agujero negro es equivalente a la formación de un nuevo universo, causalmente aislado del universo progenitor. Si como, Wheeler ha sugerido, las leyes de la naturaleza en el nuevo universo difieren en pequeña cuantía de las propiedades del universo progenitor, tendremos las propiedades de variación, multiplicación y herencia necesarias para la selección natural. La eficacia biológica (“*fitness*”) de un universo —la propiedad maximizada por la selección— es el número de agujeros negros producidos. Smolin predecía que

152 R. Dawid, *String Theory and the Scientific Method*. Cambridge, Cambridge University Press, 2013.

153 “Finally, I have heard the objection that, in trying to explain why the laws of nature are so well suited for the appearance and evolution of life, anthropic arguments take on some of the flavor of religion. I think that just the opposite is the case. Just as Darwin and Wallace explained how the wonderful adaptations of living forms could arise without supernatural intervention, so the string landscape may explain how the constants of nature that we observe can take values suitable for life without being fine-tuned by a benevolent creator.” S. Weinberg, “Living in the multiverse”, en *Universe or Multiverse*, edited by B. Carr, Cambridge, Cambridge University Press, 2007, p. 39.

cualquier cambio pequeño de las constantes debería reducir (o dejar intacta) esa cifra. Las constantes físicas necesarias para maximizar la producción de agujeros negros se correspondería de manera aproximada con los valores necesarios para la aparición de estrellas, planetas y quizás observadores. A su entender, la teoría ofrece una explicación causal del hecho de que las constantes se hallan peculiarmente adaptadas para la aparición de la vida inteligente.

7.5. *Diseño y azar*

Lo mismo que en el caso de la selección darwinista, se trata, en muchos casos, de liberar la disciplina de cualquier traza de agente exterior, de una inteligencia exterior, considerada un espejismo peligroso e infantil. Se llama tesis del diseño inteligente a la atribución de ese ajuste fino a la acción divina. Hunde sus raíces en la quinta vía de las pruebas de la existencia de Dios de santo Tomás: la prueba teleológica, recogida en el cuerpo de la cuestión¹⁵⁴ y

154 “La quinta se deduce a partir del ordenamiento de las cosas. Pues vemos que hay cosas que no tienen conocimiento, como son los cuerpos naturales, y que obran por un fin. Esto se puede comprobar observando cómo siempre o a menudo obran igual para conseguir lo mejor. De donde se deduce que, para alcanzar su objetivo, no obran al azar, sino intencionadamente. Las cosas que no tienen conocimiento no tienden al fin sin ser dirigidas por alguien con conocimiento e inteligencia, como la flecha por el arquero. Por lo tanto, hay alguien inteligente por el que todas las cosas son dirigidas al fin. Le llamamos Dios. [STh. I, q.2 art.3 c].

en las objeciones y respuestas¹⁵⁵.

El argumento del diseño recibe una articulación dialógica durante la Ilustración en *Dialogues Concerning Natural Religion*, de David Hume, publicados en 1776. Intervienen tres personajes que representan la religión natural (Cleanthes), la religión revelada (Demea) y el escepticismo (Philo). Cleanthes defiende que una observación atenta de la naturaleza conduce a afirmar la existencia, la omnipotencia y la benevolencia de Dios¹⁵⁶. En el planteamiento de su tesis, parte del supuesto de que causas similares producen efectos similares. Ahora bien, el universo, que es el efecto producido, parece un conjunto de máquinas interrelacionadas. Por consiguiente, podemos suponer que la causa del universo se parece a la causa de las máquinas. Los personajes pasan revista a un barco y a una casa. Si uno se detuviera ante la belleza de la estructura de la nave, diría que es obra de un ingeniero muy

155 “[Objeciones] Lo que encuentra su razón de ser en pocos principios, no se busca en muchos. Parece que todo lo que existe en el mundo, y supuesto que Dios no existe, encuentra su razón de ser en otros principios; pues lo que es natural encuentra su principio en la naturaleza; lo que es intencionado lo encuentra en la razón y voluntad humanas. Así, pues, no hay necesidad alguna de acudir a la existencia de Dios. [Respuesta] A la segunda hay que decir: Como la naturaleza obra por un determinado fin a partir de la dirección de alguien superior, es necesario que las obras de la naturaleza también se reduzcan a Dios como a su primera causa. De la misma manera también, lo hecho a propósito es necesario reducirlo a alguna causa superior que no sea la razón y la voluntad humanas; puesto que estas son mudables y perfectibles. Es preciso que todo lo sometido a cambio y posibilidad sea reducido a algún primer principio inmutable y absolutamente necesario, tal como ha sido demostrado.” [STh, I, q.2. art. 3 ad secundum].]

156 D. Hume, *Dialogues Concerning Natural Religion*. Richard H. Popkin (ed.) 2nd ed. Indianapolis, Hackett, 1998.

inteligente; pues de idéntica manera hemos de considerar la construcción del universo. Philo va objetando y rechazando las tesis de Cleanthes, hasta llegar a la misma noción de causa. No parece que los contraargumentos de Philo hicieran mella en William Paley, cuya *Natural Theology* resucita el argumento del diseño, que defiende y vertebra con puntillosa minuciosidad¹⁵⁷. El autor del argumento del relojero enumera en el libro diversos rasgos del cosmos que no pudieron surgir por azar: desde una prolija reflexión sobre el ojo hasta el análisis de los sistemas músculoesquelético y circulatorio de los animales, estructura y función de plantas, armoniosa composición de los elementos y órbitas elípticas de planetas y cometas. Una revisión enciclopédica para demostrar que esas condiciones están ordenadas hacia un fin determinado; tras de tanta complejidad y encaje existe un Diseñador. Es el mismo tipo de argumento que ha vuelto con el nuevo ropaje de los parámetros del ajuste fino de la física y biología modernas¹⁵⁸. William Lane Craig ha llegado a afirmar que el libro de John Barrow y Frank Tipler *The Anthropic Cosmological Prin-*

157 W. Paley, *Natural Theology or Evidence of the Existence and Attributes of the Deity, collected from the appearances of nature*, edited with an Introduction and Notes by Matthew D. Eddy and David Knight, Oxford, Oxford University Press, 2006.

158 Como expuso Francis Collins en 2011: “To get our kind of universe, with all of its potential for complexities or any kind of potential for any kind of life-form, everything has to be precisely defined on this knife edge of probability... You have to see the hands of a creator who set the parameters to be just so because the creator was interested in something a little more complicated than random particles.” (Citado en A. P. Lighthman, “The Accidental Universe: Science’s Crisis of Faith”, *Harper’s Magazine*, 2011, December 22.

ciple, ha significado para el argumento del diseño en el siglo XX lo que la *Natural Theology* de Paley supuso en el siglo XIX¹⁵⁹.

El principio antrópico débil estipula que estamos aquí porque, si no, nadie podría preguntar ¿por qué estamos aquí? Para salir de la tautología se abren dos caminos: o la acción externa de un ser trascendente o el mero azar. Para negar el puro azar como respuesta, suele esgrimirse la analogía empleada por Richard Swinburne sobre el pelotón de fusilamiento, que pese a estar integrado por tiradores expertos no acierta ni un disparo¹⁶⁰.

El principio antrópico fuerte puede considerarse una reformulación del diseño: el universo tendría ajustados sus parámetros y leyes para que hubiera vida. Una visión panteísta, en que la divinidad fuera el propio universo, entendería que este es el que ajusta constantes, leyes y procesos para que pueda

159 W. Lane Craig, “Barrow and Tipler on the Anthropic Principle versus Divine Design, *British Journal for the Philosophy of Science* 38 (1988), 393. Id, “Design and the Anthropic Fine-tuning of the Universe”, en *God and Design; The Teleological Argument and Modern Science*, ed., Neil A. Manson, New York, Routledge, 2003, p. 155.

160 “On a certain occasion the firing squad aim their rifles at the prisoner to be executed. There are twelve expert marksmen in the firing squad, and they fire twelve rounds each. However, on this occasion all 144 shots miss. The prisoner laughs and comments that the event is not something requiring any explanation because if the marksmen had not missed, he would not be here to observe them having done so. But of course the prisoner’s comment is absurd; the marksmen all having missed is something requiring explanation; and so too is what goes with it —the prisoner being alive to observe it. And the explanation will be either that it was an accident (a most unusual chance event) or that it was planned (e.g. all the marksmen had been bribed to miss.” R. Swinburne, “Argument from the Fine-tuning of the Universe”, en *Physical Cosmology and Philosophy*, ed. J. Leslie & P. Edwards. Cambridge, Cambridge University Press, 1990, p. 165.

aparecer vida. En una argumentación recursiva, siempre se podrá replicar que es Dios quien configura el universo de modo tal que sea el propio universo el que se estructure a sí mismo para que aparezca la vida. Por eso algunos, R. Swinburne entre ellos, rechazan, por innecesario, el principio antrópico, mientras que otros lo han adaptado e incorporado en lo que John Polkinghorne denomina un “caso acumulativo” a favor del teísmo¹⁶¹. Carter, por su parte, se oponía al uso del principio antrópico fuerte como aval de la tesis del diseño¹⁶².

Desde una óptica de teología natural, el principio antrópico y la propia evolución encajan en una doctrina de las causas segundas. En ellas basaban su explicación de la compatibilidad entre una intervención divina y la evolución por selección natural Ronald Fisher y Theodosius Dobzhansky, fundadores del llamado neodarwinismo¹⁶³.

161 J. Polkinghorne, *Beyond Science: The Wider Human Context* Cambridge, Cambridge University Press, 1996, p. 92. Para otras apropiaciones teológicas del principio antrópico, véase M. J. Denton, *Nature's Destiny*, New York, Free Press, 1998; R. Collins, “God, Design, and Fine-tuning” en *God Matters: Readings in the Philosophy of Religion*, ed. R. Martin & C. Bernard, New York, Longman, Pearson, 2002, 119-35; S. Barr, *Modern Physics and Ancient Faith*, Notre Dame, Ind., Notre Dame University Press, 2003; G. González & J. W. Richards, *The Privileged Planet*, Washington DC, Regnery, 2004; H. Ross, *Why the Universe Is the Way It Is*, Grand Rapids, Mic., Baker, 2008.

162 B. Carter, “Anthropic Principle in Cosmology”, June 27, 2006, en *Current Issues in Cosmology*, ed. J.-C. Pecker & J. Narlikar, Cambridge, Cambridge University Press, 2011, p. 174.

163 “To the traditionally religious man, the essential novelty introduced by the theory of evolution of organic life, is that creation was not all finished a long while ago, but is still in

Para obviar la intervención de Dios, se ideó el modelo de multiverso. “*If you don’t want God, you’d better have a multiverse.*”¹⁶⁴ Con otras palabras: ¿Cómo es posible que el universo encierre una energía de vacío tan pequeña para permitir nuestra existencia? Si admitimos un multiverso¹⁶⁵. Si hubiera solo un universo con solo un valor para cada parámetro fundamental, entonces sería imposible explicar por qué la constante cosmológica (Λ) es tan improbablemente pequeña sin apelar a Dios o al puro azar. Pero si hubiere un enjambre de universos, dotado cada uno de un valor diferente para lambda, entonces se actualizaría en algún sitio todo valor posible. Unos universos colapsarían con una lambda débil, otros estallarían con una lambda fuerte y otros tendrían una lambda que presentaría el valor apropiado para permitir la formación de estrellas y planetas. Nosotros vivimos en uno de esos universos privilegiados donde las constantes tienen el valor deseado. Stephen Hawking y Leonard Mlodinow comparan la emergencia de la hipótesis del multiverso en el siglo XXI, con la emergencia de la teoría de la selección en el siglo XIX¹⁶⁶.

progress, in the midst of its incredible duration.” R. A. Fisher, “The renaissance of Darwinism”, *Listener*, 1947, 37, p. 1001.

164 Una animadversión que destaca por su vehemencia. Como ejemplo de esa postura, citemos a Lawrence Krauss, en *A Universe from Nothing: Why There Is Something Rather Than Nothing*, New York, Free Press, 2012.

165 S. Weinberg, “The Cosmological Constant Problems”, lección impartida en Dark Matter 2000 Conference, Marina del Rey, Calif. February 22-24, 2000, arXiv:astro-ph/0005265v1.

166 “Just as Darwin and Wallace explained how the apparently miraculous design of living forms could appear without intervention by a supreme being, the multiverse concept can explain the fine-tuning of physical law without the need for a benevolent creator who made

Pese a que no hay razón para sostener una contraposición entre ambos planteamientos (siempre podremos afirmar que un Dios trascendente creó el multiverso que creó el universo¹⁶⁷), existe una poderosa corriente no teísta, a veces incluso atea, tras la atención a los escenarios científicos de los muchos mundos, puesta de relieve en las obras mencionadas de Susskind, Hawking-Mlodinow y Krauss. En biología, tampoco faltaron voces críticas¹⁶⁸, por más que no pueda decirse que la evolución, piedra angular de la biología, sea una ciencia predictiva.

7.6. Teleología

Buena parte de las cuestiones sobre el origen de la vida pertenecen al terreno de la filosofía, más que al de análisis de los datos empíricos. En filosofía de la biología, el concepto de teleología aplicado a la vida indica la presencia de diseño y propósito en el mundo orgánico. No hemos de confundir esa finalidad con la función, que es una propiedad mecanicista. La

the universe for our benefit.” S. Hawking & L. Mlodinow, *The Grand Design*, New York, Bantam, 2010, p. 165.

167 D. N. Page, “Does God so Love the Multiverse?”, en *Science and Religion in Dialogue*, ed. M. Y. Stewart, Malden, Mass., Wiley-Blackwell, 2010, 1, 380-95; arXiv/0801.0246; J. A. Zweernick, *Who’s Afraid of the Multiverse?* Pasadena, Calif., Reasons to Believe, 2008.

168 “How can this curious claim be understood? The simplest interpretation is that the Universe was designed by a creator who intended that intelligent life should evolve. This interpretation lies outside science... as biologists, we are unhappy with the anthropic principle because, faced with a need for historical explanation, it seems to be a cop-out” J. Maynard Smith & E. Szathmary, “On the likelihood of habitable worlds”, *Nature*, 384 (1996), p. 107.

mayoría de los fines de los que hablamos en biología son funciones. Por eso pueden expresarse los argumentos teleológicos como argumentos no teleológicos, es decir, como funciones o adaptaciones. Un objeto, un proceso o una acción son teleológicos cuando deben su razón de ser al fin al que se ordenan, cuando ese *telos* es su causa final. Hay una finalidad intrínseca y una finalidad extrínseca. La primera se halla ínsita en la naturaleza del objeto, del proceso o de la acción. La finalidad extrínseca se impone desde el exterior. Platón percibió una suerte de diseño en un mundo que distaba mucho de un caos que se moviera sin razón ni cuenta, ciego. La complejidad manifiesta no podía ser fruto del azar, sino que debía subyacer en todo un sentido y una finalidad. Las cosas tienen una explicación finalista, impuesta desde el exterior, por el demiurgo que las ideó. La finalidad convergía con el bien del objeto o del proceso (*Timeo*, 30b-c). Platón identificaba la idea de bien con la causa última de toda realidad.

Aristóteles da un paso más e implanta la finalidad en el propio objeto u organismo. Los animales, por ejemplo, carentes de razón, actúan por un fin, que es el que les viene conferido por su propia naturaleza. Distinguió entre causas próximas —el escultor que cincela la figura y va eliminando trozos de mármol— y el propósito o finalidad que guía al escultor en la talla: la creación de la figura. Por imperativo de la naturaleza y con un propósito construye la golondrina el nido y teje la araña su red, dan las plantas frutos y hunden sus raíces en el suelo en busca de nutrimento¹⁶⁹. Para Aristóteles,

169 “Por lo tanto, si las cosas producidas por el arte están hechas con vistas a un fin, es evidente que también lo están las producidas por la naturaleza, pues lo anterior se encuentra

pues, todas las sustancias tienen causa final, que las guía a través de los cambios operados hasta que alcanzan su objetivo. Esa finalidad intrínseca de cada sustancia individual se complementa con la finalidad extrínseca que se expresa mediante la relación armoniosa entre diferentes sustancias. Para Aristóteles, cada sustancia tiene su causa final, tesis que hereda santo Tomás¹⁷⁰.

Con el advenimiento de la ciencia moderna, los filósofos de la naturaleza comenzaron a cuestionar la teleología. Desde la aparición del *Novum Organum* de Francis Bacon, las explicaciones teleológicas se evitan de intento en el ámbito de la ciencia, porque, sean verdaderas o falsas, su enjuicimiento trasciende nuestra capacidad de percepción y comprensión. De esa corriente general se apartaba Gottfried Leibniz y su idea de la armonía preestablecida de las mónadas programadas por Dios. Inmanuel Kant pensaba que la teleología constituía la característica central de las formas vivas, lo que marcaba la separación entre lo vivo y lo no vivo. En su *Crítica del Juicio* no solo rechazaba la teleología aristotélica de la naturaleza, sino también la posibilidad de la metafísica tradicional. Kant limitaba la teleología al reino subjetivo de la mente, para explorar su posibilidad en el ámbito de la ética y la estética. El

referido a lo que es posterior tanto en las cosas artificiales como en las cosas naturales.”
Aristóteles, *Física*, 199a 18-20.

170 *Contra Gentes*, Lib, II, cap. XXXII.

golpe de gracia contra la explicación finalista vino del mecanicismo de la filosofía analítica¹⁷¹.

Muchos de los argumentos teleológicos más influyentes mostrados a lo largo de la historia son ejemplos de “inferencia a la mejor explicación” (*“inference to the best explanation”, or IBE*). Se infiere la verdad de una hipótesis a partir de la existencia de fenómenos que encuentran en dicha hipótesis su mejor explicación. Ocurrió así con la existencia del relojero en el argumento de Paley. La existencia del relojero (de Dios creador) viene avalada por la existencia de relojes, puesto que la existencia de relojeros explica de qué modo pueden fabricarse objetos de tal complejidad. Un aspecto notable de los argumentos IBE es que con ellos podemos inferir la existencia de fenómenos *inobservables*. La fuerza de la inferencia a partir de la mejor explicación del relojero no depende de nuestra observación del relojero haciendo relojes, sino de la verosimilitud de que tales relojes existan si existe un relojero. La fuerza de la inferencia de Paley de un creador contrastaba con la debilidad de las hipótesis alternativas. Darwin sorteó la aporía de Paley con la hipótesis de la unidad de parentesco en un antepasado común y la hipótesis de la selección natural como mecanismo de evolución.

Para marcar distancias de la noción de intencionalidad o conciencia que suele ir asociada al término teleología, algunos biólogos prefieren el término teleonomía, que es el supuesto finalismo del proceso neutralista de evolución. El término teleonomía fue acogido por Jacques Monod para designar un

171 Para una revisión histórica, véase A. Ariew. “Teleology”, en: *The Cambridge Companion to the Philosophy of Biology*, D. L. Hull & M. Ruse, eds. Cambridge, Cambridge University Press, 2007 pp. 160-181.

proceso que no carece de finalidad consciente pero que se desarrolla como si lo tuviera. La controversia actual tiene su epítome en la tesis de Michael Behe, quien funda la necesidad de un diseño finalista en lo que llama complejidad irreductible¹⁷². Pone como ejemplo el flagelo de ciertas bacterias, que actúa como un propulsor que girase a más de 20.000 revoluciones por minuto. Para producir ese movimiento se requiere la intervención concertada de hasta 30 proteínas diferentes. Si retirásemos una, el apéndice dejaría de funcionar. Francisco J. Ayala ha intentado replicar la argumentación de Behe apelando a una adquisición evolutiva del órgano, el mismo tipo de razonamiento que esgrime para el caso del ojo, arquetipo de complejidad¹⁷³. Y que se aplica a cualquier forma de avance o progreso en biología. Ciertamente es que la explicación teleológica de las agallas de los peces expone que se han adquirido para respirar y la explicación mecanicista señala que se han adquirido en el curso de la evolución en razón de su adaptación a esa función. Dígase otro tanto del origen del primer sistema biológico. No son contradictorias ambas explicaciones. La teleología no rechaza el mecanismo empleado, sino que se apoya en él. El mecanismo pertenece a la bioquímica, la finalidad a la filosofía.

José María Valderas Gallardo
josemariavalderasgallardo@gmail.com

172 M. J. Behe, *Darwin's Black Box*, Toronto, Free Press, 1996.

173 F. J. Ayala, *Darwin's Gift to Science and Religion*, Washinton, Joseph Henry Press, 2077, p. 148.