

CAPÍTULO PRIMERO

DEL *BIG BANG* AL *BIG CRUNCH*

I. EL COMIENZO DEL UNIVERSO: EL *BIG BANG*

“El universo”, piensa Raimundo Velloz,
“¡qué tontería!”
La unidad patraña de metafísico.

Julio CORTÁZAR

Suponen los científicos de la actualidad que el universo comenzó hace unos 13,700 millones de años¹ a partir de una densa bola de fuego caliente a la que se le conoce comúnmente con el nombre de *big bang* o *gran explosión*.² La creencia de que existió un *big bang* está basada en la idea central de que el universo se encuentra en estado de expansión. Esto significa que el universo debió haber tenido un comienzo definido, es decir, que la expansión del universo no pudo haberse prolongado de manera indefinida en el pasado.

Es casi unánime la opinión de que el *big bang* marca el comienzo del universo pero no el momento exacto de su inicio. Hay quienes creen que antes de la gran explosión debió haber existido un tiempo en el que había un punto de densidad infinita: el *instante cero*. No hay a la fecha consenso para aceptar la existencia de este instante.

¹ La estimación más precisa de la edad del universo es de $13,700 \pm 200$ millones de años y proviene de los datos proporcionados al inicio de este siglo por el satélite WMAP (Sonda Anisotrópica de Microondas Wilkinson). Véase Watson, Fred (coord.), *Astronomica*, trad. de Anna Asperó Masachs, Carme Franch Ribes, Antonio M. Regueiro y González-Barros y Diego Riesco Méndez, Barcelona, Millenium House-h.f.ullman, 2007, p. 198.

² La expresión *big bang* se inventó en Inglaterra a principios de la década de los cincuenta (para ser exactos, en 1951) por el astrofísico inglés Sir Fred Hoyle (1915-2001), quien la creó para burlarse de que el universo tuvo un comienzo y que se encuentra en expansión. Hoyle era un ferviente defensor de que el universo siempre ha existido (*i. e.* teoría del universo estacionario), es decir, que no tiene ni principio ni fin.

1. *Entre el big bang y el instante cero*

La idea de la expansión universal tuvo su origen en las predicciones teóricas del científico alemán Albert Einstein (1879-1955) según su teoría general de la relatividad presentada en 1916.³ Sin embargo, no fue sino hasta la década de los veinte y los treinta del siglo XX que dicha idea tomó relevancia científica a partir de que los científicos comprendieron y descubrieron que el universo no sólo está conformado por miles de galaxias, sino que además todas ellas se están alejando unas de otras lo que implica que debieron haber estado juntas en algún momento en el pasado. El primer científico en recoger estas ideas y formular una teoría al respecto fue Georges Eduard Lemaître (1894-1966), quien en 1927 argumentó que el universo tuvo un comienzo en un único punto en el que se concentraba toda la materia y la energía. La explosión de este punto habría de marcar, según él, el inicio del tiempo y el espacio y hacer que el universo se expandiera.⁴

Pero lo que realmente habría de fortalecer la existencia de la expansión universal a partir de una gran explosión, fueron los descubrimientos realizados por Edwin P. Hubble (1889-1953). En efecto, en 1929, este científico norteamericano llevó a cabo observaciones astronómicas por las que pudo determinar la existencia de otras galaxias. Aún más importante, para la década de los treinta, descubrió por medio de un fenómeno al que se le conoce como corrimiento al rojo (también desplazamiento hacia el rojo o efecto Doppler),⁵ que las estrellas y las galaxias se están alejando de nosotros.

Aunque en los años cuarenta surgió la teoría que establecía que el universo no tenía ni principio ni fin —*i. e.* la teoría del universo estacionario—,

³ En esencia, la teoría general de la relatividad consiste en hacer una descripción sobre la interacción que existe entre la materia, el espacio y el tiempo a través de la gravedad; las leyes de las ciencias son las mismas para todos aquellos que las observan. Esta teoría fue aplicada por el propio Einstein en 1917 para dar a conocer al mundo una explicación matemática del universo. La forma original de sus ecuaciones tuvieron como primer resultado un universo en expansión, dinámico. Sin embargo, como no estaba del todo convencido sobre esto, introdujo algo que denominó *constante cosmológica* para crear ecuaciones que permitieran explicar un universo estático, siempre constante. Algunos años después, cuando tomó fuerza la idea del alejamiento de las galaxias, Einstein cambió de opinión y “aceptó” la idea de la expansión universal. Para mayor información, véase Gribbin, John, *Biografía del universo*, trad. de Susanna Martínez Mendizábal, Barcelona, Crítica, 2007, pp. 148 y ss., así como Wald, Robert M., *Espacio, tiempo y gravitación. La teoría del Big Bang y los agujeros negros*, 2a. ed., trad. de Víctor Manuel Suárez Dávila, México, Fondo de Cultura Económica, Breviarios, 1998, núm. 315, pp. 49 y ss.

⁴ Watson, Fred (coord.), *op. cit.*, nota 1, p. 192.

⁵ Para una explicación sobre este descubrimiento, acudir a Gribbin, John, *op. cit.*, nota 3, pp. 150 y ss.

la teoría del *big bang* se reforzó como nunca antes durante la década de los sesenta gracias al descubrimiento de lo que se conoce como radiación cósmica de fondo que se refiere a la radiación restante de la bola de fuego en su última etapa.⁶ A partir de esos años y durante las décadas siguientes fueron tres las actitudes que según el cosmólogo John D. Barrow dominaron el mundo científico para descifrar lo que llegó a denominarse *condiciones cosmológicas iniciales*. El punto de partida de Barrow para desarrollar esta explicación consistió en utilizar conceptos sobre la física de partículas elementales:⁷

- La primera de las tres actitudes niega que el universo haya tenido un principio. Se trata de la *teoría del estado estacionario* del universo que sostiene que aunque el universo se encuentre en expansión persiste desde siempre una densidad constante en donde el tiempo pasado es infinito. Esta teoría ha sido criticada porque aun en el caso de que el universo fuera infinito “se requieren condiciones iniciales en el pasado temporal infinito”.
- La segunda se apoya en la idea de que la influencia de las condiciones iniciales cosmológicas es en realidad mínima, es decir, se puede explicar la expansión del universo independientemente de sus condiciones iniciales. Esta teoría se conoce con el nombre de *teoría del universo inflacionario* en donde la expansión del universo estuvo, al menos en un periodo temprano, en aceleración. Se cree que diversos tipos de materia no se atraen sino que se repelen, lo que hace que la gravedad actúe para acelerar la expansión: “el periodo de aceleración es lo que se denomina inflación del universo”. De manera que la idea de la evolución temprana del universo implica que “aunque el universo visible entero refleja parcialmente la estructura de algunas condiciones iniciales que definen la estructura del universo antes del comienzo de la inflación, las condiciones iniciales particulares que realizan ese papel son sólo una parte ínfima del mapa global de condiciones iniciales para la totalidad del universo (probablemente finito)”.

Lo preocupante de esto es que debido a que las observaciones científicas sólo permiten conocer una parte pequeñísima de las condiciones iniciales, no será posible conocer sus estructuras y alcances. Así,

⁶ *Ibidem*, pp. 63 y 64.

⁷ Se trata de un resumen de lo que al respecto señala Barrow en su obra. Los entrecuadrados en las viñetas son citas textuales que se pueden encontrar en la parte referente a las explicaciones sobre las condiciones cosmológicas iniciales. Para mayor abundamiento, véase Barrow, John D., *Teorías del Todo. Hacia una explicación fundamental del universo*, trad. de Rosa Álvarez, Barcelona, Crítica, 1994, pp. 58-85.

las condiciones iniciales de la expansión del universo aparecen como un “estado original probablemente caótico o aleatorio según miramos de un lugar a otro del universo”.

- La tercera de estas actitudes señala que las condiciones iniciales del universo tienen una forma especial. En otras palabras, se cree que existe una ley o meta-ley que regula o se encuentra vinculada a las condiciones iniciales, situación a la que se puede llegar a partir de una explicación de tipo cuántico. A través de una cosmología cuántica, bien puede suceder que el tiempo no aparezca explícitamente o pueda interpretarse como “una descripción de un universo que ha sido creado a partir de la nada”.

Nuevas investigaciones sobre el *big bang* y sobre las características de nuestro universo derivaron en que hacia finales del siglo pasado, particularmente en 1998, se publicaran estudios científicos que anunciaron lo que hasta entonces era pura teoría: la expansión del universo es cada vez más rápida según pasa el tiempo, es decir, la expansión del universo está en aceleración. Este fenómeno, proveniente de alguna fuerza o energía, implica que el alejamiento de aquello que brilla y que podemos ver —que son las estrellas y las galaxias— es cada vez mayor. Con el paso del tiempo, todas ellas habrán de desaparecer más allá de lo visible hasta que en un futuro lejano nuestra bóveda celeste sea enteramente negra por la noche.⁸ A esta extraña fuerza o energía que no podemos ver, pero que también existe, se le ha llamado *energía oscura* y es, según se afirma, la responsable de mantener unido y en aceleración al universo. Nuestro universo está formado aproximadamente por un 30% de materia y por un 70% de energía oscura.

La cosmología estándar de este siglo parte de la idea de una gran explosión y considera que el universo nació de una época temprana de expansión rápida a la que se conoce como inflación. No son pocos los científicos que suscriben que el universo, cuya expansión se acelera, es plano y que todo lo que lo conforma fue resultado de fluctuaciones cuánticas provenientes de esa inflación.⁹ Independientemente de la evidencia teórica y experimental que hasta el momento se haya obtenido para entender y explicar el universo, lo cierto es que la teoría del *big bang* es algo aceptado por la comunidad científica actual.

Ahora bien, el hecho de que los científicos acepten que hubo un *big bang* no significa que a su vez admitan que el universo hubiera podido tener un principio. Dicho de otro modo, se ha llegado a un consenso sobre la situa-

⁸ Bogdanov, Igor y Grichka, *Antes del big bang*, trad. de Rafael Garrido, Castellón, España, Ellago Ediciones, 2008, p. 241.

⁹ Gribbin, John, *op. cit.*, nota 3, pp. 160 y 161.

ción de que existió un *big bang* y de que éste marca el comienzo del universo, pero no sobre el hecho de que hubiera existido el instante mismo de la gran explosión. Aceptar la existencia de ese instante equivaldría a consentir ya no sólo que el universo tuvo en efecto un principio, sino que el origen del espacio-tiempo no comenzó por el *big bang* sino por un instante que le antecedió.¹⁰ De manera tal que la gran explosión ocurrió en el tiempo y en el espacio y lo que verdaderamente marca el inicio del universo es un instante que es el antes a que el *big bang* sucediera. A este misterioso antes o pre-*big bang*, al que se le ha descrito en innumerables ocasiones como un único punto de densidad infinita de hace cierto tiempo finito, se le ha denominado *punto cero*, *singularidad inicial* o *instante cero*.

En la actualidad, la idea de la existencia de un instante cero no es del todo aceptada porque no parece haber una teoría que haya podido explicar su significado de manera convincente. Y es que atreverse a conocer la singularidad inicial supone entre otras cosas cruzar ese muro impenetrable —¡el infame y temible muro de Planck!—¹¹ que es donde se sitúa al *big bang*. Este muro (que, digámoslo así, rodea a todo el universo), se ha descrito como la frontera última del conocimiento. Hacia delante, encontramos todo lo que ha ocurrido en el universo, lo sepamos o no. Hacia atrás, podemos encontrar cualquiera de dos cosas: o bien está el infinito, o lo que existe es el instante cero y más allá de éste no hay nada. En esta última posibilidad, lo que hay entre el instante cero y el *big bang* es una tormenta cuántica. Es claro por lo tanto que “...el ‘big bang’ no comienza en el Instante Cero, sino *mucho más tarde*: en el Instante de Planck”.¹²

Cualquier aproximación al *big bang* y al pre-*big bang*, debe tomar en cuenta que la explicación del universo ha tenido sustento en dos modelos primordiales: la teoría de la relatividad general y la teoría de la mecánica cuántica.

...existen dos pilares fundamentales en los que se apoya la física moderna. Uno es la relatividad general de Albert Einstein, que proporciona un mar-

¹⁰ De hecho, las radiaciones de fondo a las que nos referíamos en líneas anteriores no corresponden al instante mismo del *big bang*, sino a aquello que ocurrió cierto tiempo después de ese instante. Es por ello que se diga comúnmente que en realidad, del universo, sólo conocemos una fracción de segundo después de su comienzo.

¹¹ El Muro de Planck está en una pequeñísima fracción de segundo —los 10^{43} segundos— y tras de él se encuentra el tiempo cero. El misterio de este muro lo constituyen tres obstáculos: el muro de calor (10^{32} grados), el muro de la energía (10^{19} gigaelectrovoltios) y el muro del tamaño, el de lo infinitamente pequeño (10^{-33} centímetros). Para mayor información, Bogdanov, Igor y Grichka, *op. cit.*, nota 8, pp. 153 y ss.

¹² *Ibidem*, p. 32.

co teórico para la comprensión del universo a una escala máxima: estrellas, galaxias, cúmulos (o *clusters*) de galaxias, y aún más allá, hasta la inmensa expansión del propio universo. El otro pilar es la mecánica cuántica, que ofrece un marco teórico para la comprensión del universo a escalas mínimas: moléculas, átomos, y así hasta las partículas subatómicas, como los electrones y los quarks. A lo largo de los años de investigación, los físicos han confirmado experimentalmente con una exactitud casi inimaginable, la práctica totalidad de las predicciones que hace cada una de estas teorías. Sin embargo, estos mismos instrumentos teóricos conducen a otra conclusión inquietante: tal como se formulan actualmente, la relatividad general y al mecánica cuántica *no pueden ser ambas ciertas a la vez*.¹³

Pero cuanto más nos acercamos al comienzo del universo con estas dos teorías, la relatividad general fracasa y el conocimiento cuántico nos lleva a la desaparición de la singularidad inicial.

De acuerdo con la teoría cuántica, los mismos espacio y tiempo están cuantizados, y no tiene sentido hablar sobre longitudes menores a 10^{-35} metros (una distancia apodada “longitud de Planck”) o un tiempo menor a 10^{-43} segundos (“el tiempo de Planck”). De modo que no hay singularidad (con longitud cero, a tiempo cero) y deberíamos representar el Universo entero observable como habiendo “nacido” con 10^{-35} metros de un extremo a otro, con una densidad de 10^{-94} gramos por centímetro cúbico, y a una “edad” de 10^{-43} segundos. No tiene sentido, en este contexto, hablar de tiempos anteriores y distancias más cortas o densidades mayores.¹⁴

Uno de los principales retos a los que se han enfrentado los físicos de los últimos años es al de encontrar una nueva teoría que permita unir a estos dos pilares de la física moderna —*i. e.* una *teoría unificada del universo*—, y con ello describir todos los fenómenos que han ocurrido en el universo. Dos de las propuestas que más han llamado la atención en este sentido son, por un lado, la *Teoría de la gravedad cuántica* que tiene en Stephen W. Hawking, heredero de la cátedra que ocuparan científicos de la talla de Isaac Newton (1642-1727) y de Paul Dirac (1902-1984) en la Universidad de Cambridge, Inglaterra, a uno de sus principales exponentes. Y por el otro, la *Teoría de las supercuerdas* que tiene en el físico-matemático Brian Greene a uno de sus más arduos defensores. En su intento por explicar los fundamentos de estas nue-

¹³ Greene, Brian, *El universo elegante. Supercuerdas, dimensiones ocultas y la búsqueda de una teoría final*, trad. de Mercedes García Garmilla, Barcelona, Drakontos Bolsillo, 2006, p. 15.

¹⁴ Gribbin, John, *op. cit.*, nota 3, p. 70.

vas teorías, cada autor aborda en trabajos diferentes y de manera distinta el asunto del instante cero.

En primer lugar, en su obra *Historia del tiempo*,¹⁵ el físico inglés Hawking nos explica que junto con Roger Penrose (físico y matemático británico) publicó en 1970 un artículo en el que probaba a través de un teorema matemático que el universo habría comenzado con una singularidad. Sin embargo, años más tarde, y como él mismo lo reconoce, su forma de pensar dio un giro para ahora tratar de convencer a la comunidad física de que no hubo en realidad tal singularidad al comienzo del universo. Este cambio de ideas tuvo como referente primordial el que el autor aceptara que la mecánica cuántica podría traer como consecuencia la desaparición de la singularidad. Aquí las palabras del propio Hawking:

Conforme la evidencia experimental y teórica se iba acumulando, se clarificaba cada vez más que el universo debe haber tenido un principio en el tiempo, hasta que en 1970 esto fue finalmente probado por Penrose y por mí, sobre la base de la teoría de la relatividad general de Einstein. Esa prueba demostró que la relatividad general es sólo una teoría incompleta: no puede decirnos cómo empezó el universo, porque predice que todas las teorías físicas, incluida ella misma, fallan al principio del universo. No obstante, la relatividad general sólo pretende ser una teoría parcial, de forma que lo que el teorema de la singularidad realmente muestra es que debió haber habido un tiempo, muy al principio del universo, en que éste era tan pequeño que ya no se pueden ignorar los efectos de pequeña escala de la otra gran teoría parcial del siglo XX, la mecánica cuántica. Al principio de los años setenta, nos vimos forzados a girar nuestra búsqueda de un entendimiento del universo, desde nuestra teoría de lo extraordinariamente inmenso, hasta nuestra teoría de lo extraordinariamente diminuto.¹⁶

En segundo lugar, el norteamericano Greene se refiere al instante cero fundamentalmente a través de las reflexiones de Gabriele Veneziano y Maurizio Gasperini basadas en la *teoría de las cuerdas*.¹⁷ Estos autores llegaron a la conclusión de que el universo no comienza como una “nuez extremadamente caliente y del tamaño de la longitud de Planck”, sino que el universo pudo haber tenido toda una prehistoria que *incluso* comenzó antes del instante cero en el tiempo.

¹⁵ Hawking, Stephen W., *Historia del tiempo. Del big bang a los agujeros negros*, trad. de Miguel Ortuño, Barcelona, Crítica, 1988, p. 78.

¹⁶ *Ibidem*, p. 79.

¹⁷ Véase Greene, Brian, *op. cit.*, nota 13, pp. 505 y ss.

En el llamado escenario del *prebig bang*, el universo partió de un estado muy diferente del punto de partida que se fija en el marco del *big bang*. Los trabajos de Gasperini y Veneziano sugieren que el universo, en vez de estar tremendamente caliente y estrechamente enrollado en un punto diminuto del espacio, comenzó como algo frío y, en esencia, *infinito* en su extensión espacial. Las ecuaciones de la teoría de las cuerdas indican que... una inestabilidad irrumpió de golpe, haciendo que cada punto del universo se apartara rápidamente de los demás.¹⁸

En años recientes han empezado a tomar fuerza las explicaciones de los hermanos Bogdanov —Igor y Gricka— que buscan describir el instante cero a partir de modelos matemáticos. Una descripción de este tipo ha permitido establecer que la singularidad inicial no tiene peso, ni energía y además es invisible, es decir, no es susceptible de ser definido físicamente, sino sólo matemáticamente. De esta manera el instante cero corresponde a una realidad que no es física, sino matemática que deriva en simple información. El instante cero ahora se llama *instantón gravitacional singular* cuya dimensión es cero, sin volumen en el espacio y sin un instante en el tiempo. Según estos científicos gemelos

En todos los casos se impone la misma conclusión: la singularidad en el origen, en tanto que punto matemático, no tiene ninguna sustancia (y por tanto ninguna existencia) física. Fuera del espacio, del tiempo y de la energía, este punto es una pura abstracción geométrica. En suma, como nos lo sugieren las matemáticas, podemos concebir este punto como una pura imagen del cero: tiene la simplicidad ideal. Pero al mismo tiempo posee la mayor complejidad y la mayor riqueza.

Trece mil setecientos millones de años atrás: tal es la <fecha> última que hemos alcanzado. Después de haber tocado el fondo del océano cuántico, no podremos ir más lejos: más allá del <instantón gravitacional> singular no hay nada. Ni materia, ni espacio, ni tiempo. Sólo queda, solitaria, silenciosa, *inmóvil*, la singularidad inicial, el <punto cero>. Un ser enteramente matemático, legible y únicamente *visible* para las matemáticas.¹⁹

¿Serán las invariantes matemáticas, la información, de los hermanos Bogdanov las que nos conduzcan en este siglo XXI a una revitalizada explicación del principio del universo para alcanzar el instante cero?

Con la puesta en operación del Gran Colisionador de Hadrones (el acelerador de partículas más grande y potente del mundo del que se tenga conocimiento, construido en Ginebra en la frontera entre Suiza y Francia),

¹⁸ *Ibidem*, p. 512.

¹⁹ Bogdanov, Igor y Gricka, *op. cit.*, nota 8, p. 190.

se podrán recrear los primeros microsegundos del universo temprano. Un experimento de esta envergadura, en la que han participado miles de científicos de un gran número de países,²⁰ permitirá acercarnos mucho y de modo experimental al *big bang*, pero estaremos lejos aún de acariciar por esta vía el instante cero.²¹

Las implicaciones que tendrán sobre nuestro conocimiento del universo los resultados que arroje ese proyecto, que por cierto no ha estado exento de fallas y ha tenido que parar para reactivarse posteriormente, vendrán con los análisis e interpretaciones que se hagan sobre el mismo en los próximos años. Sin poder predecir con exactitud el cúmulo de posibilidades que este experimento habrá de traer para el desarrollo del pensamiento científico, habremos de encontrar respuestas a cuestiones que conocemos sólo desde la elaboración de una simple hipótesis. Por lo pronto, se podrían confirmar las predicciones del Premio Nobel de Física 2009, el británico Peter Higgs, sobre la existencia de la partícula que lleva su nombre (la partícula de Higgs o bosón de Higgs) asociada a un campo que también lleva su nombre (el campo de Higgs) que se dice es el que llena todo el universo.²²

Mientras esperamos los resultados del gran colisionador y mientras los científicos del mundo continúan discutiendo sobre el inicio, el comienzo, la estructura y el desarrollo del universo, debemos regresar de ese instante cero hacia un tiempo y espacio más cercano a nosotros que es el que corresponde a lo que sucedió después de la gran explosión.

Después del instante de Planck y ya de este lado del espacio-tiempo, el universo empezó a expandirse y comenzó la inflación impulsada por algo que se conoce como *energía del vacío* (quizá la responsable de la energía oscura). En una fracción de segundo, mientras el universo crecía, la influencia de esta energía disminuyó y se debilitó la inflación. Tras la etapa inflacionaria habrían de ocurrir una serie de sucesos —los cosmólogos modernos los dividen a escala temporal en eras— que irían desde la era electrodébil (a 10^{-31} segundos del *big bang*), pasando por la era de la radiación (que comenzó una hora después del *big bang*), hasta la era actual, la galáctica.²³

²⁰ Este proyecto internacional está a cargo de la Organización Europea de Investigación Nuclear (CERN, por sus siglas en francés). Diversas instituciones mexicanas han participado en él como lo son, entre otras, la UNAM (a través de los institutos de física y de ciencias nucleares) y el IPN (a través del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Cinvestav).

²¹ Este experimento nos acercará a unos 10^{-11} segundos después de la gran explosión hacia delante.

²² Según Higgs, este campo es lo que le da masa a las partículas. Para mayor información sobre esto, véase Gribbin, John, *op. cit.*, nota 3, pp. 38 y 39.

²³ Para mayores detalles, véase Watson, Fred (coord.), *op. cit.*, nota 1, pp. 194-198.

2. *Nuestro sistema solar y el planeta Tierra*

Ocurrido el *big bang* y con la expansión del universo se crearon condiciones que permitieron la formación de estrellas y galaxias. Aunque no está del todo claro si las estrellas aparecieron primero que las galaxias, se cree que aquéllas habrían aparecido entre unos 200 a 400 millones de años después de la gran explosión. La explicación clásica sobre el origen de las estrellas supone que su formación se debió al colapso gravitatorio de nubes de gas y polvo, versión que ha sido un tanto modificada en los últimos años con información científica reciente, resultado de observaciones y modelos teóricos que han arrojado mayor conocimiento sobre lo que verdaderamente ocurre en el corazón mismo de esas nubes.²⁴

Transcurridos unos 1,000 millones de años después del *big bang* (es decir, hace unos 12,700 millones de años) el universo estaba ya conformado por cientos de galaxias. Es comúnmente aceptado que nuestra galaxia, la Vía Láctea, se llegó a formar hace unos 10,000 millones de años y que nuestro sistema solar nació dentro de ella a partir de una nube de gas (también llamada nube interestelar o nube molecular) la cual fue resultado de un fenómeno que se conoce como *explosión de supernova* ocurrido hace quizá unos 8,000 millones de años.²⁵ Al contraerse dicha nube (o nebulosa) de gas se originó un glóbulo caracterizado por tener un movimiento de rotación que a escala terrestre era gigantesco, pero que en comparación con la nebulosa original era minúsculo. En él se aglutinaron casi el 99.8% de todos los materiales contenidos en la nube y el 0.2 % restante formó a su alrededor, y girando con él, un disco ecuatorial. Tras la continuación del proceso de contracción, ese glóbulo dio origen al Sol como estrella y los materiales en órbita no incorporados dieron lugar a la formación de los demás cuerpos de lo que ahora conforma el sistema solar: los planetas y sus satélites, los asteroides y cometas, y los demás polvos interplanetarios.²⁶

Mucho de lo que sabemos sobre el comienzo y la evolución del universo se debe precisamente a los estudios realizados sobre nuestro sistema solar. Hasta hace poco, los científicos se preguntaban si dicho sistema era repre-

²⁴ Gribbin, John, *op. cit.*, nota 3, pp. 200 y ss.

²⁵ Las supernovas son fenómenos que ocurren cuando cierto tipo de estrellas, las que tienen mayor masa que el Sol y que en ocasiones son llamadas estrellas macizas o masivas, llegan a estallar. Las explosiones de supernovas pueden formar estrellas de neutrones o agujeros negros. Más detalles en Hawking, Stephen W., *op. cit.*, nota 15, p. 161, y en Wald, Robert M., *op. cit.*, nota 3, pp. 117-120.

²⁶ Para una explicación ampliada de lo ocurrido a partir de la contracción de la nebulosa según lo aquí descrito, véase Galopim de Carvalho, A. M., "Evolución de la Tierra y de la Vida", *Pabellón del Futuro*, Portugal, Parque Expo 98, 1998, pp. 74-76.

sentativo del resto del universo dada la existencia de tantas estrellas y tantas galaxias (el Sol como estrella es una de las 100,000 millones de estrellas que se encuentran en nuestra galaxia y existen alrededor de 100,000 millones de galaxias en el universo). Uno de estos científicos, Thérèse Encrenaz,²⁷ había señalado que la interrogante fundamental en ese sentido consistía en determinar si la formación de los planetas constituía una fase habitual en el ciclo de la formación de una estrella o si más bien se trataba de un fenómeno único y excepcional. Gracias a descubrimientos realizados en este siglo ahora sabemos que existen alrededor de 100 o más sistemas planetarios además del nuestro. Por lo que la formación de un sistema solar no es otra cosa más que “una fase cíclica de la propia dinámica del universo” en tanto que los procesos que les dan origen son considerados normales e incluso frecuentes dentro de las galaxias.²⁸ De modo que el nacimiento, evolución y muerte de las estrellas —tengan o no planetas girando a su alrededor— es común en todas y cada una de las galaxias que existen en el universo.²⁹ Lo que no parece del todo claro todavía es hasta qué punto y en qué medida otros sistemas planetarios se asemejan al nuestro.

Encrenaz reflexionaba en algo más: ¿será posible que existan planetas *parecidos* a la Tierra?³⁰ En principio, no existe razón alguna para descartar semejante posibilidad, al menos no en el plano de las suposiciones teóricas y menos aún ahora que tenemos evidencia de que existen planetas extrasolares semejantes a Júpiter ¡pero más grandes!³¹ Hasta el momento, el planeta más parecido al nuestro fue descubierto en abril de 2007, y se encuentra en órbita alrededor de una estrella (enana roja) denominada Gliese 581. Este planeta se encuentra respecto a dicha estrella en la zona habitable (también conocida como Ricitos de Oro) donde la temperatura no es ni muy fría ni muy caliente, lo que habría de permitir la existencia de agua en forma líquida.³² El descubrimiento de este planeta —de tamaño similar al nuestro y al que se le identifica como Gliese 581 c— es por demás asombroso, pero la estrella sobre la que orbita está a unos 20,4 años luz de distancia, muchísimo más alejada que la estrella más cercana a nosotros que es Próxima Centauri

²⁷ Véase Encrenaz, Thérèse, *El Sistema Solar*, 3a. ed., trad. de Aurelia Álvarez Urbajtel, México, Siglo Veintiuno Editores, 2003, p. 79.

²⁸ Galopim de Carvalho, A. M., *op. cit.*, nota 26, p. 74.

²⁹ Hoy sabemos que todavía nacen estrellas en la Vía Láctea y que en ella se produce cada treinta años una explosión de supernova que, como ya hemos visto, es el antecedente de nuestro sistema solar.

³⁰ Encrenaz, Thérèse, *op. cit.*, nota 27, pp. 79 y 80.

³¹ Gribbin, John, *op. cit.*, nota 3, pp. 214 y ss.

³² Watson, Fred (coord.), *op. cit.*, nota 1, p. 158.

a 4,22 años luz. Se ha estimado que si en este momento se enviara alguna señal para hacer contacto llegaría a ese planeta posiblemente en el 2030. Tenemos que estar conscientes de que aún no contamos con las herramientas científicas o técnicas suficientes que nos permitan asegurar que éste y otros planetas que pudieran ser similares al nuestro son en realidad como el planeta Tierra tal y como nosotros le conocemos.

Los misterios que guarda nuestro planeta son demasiados y de diversa índole; el examen sobre sus orígenes y posibles réplicas o clones sigue siendo fascinante, complejo e inconcluso. No hace muchos años que se decía que la edad de la Tierra se perdía en un pasado sólo accesible a “inciertas valoraciones hipotéticas”,³³ pero que fijando una fecha de formación del sistema solar permitiría establecer un punto de partida para determinar una cronología en el estudio de su nacimiento y evolución. Hoy se cree que el origen del sistema solar es de hace unos 4,600 millones de años, que el de la Tierra es el mismo o en todo caso inmediatamente posterior a razón de unos 4,560 millones de años y que el único satélite del globo terráqueo —la Luna— es quizá unos 50 millones de años más joven que éste pues se calcula su formación hace unos 4,500 millones de años.³⁴

Partiendo de esta información, la historia de la Tierra se ha dividido en dos grandes tiempos o eones geológicos que comprenden esos 4.5 billones de años o más de existencia. El primero es el Eón Precámbrico que abarca aproximadamente de 4,560 a 550 millones de años y se divide en tres eras: Hadean, Arqueano y Proterozoico. Se caracteriza por ser el tiempo geológico más largo en la historia de la Tierra pero el que paradójicamente menos conocemos. El segundo es el Eón Fanerozoico que abarca alrededor de 545 millones de años a nuestros días y se divide también en tres eras: Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico, cada una de ellas subdividida en diversos periodos y éstos a su vez subdivididos en distintas épocas (véase tabla 1). De todas estas divisiones y subdivisiones sabemos más cuanto más se acercan a nosotros. En la actualidad vivimos en el Eón Fanerozoico de la Era Cenozoica dentro del Periodo Cuaternario en la Época del Holoceno.

³³ Melotti, Humberto, *El hombre entre la naturaleza y la historia*, trad. de Ricardo Pochtar, Barcelona, Ediciones Península, 1981, p. 33.

³⁴ Véase Nisbet, Euan G. y Sleep, N. H., “The physical setting for early life”, en Rothschild, Lynn J. y Lister, Adrian M. (comps.), *Evolution on planet Earth: the impact of the physical environment*, Inglaterra, Centre for Ecology and Evolution, The Linnean Society of London, Academic Press, 2003, pp. 4-6.

TABLA 1
DIVISIONES GEOLÓGICAS DE LA TIERRA

<i>EÓN</i>	<i>ERA</i>	<i>PERIODO</i>	<i>ÉPOCA</i>	<i>AÑOS (millones)</i>
FANEROZOICO	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	0.01
			Pleistoceno	1.81
		Terciario	Plioceno	5
			Mioceno	24
			Oligoceno	34
			Eoceno	55
	Paleoceno		65	
	Mesozoico	Cretáceo	Superior	99
			Inferior	142
		Jurásico	Superior	159
			Medio	180
			Inferior	206
		Triásico	Superior	227
	Medio		242	
	Inferior		248	
Paleozoico	Pérmico		290	
	Carbonífero		354	
	Devónico		417	
	Silúrico		443	
	Ordovícico		495	
	Cámbrico		545	
PRECÁMBRICO	Proterozoico			2,500
	Arqueano			3,800
	Hadean			4,560

FUENTE: Cheers, Gordon (ed.), 2000; Palmer, Douglas (ed.), 2006; Rothschild, Lynn J. y Lister, Adrian M. (comps.), 2003.

Cuando hablamos de la Tierra a escala geológica (*i. e.* lo ocurrido durante el Precámbrico y el Fanerozoico) debemos tener presente que desde sus orígenes y hasta nuestros días ha estado en constante transformación, experimentando enormes y muy variados cambios en todo aquello que la conforma.

Pertencen al Eón Precámbrico, el nacimiento de la Tierra fría y por aglutinación sucesiva de los primeros condensados (acreción); la conversión que tuvo a globo esférico; la aparición del calor y las altas temperaturas; la conformación de la primera atmósfera; las primeras erupciones volcánicas

y la aparición de la corteza primitiva; la formación de las primeras rocas; el comienzo de la erosión y la sedimentación; el impacto de meteoritos; el nacimiento, unión y fragmentación sucesiva de continentes; el origen, reducción, crecimiento, apertura y cierre de los océanos, y las primeras formas de vida.

Durante el Eón Fanerozoico algunos de los eventos ocurridos en el eón anterior se han repetido y otros han aparecido.³⁵ A este eón pertenecen, una vez más, la transformación y ubicación de continentes (unión y fragmentación), así como la reducción, crecimiento, apertura y cierre de océanos; la formación de un supercontinente *Pangea* que se encontraba rodeado de un único océano *Pantalasa*; la fragmentación de este supercontinente hace quizá unos 200 millones de años hacia el estado actual de los continentes; erupciones volcánicas y consolidación de la corteza terrestre; nuevos impactos de meteoritos; recurrentes cambios climáticos; calentamientos globales y elevaciones del nivel del mar; etapas de hielo y disminuciones del nivel del mar; vastas regiones desérticas; formación de una atmósfera rica en oxígeno para permitir la vida terrestre; formación de lagos, ríos y lagunas de aguas dulces con abundantes formas de vida; diversificación de un sinnúmero de especies de flora y fauna; constante reemplazo de ciertas formas de vida por otras (*i. e.* origen, evolución y extinción de las especies); cinco episodios masivos de extinción de especies; y finalmente, la aparición y expansión de la especie humana.

II. EL INTERMEDIO DEL UNIVERSO: LA VIDA

...es la vida,
más que la muerte,
la que no tiene límites.

Gabriel GARCÍA MÁRQUEZ

Me pregunto si en este siglo que comienza —el siglo XXI— seguirá existiendo esa falta de consenso para explicar lo que se entiende por vida. Son

³⁵ En su enciclopedia sobre el mundo prehistórico (de donde hemos obtenido la información para explicar lo ocurrido en la Tierra durante el Tiempo o Eón Fanerozoico) el profesor Douglas Palmer de la Universidad de Cambridge, Reino Unido, hace un excelente recuento de los principales cambios ocurridos durante las diferentes eras y periodos geológicos que corresponden a los últimos 600 millones de años. Recomendamos acudir a esta obra para mayor detalle. Véase Palmer, Douglas (ed.), *The Illustrated Encyclopedia of the Prehistoric World*, Londres, Marshall Editions, 2006.

tantas las definiciones que se han elaborado sobre este vocablo que el concepto se ha vuelto muy amplio y ambiguo a la vez que complejo.³⁶ Sus muy diversos significados reflejan intereses personales o de grupo ya sea para la defensa de una ideología o de una religión, o para justificar cómodas visiones científicas sobre nosotros mismos. Es verdad que existen acepciones coincidentes en las que la vida supone un periodo o espacio de tiempo que va desde el nacimiento hasta la muerte, pero las diferencias sobre sus características pueden ser enormes cuando se trata de campos de conocimiento distintos.

Los biólogos no han logrado ponerse de acuerdo respecto a una definición general de lo que es la vida. Nuestra experiencia acerca de sus formas posibles es muy limitada... mientras que no existe un acuerdo sobre qué propiedades son *necesarias* para que algo pueda ser llamado “vivo”, hay un consenso razonable sobre las características que serían *suficientes* para que algo sea calificado de “vivo”.³⁷

Contrastemos algunas reflexiones sobre el concepto de vida: (i) para Christian de Duve, Premio Nobel de Medicina 1974, la vida, cuya comprensión no puede de modo alguno intentarse sin el lenguaje de la química es “lo que es común a todos los seres vivos”,³⁸ (ii) para John Gribbin, astrofísico de la Universidad de Cambridge, Inglaterra, la vida “involucra utilizar energía del entorno circundante para desarrollar moléculas complejas, crecer y reproducirse... en el caso de la vida en la superficie de la Tierra, esa fuente de energía es, naturalmente, el Sol”,³⁹ y (iii) para los médicos, Arnoldo Kraus y Ruy Pérez Tamayo, profesores de la Universidad Nacional Autónoma de México y miembros del Colegio de Bioética A.C., la vida es “un proceso que ocurre en sistemas complejos de macromoléculas organizadas en una jerarquía de patrones estructurales discontinuos, termodinámicamente poco probables y mantenidos gracias a la inversión continua de energía”.⁴⁰

En realidad, esta obra no tiene el propósito de analizar qué acepción de las que existen es la mejor, ni tampoco el de elaborar una definición. Lo que importa sobre este concepto es, primero, que en nuestra aceptación de la teoría del *big bang*, la vida en la Tierra se presenta como un suceso intermedio en

³⁶ Tan solo el *Diccionario de la Lengua Española* en su vigésima segunda edición, la de 2001, contiene aproximadamente veinte acepciones diferentes.

³⁷ Barrow, John D., *op. cit.*, nota 7, p. 162.

³⁸ Duve, Christian de, *La vida en evolución*, trad. de Joandomènec Ros, Barcelona, Crítica, 2004, pp. 25 y ss.

³⁹ Gribbin, John, *op. cit.*, nota 3, p. 225.

⁴⁰ Kraus, Arnoldo y Pérez Tamayo, Ruy, *Diccionario incompleto de bioética*, México, Taurus, 2007, p. 214.

el comienzo y el final del universo, esto es, existe un *antes* de la vida terrestre⁴¹ y existirá un *después* sin ella, y segundo, que la historia de la vida en la Tierra está asociada a un proceso natural que comprende tres pasos: *origen*, *evolución* y *extinción*.

1. *La historia de la vida: origen, evolución y extinción*

A. *Origen*

Ante la cuestión sobre el origen de la vida, las principales interrogantes que se formulan son: dónde, cómo y cuándo. Algunas de las teorías que se han elaborado para darles respuesta al *dónde* y al *cómo* son las siguientes.⁴²

a. *Generación espontánea*

Como su nombre lo indica, esta teoría supone que los primeros seres vivos surgieron a partir de un proceso espontáneo, es decir se trata de un suceso o fenómeno meramente natural. Este supuesto parece haber sido asumido implícitamente por Charles R. Darwin (1809-1882), pero fue Félix-Archimède Pouchet (1800-1872) uno de sus principales defensores.

b. *Panspermia*⁴³

Es aquélla que sostiene que la vida no habría surgido en la Tierra, sino que vino desde otra parte del universo, quizá en meteoritos o cometas. Las

⁴¹ Es evidente que con la expresión *vida terrestre* dentro de este contexto nos referimos a lo que pertenece o es relativo a la vida en el planeta Tierra, es decir a lo terrícola. Por lo que con dicha expresión no nos referimos a la vida que pertenece a la tierra en contraposición a la vida que pertenece al mar y a los ecosistemas acuáticos y que llamamos respectivamente *vida marina* y *vida acuática*.

⁴² La clasificación y descripción de estas hipótesis contienen fragmentos, reflexiones y explicaciones obtenidas principalmente de dos autores: Duve, Christian de, *op. cit.*, nota 38, pp. 67-88, y Lazcano, Antonio, "Origen de la vida: desarrollo histórico de las teorías actuales", en Margulis, Lynn y Olendzenski, Lorraine (eds.), *Evolución ambiental. Efectos del origen y evolución de la vida sobre el planeta Tierra*, trad. de Mónica Solé Rojo, Madrid, Alianza Editorial, 1996, pp. 66-77. La teoría de *Gaia* la hemos obtenido principalmente de su creador, el británico James Lovelock. Remitimos a estos tres autores para mayor conocimiento en el desarrollo de las teorías que aquí exponemos. Cuando hemos considerado oportuno ampliar la información vertida en este listado con otros autores o citar textualmente algunas líneas de los tres autores consultados, se ha hecho la referencia bibliográfica correspondiente en notas a pie de página.

⁴³ El término fue acuñado por Svante Arrhenius (1859-1927), Premio Nobel de Química 1903, y hoy famoso por sus predicciones de hace ya muchos años sobre el cambio climático.

objecciones a esta teoría están basadas en el argumento de que el origen extraterrestre de la vida depende de algo que no es posible: la existencia en alguna parte del universo de condiciones similares a las que permitieron el origen de la vida en nuestro planeta. Sin embargo, este argumento se ha ido desmoronando con el paso del tiempo ya que se ha demostrado que objetos estelares como meteoritos y cometas pueden proteger a ciertos organismos o albergar sustancias que son elementales de la vida. Desde la investigación química se ha logrado demostrar la existencia de moléculas orgánicas cósmicas (semejantes a las involucradas en los procesos anteriores al origen de la vida terrestre) lo que deriva en el hecho de que la vida es común en el universo.⁴⁴

Si bien la idea misma del origen extraterrestre de la vida es cada vez más aceptada, se ha criticado a los defensores de la panspermia el que consideren que las sustancias o constituyentes elementales de la vida sean, a su vez, producto de la vida, es decir, tengan un origen biológico.

En la actualidad, la base científica sobre la verosimilitud de la vida extraterrestre —ya no se discute si existe o no este tipo de vida sino su origen— tiene más bien una explicación de tipo químico. Es decir, las sustancias elementales de la vida ubicadas en cuerpos estelares (se ha revelado la existencia en ellos de moléculas orgánicas extraterrestres con contenido característico de la vida, como los aminoácidos) son producto de reacciones químicas. Así lo enfatiza Christian de Duve: “...la opinión de la mayoría es que las moléculas son de origen no biológico. Una buena razón para adoptar este punto de vista es que las mismas moléculas pueden obtenerse fácilmente en el laboratorio en las condiciones en las que podría haberse encontrado la Tierra hace cuatro mil millones de años”.⁴⁵

Por lo que no es aventurado apoyar la idea de que el primer paso para la aparición de vida tuvo lugar, y lo sigue teniendo, en las nubes de gas y polvo donde se forman todas las estrellas.⁴⁶

c. Origen autotrófico

A principios del siglo XX, el físico Leonard Troland (1889-1982) y un grupo de científicos argumentaron la posibilidad de la creación espontánea

⁴⁴ Algunas explicaciones sobre esto en Ponnampertuma, Cyril, “Evolución cosmoquímica y el origen de la vida”, en Margulis, Lynn y Olendzenski, Lorraine (eds.), *Evolución ambiental. Efectos del origen y evolución de la vida sobre el planeta Tierra*, trad. de Mónica Solé Rojo, Madrid, Alianza Editorial, 1996, pp. 35 y 36.

⁴⁵ Duve, Christian de, *op. cit.*, nota 38, p. 79.

⁴⁶ Gribbin, John, *op. cit.*, nota 3, pp. 225 y ss.

y abiológica de moléculas catalíticas en océanos primitivos para explicar el origen de la vida. Posteriormente, el estadounidense Hermann J. Muller (1890-1967) desarrolló esta idea y concluyó que la primera forma de vida provino de un gen vivo capaz de mutar y, consecuentemente, de evolucionar. Estos genes suscitaron la aparición de microorganismos fotosintéticos, ancestros de las plantas que hoy conocemos, y con la pérdida de la fotosíntesis, a los animales.

Los organismos autótrofos se alimentan de fuentes no vivas y pueden ser de dos tipos: los que obtienen su energía de la luz (son los fotosintéticos y son la mayoría) y los que la obtienen de reacciones químicas (son los quimiosintéticos). Aunque la autotrofia tenga sus adeptos para explicar el origen de la vida, no existe todavía consenso para determinar que esto haya sido así. No obstante lo anterior, esta teoría parece la preferida para explicar el origen del último antepasado común de la vida existente sobre la Tierra.

d. Plasmogénesis

Esta teoría desarrollada por el científico mexicano Alfonso L. Herrera López (1868-1942) intentó dar una explicación del origen de la vida a través de la producción de células fotosintéticas vivas en un laboratorio. A través de ella, se sostenía que las primeras formas de vida habían sido autotróficas, es decir, que éstas eran capaces de crear su propia materia orgánica para subsistir. Es concebible que la vida misma podía crearse por experimentos de laboratorio.

e. Origen heterotrófico

Basada fundamentalmente en las teorías del químico ruso Alexander I. Oparin (1894-1980), esta tesis señala que las primeras formas de vida no podían elaborar su propia materia orgánica como en el caso de la explicación de origen autotrófico. Por el contrario, Oparin sostenía que la materia orgánica que obtenían estas tempranas formas de vida (vegetal o animal y viva o en descomposición) ya estaba presente en nuestro planeta, por lo que habría de concluir que el primer microorganismo debió haber sido heterótrofo. La necesidad de demostrar que la materia orgánica se formó en ausencia de seres vivos lo llevó a establecer explicaciones que derivaron en la idea de la existencia de una *sopa prebiótica*.

Los primeros conceptos de una evolución química hacia la vida aparecen a mediados del siglo XX gracias a Oparin y al biólogo inglés J. B. S. Hal-

dane (1892-1964), quienes sugirieron por separado que “cuando la Tierra era joven la energía disponible del corazón del planeta y de los relámpagos podrían haber animado a las reacciones químicas que llevaron a la formación de aminoácidos a partir del agua y de compuestos como el metano y el amoníaco”.⁴⁷ Sin embargo, fueron los científicos Harold C. Urey (1893-1981) y su discípulo Stanley L. Miller (1930-2007) quienes realizaron los primeros experimentos de laboratorio para averiguar si era posible sintetizar moléculas orgánicas complejas (*i. e.* síntesis prebiótica) a partir de mezclas gaseosas simples (*i. e.* simular la atmósfera primitiva) utilizando descargas eléctricas.⁴⁸

Los resultados exitosos que se obtuvieron en aquéllas fechas ha provocado desde entonces la realización de nuevos experimentos e innovadoras investigaciones en las que se han sintetizado en el laboratorio muchos y diversos materiales orgánicos. El gran enigma de esta hipótesis ha sido explicar y demostrar el paso o transición de una fase prebiótica a la aparición de seres vivos.

f. Casualidad afortunada

Hay científicos que han sostenido que en realidad el origen de la vida no fue otra cosa más que puro azar. Esta hipótesis se basa en la idea de la ocurrencia de un único o singular suceso de probabilidad extremadamente baja. En otras palabras, “la vida es el producto de acontecimientos altamente improbables que es poco verosímil que hubieran ocurrido en ningún otro lugar y que muy bien pudieron no haber sucedido en absoluto en la Tierra si no fuera por una extraordinaria combinación de circunstancias”.⁴⁹ Así, la vida se origina como resultado de un simple accidente cósmico que no tiene significado alguno. Como podrá fácilmente advertirse, esta teoría ha sido criticada porque se ha insistido que el origen de la vida no se trata de un único, sino de muchos acontecimientos donde hubo procesos químicos muy variados.

g. La hipótesis *Gaia*

Durante la década de los setenta del siglo pasado, el científico británico James Lovelock desarrolló una hipótesis que se oponía a la tradicional

⁴⁷ *Ibidem*, p. 231.

⁴⁸ Véase Encrenaz, Thérèse, *op. cit.*, nota 27, pp. 92 y 93.

⁴⁹ Duve, Christian de, *op. cit.*, nota 38, p. 86.

forma de proponer que la vida surge a partir de las condiciones planetarias existentes. La hipótesis *Gaia* parte más bien de la idea de que “las condiciones en la Tierra son las apropiadas para la vida porque nosotros y toda vida, por medio de nuestros esfuerzos, hemos hecho que sea así y siga así”.⁵⁰ Por lo que es la vida la que ha manipulado o moldeado las condiciones físicas y químicas de la Tierra para sí misma, como ha sucedido por ejemplo para la estabilización de la presencia de agua⁵¹ o para la regulación y mantenimiento de la atmósfera.

En sus investigaciones sobre el elemento atmósfera (derivadas en parte de un proyecto para la búsqueda de vida en Marte y que fuera financiado por la *National Aeronautics and Space Administration*, NASA), Lovelock desarrolla la hipótesis⁵² de que toda la materia viva de la Tierra, desde las ballenas y los virus hasta los robles y las algas, constituyen una única entidad viviente que tiene la capacidad de manipular la propia atmósfera para mantener las condiciones que son necesarias para ella misma. Toda esta materia viva supone un complejo sistema que puede ser visto como un organismo que hace a nuestro planeta un lugar adecuado para la vida. De manera que la atmósfera no es un *producto biológico* sino una *construcción biológica* que no está viva, sino hecha por cosas vivas y que es una extensión (una parte) de un sistema vivo diseñado para mantener un entorno elegido. Al sistema que regula el planeta Tierra, Lovelock le llama *Gaia*, y lo define como una entidad compleja que abarca la biosfera terrestre, la atmósfera, los océanos y la tierra.

Aunque esta hipótesis no ayuda del todo a responder de dónde viene la vida (quizá esa nunca fue su intención), sí llega a aportar una forma distinta de ver el cómo surge y sobre todo el cómo habrá de continuar: “la vida misma puede vivir mientras pueda mantener este planeta adecuado para ella”.⁵³

Frente a todas estas propuestas y para abordar la interrogante de *dónde* vino la vida, parece convincente comenzar a elaborar una respuesta a par-

⁵⁰ Lovelock, James, “Gaia. Un modelo para la dinámica planetaria y celular”, en Thompson, William I. (ed.), *Gaia. Implicaciones de la nueva biología*, 3a. ed., trad. de Darryl Clark y Carletto Carbó, Barcelona, Kairós, 1995, p. 81. Los antecedentes de esta idea se remontan tal y como lo señala y reconoce el propio Lovelock a 1875, fecha en la que se publicó un artículo en la revista *Scientific American* sugiriendo tal hipótesis.

⁵¹ Véase Nisbet, Euan G. y Sleep, N. H., “The physical setting for early life”, *op. cit.*, nota 34, pp. 21 y 22.

⁵² El resumen que aquí presentamos sobre esta hipótesis se obtuvo de Lovelock, James, “The Gaia Hypothesis”, en Dobson, Andrew (ed.), *The Green Reader*, Londres, Andre Deutsch, 1991, pp. 264-268 y del mismo autor, “Gaia. Un modelo para la dinámica planetaria y celular”, *op. cit.*, nota 50, pp. 80-94.

⁵³ Lovelock, James, “Gaia. Un modelo para la dinámica planetaria y celular”, *op. cit.*, nota anterior, p. 94.

tir de la idea de que vida hay en el universo y que ésta —o por lo menos el proceso que la origina— se encuentra en el polvo interestelar y en otros cuerpos espaciales dentro y fuera de nuestro sistema solar. Aceptamos en este sentido el planteamiento de que “la vida empieza con el proceso de formación de las estrellas”⁵⁴ y por lo tanto la vida de este planeta debió haber tenido un origen “extraterrestre”. Aclaremos que este origen extraterrestre nada tiene que ver con la propuesta filmico-ficticia de que ¡un marciano o un alienígena hubiera aterrizado en este planeta hace mucho tiempo! Se trata en realidad de los polvos interestelares o meteoritos que desde hace 4,000 millones de años ya bombardeaban a nuestro planeta.

En suma, considero que hay que distinguir entre *i*) los procesos que originan vida, que son las reacciones químicas que pueden darse en cualquier parte del universo; *ii*) la existencia de vida simple, que puede encontrarse no sólo en la Tierra sino en otras partes del universo, y *iii*) la vida inteligente (supone la capacidad de emitir señales), que hasta ahora creemos que sólo se encuentra en este planeta porque es la única que conocemos.

Pienso que el debate sobre la búsqueda de vida simple más allá de la Tierra (*i. e.* no me refiero a los procesos interestelares que la originan) no radica en cuestionar si la habremos de encontrar o no, sino en descubrir, por muy difícil que esto sea, bajo qué forma existe, ha existido o habrá de existir. Todo apunta a que el principio del éxito de esta búsqueda —la ciencia que mayormente se dedica a esto es la astrobiología— está ligado, al menos en teoría, a la existencia de agua en algún otro planeta. Cosa distinta es el debate sobre la existencia de vida inteligente. Sin señales verosímiles y científicamente fidedignas que pudieran confirmar este tipo de vida, habrá de prevalecer la incertidumbre. Supuestas señales de vida inteligente, como la LGM-1 u *Hombrecillos Verdes 1* de la década de los sesenta del siglo pasado,⁵⁵ han sido consistentemente descartadas.

Sobre el *cómo* se originó la vida terrestre, Christian de Duve ha encontrado una respuesta que considero la más oportuna por ser paradójicamente la más cercana a algo que podemos entender y comprender desde cualquier ciencia: “no lo sabemos; y quizá no lo sepamos durante mucho tiempo”.⁵⁶ Es evidente que se trata de un enunciado que no nos ayuda a satisfacer nuestra curiosidad sobre el *cómo* del origen de la vida terrestre, pero al menos alcanza ese inesperado humor científico-filosófico que nos permite reflexionar sobre el futuro de la ciencia actual.

⁵⁴ Gribbin, John, *op. cit.*, nota 3, p. 167.

⁵⁵ Véase para mayor detalle, Watson, Fred (coord.), *op. cit.*, nota 1, p. 164.

⁵⁶ Duve, Christian de, *op. cit.*, nota 38, p. 144.

Respecto a *cuándo* surgió la vida, creo que por lo dicho hasta aquí, me atrevería a suponer que habrá tenido que ser en algún momento después del *big bang*. ¡Esto es caminar sobre terrenos muy resbaladizos! Pero si examinamos esta interrogante particularmente para el caso del planeta Tierra y bajo el concepto de vida simple, el camino es un poquito menos escabroso. En este sentido, se ha tratado de fijar una fecha de inicio que es más o menos aceptada por toda la comunidad científica en donde se ha estimado que las formas más simples de vida (microorganismos de tipo bacteriano) existieron hace unos 3,500 millones de años. Sin embargo, hay quienes advierten sobre la existencia de pruebas que demostrarían que la vida en la Tierra es aún más antigua ya que se argumenta que hace unos 3,800 millones de años habitaban organismos microscópicos que utilizaban vapor de agua, nitrógeno, metano y amoníaco para obtener alimento y energía.⁵⁷ La fecha de inicio se ha extendido aún más por hallazgos recientes realizados en Groenlandia, donde se encontraron indicios de vida en rocas de hace unos 3,850 millones de años.⁵⁸

Sin eliminar la posibilidad de existencia de vida para esas fechas (o incluso antes de ellas), el nacimiento de los primeros organismos se encuentra de todos modos dentro de un eón geológico —el Precámbrico— donde nuestro conocimiento sobre la Tierra es muy limitado. Más bien, es a partir del Eón Fanerozoico y en particular de la Era Paleozoica (hace 545 millones de años), que podemos tener mayor comprensión de la vida en nuestro planeta. El registro fósil del tiempo Fanerozoico permite un seguimiento de la evolución biológica mucho más seguro que el que corresponde al tiempo Precámbrico.⁵⁹

B. *Evolución*

La explicación científica de la historia de la vida en la Tierra descansa en el concepto de *evolución*. Y desde ahora debemos dejar en claro que la propuesta desarrollada bajo este concepto no es una mera hipótesis (*i. e.* un enunciado que no se ha podido verificar) sino toda una teoría (*i. e.* una hipótesis que ha sido sometida a pruebas verificables que se tienen por válidas o ciertas). De modo que en nuestros días lo que conocemos comúnmente como *teoría de la evolución* es aceptada prácticamente por todos los científicos

⁵⁷ Broswimmer, Franz J., *Ecocidio. Breve historia de la extinción en masa de las especies*, trad. de Francisco Páez de la Cadena, Pamplona y México, Laetoli-Océano, 2005, pp. 39 y 40.

⁵⁸ Véase Duve, Christian de, *op. cit.*, nota 38, pp. 72-74.

⁵⁹ Así lo señala Galopim de Carvalho, A. M., *op. cit.*, nota 26, pp. 81 y 82.

del mundo e incluso por la mayoría de las organizaciones religiosas. Gracias a ella, nuestra visión del universo en la búsqueda del origen y futuro de la vida y de los seres humanos se ha transformado profundamente. Esto ha provocado entre otras cosas que estructuras religiosas tan extendidas como la Iglesia Católica se hayan puesto a discutir sobre su contenido y alcances. Dan cuenta de esto la palabra de tres jerarcas católicos a lo largo de las últimas décadas:

- i) En su encíclica *Humani generis* de 1950, el Papa Pío XII (1876-1958) afirmó que no había oposición entre la evolución y la doctrina de la fe sobre el ser humano y su vocación; en ella, este papa (de nombre Eugenio Maria Giuseppe Giovanni Pacelli) consideraba al evolucionismo como “una hipótesis seria, digna de una investigación y de una reflexión profundas”. Sin embargo, Pío XII estableció dos condiciones de orden metodológico que acompañaban dicho pensamiento: primero, que la evolución no habría de adoptarse como una doctrina que fuera cierta y demostrada; segundo, que en todo caso fuera compatible con la propia fe cristiana. En un avance enorme para el pensamiento católico, Pío XII llegó a reconocer que la materia viva existía antes que el cuerpo humano y que fue ella la que le dio su origen, pero aclaró que el alma espiritual había sido creada inmediatamente por Dios.⁶⁰
- ii) En el mensaje dirigido a los miembros de la Academia Pontificia de Ciencias el 22 de octubre de 1996 (que rescataba lo señalado al respecto en la *Humani generis* del Papa Pío XII), el Papa Juan Pablo II (1920-2005) afirmó lo siguiente: “Hoy, casi medio siglo después de la publicación de la encíclica, nuevos conocimientos llevan a pensar que la teoría de la evolución es más que una hipótesis... es notable que esta teoría se haya impuesto paulatinamente al espíritu de los investigadores, a causa de una serie de descubrimientos hechos en diversas disciplinas del saber”. Si bien este papa (de nombre Karol Wojtyła) le otorgó al concepto de evolución el *status* de teoría y se refirió a la existencia no de una, sino de varias teorías de la evolución, enfatizó que ninguna de ellas era compatible con la explicación verdadera sobre el ser humano (creado a imagen y semejanza de Dios y cuya alma espiritual era creada por éste mismo). Al igual que Pío XII, Juan Pablo II no aceptaba que el

⁶⁰ Esta referencia puede leerse en la página web del Vaticano en el Mensaje del Papa Juan Pablo II a la Academia Pontificia de Ciencias de octubre de 1996. Véase Vaticano, *Mensaje del Santo Padre Juan Pablo II a los miembros de la Academia Pontificia de Ciencias*, 22 de octubre de 1996, http://www.vatican.va/holy_father/john_paul_ii/messages/pont_messages/1996/documents/hf_jp2_mes_19961022_evolutione_sp.html

espíritu surgiera de la materia viva o de un simple epifenómeno de ella, tal y como lo afirmaban —según él— las explicaciones evolutivas. Aunque Juan Pablo II habría de mencionar la importancia de los descubrimientos obtenidos por las ciencias en relación con la vida y el transcurso de ella en el tiempo, insistió que no era objeto de ninguna de ellas el estudio sobre lo que denominó “el momento del paso a lo espiritual”.⁶¹

- iii) Durante la celebración de la Vigilia Pascual del 15 de abril de 2006, el actual jerarca católico —el Papa Benedicto XVI—, se refirió a la teoría de la evolución en el marco de la discusión sobre la resurrección de Cristo. Al hacer hincapié sobre la importancia y actualidad que dicha teoría tiene para todos nosotros, este Papa (de nombre Joseph Ratzinger) comentó que si se utilizara el lenguaje de la teoría de la evolución la resurrección significaría algo así como la mayor mutación, el “salto más decisivo” jamás ocurrido en la larga historia de la vida hacia una “dimensión totalmente nueva”. Según él, la resurrección de Cristo “no es un milagro cualquiera del pasado... Es un salto cualitativo en la historia de la ‘evolución’ y de la vida en general hacia una nueva vida futura, hacia un mundo nuevo que, partiendo de Cristo, entra ya continuamente en este mundo nuestro...”. Aunque Benedicto XVI no hubiera hecho en esta homilía mayor alusión al significado o trascendencia de la evolución, llama la atención que se hubiera referido a ella como una teoría. Salta a la vista que este Papa acepte y hable sobre la existencia de una historia de la evolución pero no es sorpresa advertir que haga hincapié que dentro de ella el suceso más importante fue la mismísima resurrección de Cristo, a la que por cierto define como un acontecimiento cósmico.⁶²

Pero dejemos por un instante el pensamiento católico y demos con ello nuestro propio salto —¡de lo religioso a lo científico!— para adentrarnos en el análisis de los orígenes y desarrollo del concepto mismo de evolución.

Empecemos por aclarar que para el estudio de la historia de la vida en la Tierra, el término que debemos utilizar es el de *evolución biológica*. Los antecedentes de esta noción se remontan al siglo XVIII con la creación de lo que se conoce como *hipótesis transformista* que postulaba que los seres

⁶¹ *Idem*.

⁶² Remitimos nuevamente al lector a la página web del Vaticano. Véase Vaticano, *Homilía del Santo Padre Benedicto XVI*, Vigilia Pascual, Basílica Vaticana, Sábado Santo, 15 de abril de 2006, http://www.vatican.va/holy_father/benedict_xvi/homilies/2006/documents/hf_ben-xvi_hom_20060415_veg-lia-pasquale_sp.html

vivos transmutaban o cambiaban de una especie a otra a lo largo del tiempo, donde los organismos más complejos eran resultado de los más sencillos. Las ideas de transformación fueron expuestas principalmente por los franceses Georges-Louis Leclerc de Bufón (1707-1788) y Jean-Baptiste de Monet de Lamarck (1744-1829), así como por el inglés Erasmus Darwin (1731-1802) a quien se atribuye la creación de la idea misma de evolución.⁶³ Sin embargo, no fue sino hasta mediados del siglo XIX que la propuesta de una evolución biológica de los organismos vivos cobró fuerza y comenzó a ser aceptada gracias a las aportaciones científicas del alemán Ernst Haeckel (1834-1919), pero sobre todo, a las de los ingleses Charles Robert Darwin (1809-1882) y Alfred Russel Wallace (1823-1913), quienes esbozaron una teoría de la evolución con razonamientos distintos a los desarrollados por sus antecesores transformistas.

En esencia, lo que habría de marcar la diferencia entre esas dos posturas habría de ser la causa o mecanismo sugerido para explicar el fenómeno de cambio en las especies. De modo que bajo la premisa —todavía un tanto vaga durante aquellos años— de que el concepto de evolución estaba estrechamente vinculado al de herencia, y que de hecho para que la evolución tuviera lugar era necesario que se insertara algún elemento de variación, fue que se consolidaron dos visiones distintas para explicar la variación de los caracteres hereditarios.⁶⁴ Por un lado, Lamarck (creador de la teoría transformista) proponía como origen de dicha variación *el uso*, es decir, el mecanismo de evolución propuesto era el de la herencia de los caracteres adquiridos. Este autor creía que las jirafas “debían su largo cuello a los esfuerzos de estiramiento de generaciones de jirafas que intentaban alcanzar las ramas más altas de los árboles, y que cada milímetro ganado de esta manera se heredaba”.⁶⁵ Por su parte, Charles Darwin (por cierto, nieto de Erasmus) explicaba la variación de los caracteres hereditarios en torno a la idea de la *selección natural*, por lo que a diferencia de Lamarck, aseguraba que “el largo cuello de las jirafas es el resultado de cambios accidentales hereditarios que resultaron tener consecuencias útiles para la supervivencia y multiplicación de los individuos modificados”.⁶⁶ Con este último supuesto, y al tomar en cuenta las ideas del economista Thomas Robert Malthus (1766-1834) sobre la competencia por la supervivencia de los individuos como resultado del crecimiento poblacional de manera geométrica y de los recursos naturales disponibles de manera aritmética, Darwin argumentó que las variaciones

⁶³ Palmer, Douglas, *op. cit.*, nota 35, p. 474.

⁶⁴ Véase para mayor información Duve, Christian de, *op. cit.*, nota 38, pp. 156 y ss.

⁶⁵ *Ibidem*, pp. 156 y 157.

⁶⁶ *Ibidem*, p. 157.

de los organismos evolucionaban gradualmente y que lo hacían en largos periodos adaptándose a su medio ambiente a través de los procesos de selección natural.

Darwin enfatizó, además, que en su lucha por sobrevivir, las variedades de organismos mejor adaptadas al entorno a través de la selección natural habrían de predominar y transmitir sus caracteres a la siguiente generación. En su influyente obra sobre el origen de las especies (publicada en 1859 bajo el título *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*, en nuestro idioma conocida simplemente como *El origen de las especies*) este científico inglés señaló que

Debido a la lucha por la existencia, la más pequeña variación, si es de alguna manera favorable a los individuos de una especie, ayudará a la conservación de los mismos y será, en general, heredada por sus descendientes. Éstos a su vez, tendrán mejores posibilidades de seguir con vida, pues de los muchos individuos de una especie que nacen, sólo un pequeño número puede sobrevivir. Este principio, por el cual toda pequeña variación, si es útil, se conserva, lo he denominado *selección natural*, para distinguirlo de la selección artificial realizada por el hombre; en ocasiones se denomina también, como propuso Herbert Spencer, *supervivencia del más apto*.

Uso de (*sic*) la expresión lucha por la existencia en sentido amplio, y en ella incluyo, no sólo la vida del individuo, sino también su éxito en dejar descendencia.⁶⁷

Con el paso del tiempo los postulados de Lamarck fueron relegados, pero la propuesta de selección natural de Darwin sobrevivió y pudo ser confirmada y validada gracias a descubrimientos posteriores realizados por otras disciplinas científicas como la geología o la paleontología. Sin embargo, los saberes científicos que más han contribuido al éxito de la teoría de la evolución de Darwin han sido sin duda la genética y la biología molecular.

En efecto, con los avances en los estudios tanto de la variación y la herencia (desde la genética) como de la estructura, funcionamiento y composición de las moléculas dentro de las células (desde la biología molecular), hoy es posible sostener que la brillante idea de Charles Darwin para explicar el mecanismo de la evolución a través de la selección natural no era del todo incorrecta. Claro está que así como muchas de sus ideas se han corroborado y extendido, otras se han superado. Ejemplo claro de esto último es el hecho de que hace algunos años se demostró que los cambios evolutivos provoca-

⁶⁷ Cita textual de Charles Darwin de su libro *El origen de las especies*, tomada de Schussheim, Victoria, *El viajero incomparable. Charles Darwin*, 2a. ed., México, Pangea, 2002, pp. 41 y 43.

dos por la selección natural ocurren no sólo con el transcurso de miles de años como lo pensaba Darwin, sino que pueden ocurrir en tiempo real.⁶⁸

De manera más detallada, sabemos ahora que la selección natural es resultado de un proceso accidental del azar y de un proceso de necesidad vinculado al éxito reproductivo dentro de una población determinada.⁶⁹ Gracias a la genética —que tuvo sus orígenes en 1866 con un ensayo publicado por el monje moravio Gregor Mendel (1822-1884)— también sabemos que para que la selección natural genere un proceso de cambio en los seres vivos (*i. e.* produzca un cambio evolutivo) es indispensable que exista variación genética en una población; dicha variación genética es producida por cambios en una molécula conocida como ácido desoxirribonucleico (por sus siglas, ADN) la cual contiene precisamente información genética. Los cambios en las moléculas del ADN se denominan *mutaciones* y ocurren de manera aleatoria en uno o más genes (segmentos o partes de una molécula de ADN) de un organismo vivo.

Ahora bien, si alguna mutación (*i. e.* cambio molecular) incluye un cambio grande en el ADN, causará la muerte de un organismo y estaremos frente a lo que se denomina *mutación letal*.⁷⁰ Aunque existen mutaciones benéficas o incluso neutrales, un gen mutante generalmente es perjudicial.

La mayoría de las mutaciones son nocivas para los organismos. La razón de ella es simple: durante millones de años de evolución, la selección natural ha suprimido casi todos los genes deletéreos y conservado sólo los genes que adaptan a los organismos a sus ambientes... Sin embargo, las mutaciones pueden ser beneficiosas cuando el ambiente cambió y los organismos ya no están bien adaptados. Entonces, pequeños cambios en el material genético heredado de uno de los progenitores a veces pueden modificar la estructura y el funcionamiento del individuo para que se adapte mejor a su nuevo ambiente... Estos cambios en los ambientes ocurren a través de variaciones, en el clima, introducciones de nuevos organismos o cambios genéticos en predadores, presas y microorganismos patógenos que ya estaban presentes.⁷¹

⁶⁸ En 1973, dos investigadores de la Universidad de Princeton —Peter y Rosemary Grant— hicieron observaciones anuales de poblaciones de fringílidos en la pequeña isla de Daphne Major, en las Islas Galápagos. Sus investigaciones les permitieron descubrir que estos animales evolucionan de un año al otro según cambien las condiciones de la isla: de humedad a sequedad y viceversa. Para mayor información, véase Ridley, Matt, “Los nuevos Darwin”, *National Geographic*, México, febrero de 2009, p. 25.

⁶⁹ Kraus, Arnoldo y Pérez Tamayo, Ruy, *op. cit.*, nota 40, pp. 87 y 88.

⁷⁰ Nebel, Bernard J. y Wright, Richard T., *Ciencias ambientales. Ecología y desarrollo sostenible*, 6a. ed., trad. de Francisco Javier Dávila, México, Prentice Hall, 1999, pp. 119 y 120.

⁷¹ Ricklefs, Robert E., *Invitación a la ecología. La economía de la naturaleza*, 4a. ed., trad. de Diana S. Klajn, Madrid, Editorial Médica Panamericana, 2001, pp. 391 y 392.

Con el desarrollo de la genética, actualmente el concepto de evolución se refiere a:

...cualquier cambio en la composición genética de una población, incluidas las consecuencias del flujo de genes entre las poblaciones y la derivación genética. Cuando los factores genéticos producen diferencias en la fecundidad y la supervivencia entre los individuos, el cambio evolutivo se gesta mediante la selección natural. Los individuos cuyos atributos les permitan lograr mayores tasas de reproducción dejan más descendientes y por lo tanto los genes responsables de estos buenos atributos aumentan en una población.⁷²

Bajo este esquema explicativo, es importante señalar que los estudios que se basan en la comparación de secuencias de moléculas portadoras de información de diferentes organismos vivos (*i. e.* los ácidos desoxirribonucleicos o ADN, los ácidos ribonucleicos o ARN y las proteínas) en los que las moléculas desempeñan la misma función, han cobrado mucha importancia.⁷³ Es posible que una de las aportaciones más trascendentales que hasta el momento haya arrojado este tipo de investigación sea la de corroborar la idea primigenia de Darwin de que todos los seres vivos actuales descendemos por medio de la evolución de una única forma de vida ancestral: el último antepasado común (UAC) o último antepasado común universal (UACU).

Esta forma de vida primitiva —conocida en inglés como *last common ancestor* o *last universal common ancestor*— habría sido un organismo celular (muy probablemente unicelular) con los atributos característicos mínimos de toda célula: una membrana periférica (sostenida por una pared externa), un citoplasma (sede del metabolismo) y un cromosoma (vehículo de la herencia). Además, es posible que este ser vivo primitivo hubiera sido autótrofo (autosuficiente para alimentarse), anaerobio (adaptado a una vida sin oxígeno) y que viviera en una ambiente acuático (de temperatura templada si habitaba en la superficie, pero caliente si lo hacía en las profundidades).⁷⁴ Empero, no está del todo claro todavía que el UACU haya sido único, es decir, un organismo único.

Hacia finales del siglo pasado, el estadounidense Carl Woese publicó un artículo en el que explicaba que el antepasado universal no pudo haber

⁷² *Ibidem*, p. 387.

⁷³ Destaca lo realizado por el inglés Frederick Sanger durante el siglo XX en materia de secuenciación de proteínas (por el que obtuvo el Premio Nobel de Química en 1958) y de secuenciación del ADN (por el que obtuvo ese mismo premio nuevamente en 1980). Véase Duve, Christian de, *op. cit.*, nota 38, pp. 150.

⁷⁴ Más detalles en *ibidem*, pp. 68 y ss.

sido un organismo único sino una comunidad de células primitivas (no de organismos) que evolucionaron como una unidad biológica. Al evolucionar y desarrollarse, esta unidad comunitaria se dividió en diversas comunidades distintas que a su vez se convirtieron en lo que los especialistas llaman los tres linajes primarios (líneas de descendencia): bacterias, arqueas y eucariotas. Por lo que el árbol de la vida actual surgió no de una única célula sino de un antepasado universal que era comunitario.⁷⁵

Pero más allá de profundizar en la explicación sobre el origen del UACU y lo ocurrido desde su aparición, lo cierto es que la vida en este planeta tiene toda una historia. Gracias a la paleontología y a la biología molecular, entre muchos otros saberes más, sabemos que todos los organismos vivos han ido sucediéndose, diversificándose, generación tras generación, a través de un sinnúmero de bifurcaciones ocurridas a lo largo de más de 3,500 millones de años. La evolución de los seres vivos está contenida en miles de ramificaciones que han sido identificadas y clasificadas a escala geológica en el Eón Fanerozoico.

La información más relevante contenida en cada una de las tres eras que comprende este eón geológico es la siguiente.⁷⁶

a. La Era Paleozoica (hace de 545 a 248 millones de años)

Comienza con la *gran explosión cámbrica* que se refiere a la aparición, desarrollo y diversificación de un gran número de especies, y termina con la extinción más grande de especies de la que se tenga conocimiento en los últimos 545 millones de años. Paleozoico significa “vida antigua” o “animal antiguo” y corresponden a ella especies que se han vuelto emblemáticas por su entonces trascendencia para la evolución de otros organismos. Llama mucho la atención que especies que co-existen con nosotros en pleno siglo XXI formen parte del grupo de organismos vivos que aparecieron en aquella era.

⁷⁵ Este autor concluye diciendo que el UACU es “un proceso característico de una particular etapa evolutiva”. Véase Woese, Carl, “The universal ancestor”, *The National Academy of Sciences*, Estados Unidos de América, 1998, <http://www.pnas.org/content/95/12/6854.full>.

⁷⁶ Los datos presentados en cada una de estas eras (*i. e.* Palezoica, Mesozoica, Cenozoica) fueron obtenidos principalmente de Cheers, Gordon (ed.), *Geographica. El Gran Atlas Mundial Ilustrado*, trad. de Gemma Deza Guil, Vicky Santolaría Malo, Cruz Rodríguez, Juiz y Rita da Costa García, Colonia, Könemann, 2000; McGavin, George C., *Animales en peligro de extinción*, trad. de C. Sala Carbonell, México, Océano, 2007, y Palmer, Douglas (ed.), *op. cit.*, nota 35. Remitimos a ellas para mayor abundamiento.

TABLE 2
LO OCURRIDO DURANTE EL PALEOZOICO
(545 A 248 MILLONES DE AÑOS ATRÁS)

<i>Periodo</i> <i>Millones de años</i>	<i>Sucesos naturales</i>	<i>Especies</i>
Finaliza: 248 Duración: 42 Comienza: 290 Pérmico	Inicia formación de supercontinente: <i>Pangea</i> Unión de <i>Gondwana</i> , <i>Laurentia</i> y <i>Eurasia</i> Registro histórico más bajo de nivel del mar Tendencia de nivel del mar: aumenta y disminuye Al final: contrastes climáticos extremos A mediados: fin prolongada etapa de hielo Tendencia del nivel del mar: disminuye Al inicio: continúa etapa de hielo	Registros de extinción masiva: 1 Registros de extinción en total: 5 Desaparecen los trilobites Desaparece 90% invertebrados marinos Registro histórico más alto de extinción masiva Abundan lirios de mar, ammonites y corales Diversificación de especies de coníferas Reptiles con esqueletos de mamíferos
Finaliza: 290 Duración: 64 Comienza: 354 Carbonífero	Tendencia del nivel del mar: disminuye Al final: enfriamiento global, inicia etapa de hielo Registro histórico más alto de oxígeno <i>Gondwana</i> y <i>Laurentia</i> colisionan y se unen Aparición de planicies y depósitos de carbón Tendencia del nivel del mar: aumenta Al inicio y a mediados: calentamiento global	Registros de extinción masiva: 0 Registros de extinción en total: 7 Arañas, escorpiones y ciempiés Enormes extensiones de bosques Evolución de anfibios: primeros reptiles Vertebrados terrestres y extensión de corales Diversificación de vida marina
Finaliza: 354 Duración: 63 Comienza: 417 Devónico	A mediados: nivel del mar aumenta Enormes ríos y lagos de agua dulce Dos supercontinentes: <i>Gondwana</i> y <i>Laurentia</i> Aparecen grandes desiertos y nuevas planicies Al inicio: calentamiento global	Registros de extinción masiva: 1 Registros de extinción en total: 7 Primeros bosques y diversificación de vegetales Diversidad de peces: aparece el celacanto Expansión de vida marina y agua dulce Vertebrados marinos y primeros anfibios
Finaliza: 417 Duración: 26 Comienza: 443 Silúrico	Océano que predomina: <i>Pantlasa</i> Tendencia del nivel del mar: aumento Al inicio: calentamiento global Fin de la etapa de hielo ordovícica	Registros de extinción masiva: 0 Registros de extinción en total: 4 Expansión de plantas terrestres Arraigo de invertebrados en tierra firme Principales grupos de peces
Finaliza: 443 Duración: 52 Comienza: 495 Ordovícico	Etapa de hielo Aparecen planicies secas Tendencia del nivel del mar: disminuye Al final: enfriamiento global Registro histórico más alto de nivel del mar Tendencia del nivel del mar: aumenta Al inicio: calentamiento global	Registros de extinción masiva: 1 Registros de extinción en total: 9 Inicio de traslado animal a tierra firme Primeros corales y plantas Primeros animales de agua dulce Peces primitivos sin mandíbulas Expansión y diversificación de vida marina
Finaliza: 495 Duración: 50 Comienza: 545 Cámbrico	Al final: inundación de continentes Continente que predomina: <i>Gondwana</i> Tendencia del nivel del mar: aumenta Al inicio: calentamiento global Fin de la etapa de hielo precámbrica	Registros de extinción masiva: 0 (discutible: 1) Registros de extinción en total: 10 Primeros animales vertebrados Vida marina predominante: trilobites Evolución marina e invertebrados Gran explosión: cantidad, expansión, diversidad

FUENTE: Adaptado de Cheers, Gordon (ed.), 2000; Palmer, Douglas (ed.), 2006.

Algunos ejemplos son: (i) los *trilobites*, artrópodos marinos de cuerpo dividido en tres segmentos que vivieron durante prácticamente toda esa era y que han fascinado a científicos por décadas; (ii) un tipo de gusano marino denominado *pikaia* aparecido hace 540 millones de años, considerado como el primer animal vertebrado y por consiguiente nuestro ancestro más distante según lo que conocemos por registro fósil; (iii) el *tiktaalik*, un pez con cabeza plana de anfibio cuyo fósil data de hace 375 millones de años y que ha servido para acercar la distancia que existe entre peces y animales terrestres, y (iv) el *archaeopteris* surgido hace unos 370 millones de años, fundamental para el desarrollo de los ecosistemas terrestres y reconocido como el primer árbol sobre el planeta.

Además, esta era es importante porque en ella surgieron los primeros ancestros de todas las formas de vida, los principales grupos de invertebrados, los primeros anfibios que habrían de originar los primeros reptiles (lo que marcaría un hito en la evolución de estas especies ya que los vertebrados no necesitarían más regresar al agua para reproducirse), las primeras plantas (la diversificación de vegetales originó los primeros bosques primitivos), los primeros árboles y bosques, etcétera (véase tabla 2).

b. La Era Mesozoica (hace de 248 a 65 millones de años)

Inicia con una recuperación relativamente lenta después de lo sucedido hacia finales de la era anterior y termina con otro evento igual de catastrófico, cuya ocurrencia marca la frontera que divide el mesozoico del cenozoico y se le conoce comúnmente con la expresión en inglés de *K-T Boundary*.⁷⁷ Mesozoico significa “vida media” o “animal medio” y al igual que en la era que le precede, corresponden a ella flora y fauna de gran atractivo científico y que en ocasiones han sido parte de legendarios relatos y animaciones filmicas un tanto fantasiosas.

A esta era pertenecen reptiles y dinosaurios (término este último acuñado en 1842 por el británico Richard Owen [1804-1892] para diferenciarlos precisamente de los restos fósiles de reptiles), que habrían de dominar por casi 160 millones de años a partir de hace unos 220 millones de años (*i. e.* hacia finales del Periodo Triásico) y hasta finales de esta era (*i. e.* prácticamente durante todo el tiempo de los dos siguientes periodos: el Jurásico y el Cretáceo).

⁷⁷ La palabra *boundary* significa límite o frontera. La letra “K” corresponde al término en alemán *Kreider* que significa *creta*, un tipo de roca que abundó durante ese periodo y de ahí el nombre de cretácico o cretáceo. La letra “T” corresponde al primer periodo de la Era Cenozoica (era que siguió a la Era Mesozoica): el Terciario.

TABLA 3
LO OCURRIDO DURANTE EL MESOZOICO
(248 A 65 MILLONES DE AÑOS ATRÁS)

<i>Periodo</i> <i>Millones de años</i>	<i>Sucesos naturales</i>	<i>Especies</i>
Finaliza: 65 Duración: 77 Comienza: 142 Cretáceo	<i>K-T Boundary</i> Registro histórico de impacto de meteorito Comienza enfriamiento global Al final: nivel del mar disminuye Registro histórico más alto de calentamiento Inusual actividad volcánica; inundaciones Tendencia del nivel del mar: aumenta A mediados: calentamiento global América (centro-sur) se separa de África-Eurasia Consolidación del Océano Atlántico Inundación de continentes Tendencia del nivel del mar: aumento Al inicio: calentamiento global	Registros de extinción masiva: 1 Registros de extinción en total: 12 Al final: extinción de dinosaurios División de especies por hemisferios sur-norte Primeros murciélagos y diversificación de flora Primeros mamíferos depredadores Depredadores marinos: tiburones y reptiles Expansión de ammonites y moluscos bivalvos Diversificación de aves Reptiles voladores e insectos Vida predominante: dinosaurios Aparición de angiospermas
Finaliza: 142 Duración: 64 Comienza: 206 Jurásico	Tendencia del nivel del mar: aumenta Al final: continúa calentamiento global Inundación de zonas costeras Tendencia del nivel del mar: aumenta A mediados: calentamiento global Inicia formación de América (sur/norte) y Eurasia Comienza fragmentación de <i>Pangea</i> Al inicio: enfriamiento global	Registros de extinción masiva: 0 Registros de extinción en total: 11 Primeras avispas, abejas, moscas y mosquitos Evolución de aves y primeras hormigas Aparecen los “monstruos marinos” Predominan dinosaurios y otros reptiles Crecimiento y diversificación de plantas florales Evolución del fitoplancton y grandes arrecifes Diversificación y complejidad marina
Finaliza: 206 Duración: 42 Comienza: 248 Triásico	Tendencia nivel del mar: disminuye Al final: enfriamiento global Tendencia del nivel del mar: aumenta A mediados: calentamiento global Consolidación del supercontinente: <i>Pangea</i> Nivel de oxígeno se incrementa Tendencia del nivel del mar: disminuye y aumenta Al inicio: termina enfriamiento	Registros de extinción masiva: 1 Registros de extinción en total: 6 Primeras ranas, sapos y tortugas Ancestros de los dinosaurios: reptiles voladores Corales modernos y grandes arrecifes Desarrollo de moluscos bivalvos Diversidad de ecosistemas terrestres Vida predominante: reptiles Primeros mamíferos y lagartos

FUENTE: Cheers, Gordon (ed.), 2000; Palmer, Douglas (ed.), 2006.

Destacan las siguientes criaturas: (i) los reptiles voladores, como los *pterosaurios*, cuyo fósil representativo es el *Pterodactylus kochi*; (ii) los reptiles marinos, conocidos durante el siglo XIX como dragones o monstruos marinos y que incluyen los *ictiosaurios* (ancestros de los delfines actuales y que llegaron a medir hasta 15 metros de largo como lo fue el caso del *Shonisaurus*), los *plesiosaurios* (cuya longitud alcanzaba los 14 metros de largo) y los *mosasaurios* (reptiles carnívoros de hasta 15 metros de largo con mandíbulas enormes y que abandonaron la tierra para retornar al mar siendo quizá su máximo representante el *Mosasaurus hoffmani*, también conocido como “Bestia de Maastricht” hallado en 1786 en un pueblo holandés del que derivó su nombre); (iii) el ave *Archaeopteryx* (de aproximadamente unos 50 centímetros de largo cuya trascendencia radica en que no sólo se le considera como el primer pájaro en la Tierra, sino el eslabón entre reptiles y pájaros), y (iv) una diversidad enorme de dinosaurios como el herbívoro *Iguanodon*; el más popular de los tiranosaurios, el *Tyrannosaurus rex*; predadores pequeños como el *Velociraptor*; el mal llamado “ladrón de huevos” *Oviraptor philoceratops*; o el más conocido y pesado de los dinosaurios con cuernos, el *Triceratops* de 9 metros de largo con tres cuernos en la cara.

Aunado a lo anterior, esta era es importante porque se han obtenido registros de los primeros fósiles de mamíferos, lagartos, moscas, mosquitos, avispas, abejas, hormigas, y crustáceos marinos. También es de tomarse en cuenta que aparecen por vez primera murciélagos, ranas, sapos, serpientes, plantas con flores y árboles de hoja caduca (véase tabla 3). Particularmente, llama la atención que hacia finales de esta era habría de ocurrir el mayor impacto de meteorito de los aproximadamente 500 impactos más grandes de los últimos 500 millones de años y que es el que marca la *K-T Boundary*.

c. La Era Cenozoica (hace de 65 millones de años a la fecha)

Con el fin del mesozoico se inicia la era geológica en la que actualmente vivimos y que aún no termina. Esta era —la Cenozoica, que significa “vida nueva” o “animal nuevo” y que es la más corta de las tres eras del Eón Fanerozoico— tiene su propio atractivo porque muchas de las especies que han aparecido en ella aún subsisten, incluso aquéllas de hace ya muchos millones de años como es el caso del *celacanto* que aún sobrevive en las profundidades del Océano Índico.⁷⁸ Lo interesante de este pez, con

⁷⁸ Se han visto ejemplares cerca de la República Federal Islámica de las Comoras, país conformado por un grupo de islas ubicadas en el Canal de Mozambique por las costas del este de África.

aletas lobuladas a veces denominado “fósil viviente” o “eslabón perdido” y cuyo fósil más reciente data de hace unos 65 millones de años, es que pertenece a un grupo de peces que aparecieron hace unos 370 millones de años. Independientemente de lo anterior, esta era es fundamental por el hecho de ser la fiel testigo, tan sólo en su última etapa, de la aparición de la especie humana.

Ya sin dinosaurios pero con mamíferos en pleno desarrollo, han llamado la atención las siguientes especies ya extintas: (i) el *Eurotamandua*, oso hormiguero que no parece encajar en la historia de la evolución de las especies de ese tipo de mamíferos; (ii) el *Yalkaparidon*, mamífero herbívoro encontrado en Riversleigh, Australia y que sigue siendo un enigma; (iii) diversos marsupiales, en particular el llamado *tigre de Tasmania*, mamífero carnívoro que sobrevivió hasta 1933; (iv) los primeros caballos que han sido íconos para comprender la evolución, como el *Hyracotherium* ancestro de todos ellos o el *Propalaeotherium* de apenas 60 centímetros de alto; (v) los lanudos rinocerontes (como el *Coelodonta*) y mamuts (como el *Mammuthus primigenius*), ambos contemporáneos de los *Homo sapiens*; (vi) diversos primates, como el *Europolemur* de unos 50 centímetros de largo que trepaba los árboles, y (vii) los homínidos, dentro de los que destacan en todas sus especies los *Australopithecus* (como el *Australopithecus afarensis* cuyo ejemplo más famoso es Lucy) y los *Homo* (como el *Homo habilis* que parece haber sido el primer *homo* en aparecer).

Además de esto, vale la pena mencionar que durante esta era aparecieron los primeros pájaros modernos, las primeras ballenas dentadas, las primeras comedoras de plancton y los fósiles de los primates más antiguos encontrados en África y Asia de hace entre 45 y 50 millones de años (véase tabla 4).

Es importante señalar que desde finales del Periodo Terciario (hace unos 2.5 millones de años) y hasta nuestros días, el planeta Tierra ha vivido en su más reciente camino geológico una etapa de hielo. Esta a su vez ha estado caracterizada por la ocurrencia de una serie de glaciaciones (en donde los hielos avanzan) con duración aproximada de 100,000 años que han sido interrumpidas momentáneamente por interglaciaciones (en donde las temperaturas suben y los hielos se retiran) con duración aproximada de 10,000 años. En la actualidad, vivimos en un periodo interglacial que inició hace unos 10,000 años, lo que supone que dicho periodo estaría ya por terminarse. Sin embargo, se desconoce a ciencia cierta si éste habrá de continuar por algunos cientos o miles de años más o si dará paso a una nueva glaciación.

TABLA 4
LO OCURRIDO DURANTE EL CENOZOICO
(65 MILLONES DE AÑOS ATRÁS A LA FECHA)

<i>Periodo</i> <i>Millones de años</i>	<i>Sucesos naturales</i>	<i>Especies</i>
Finaliza: ¿? Duración: 1.81 Comienza: 1.81 Cuaternario	Termina la actual etapa de hielo: ¿? Comienza una nueva glaciación: ¿? Termina la actual interglaciación: ¿? Tendencia del nivel del mar: aumento Acclera calentamiento global: la especie humana Paulatino calentamiento global Última interglaciación: 10,000 años a hoy Formación actual de la Tierra: hace 18,000 años Última glaciación: hace 110,000-10,000 años Surgen puentes de unión entre continentes e islas Tendencia del nivel del mar: variable Sucesión de glaciaciones e interglaciaciones Al inicio y a hoy: etapa de hielo	Registros de extinción masiva: ¿? Registros de extinción en total: ¿? Aparición <i>H. sapiens</i> : 120,000 años Aparición <i>H. neandertalensis</i> : 120,000 años Aparición <i>H. heidelbergensis</i> : 400,000 años Bisontes, osos y zorros Lobos y cóndores Distribución de la especie humana Mamuts y rinocerontes lanudos Venados y gatos grandes Distribución de flora y fauna
Finaliza: 1.81 Duración: 63.2 Comienza: 65 Terciario	Comienza etapa de hielo: 2.5 m. de años Constante actividad volcánica y terremotos América del Norte y del Sur se unen Continentes y océanos: <i>my</i> similares a hoy Tendencia del nivel del mar: variable Al final: continúa enfriamiento global Continentes y océanos parecidos a los actuales Formación de Himalayas y Meseta del Tíbet Expansión de planicies áridas Tendencia del nivel del mar: disminuye A mediados: enfriamiento global Intensa actividad volcánica Formación deriva continental actual Formación de océanos y montañas Tendencia del nivel del mar: variable Al inicio: calentamiento global	Registros de extinción masiva: ninguna Registros de extinción en total: 12 Aparición <i>H. erectus</i> : 1.9 m. de años Aparición <i>H. habilis</i> : 2.4 m. de años Bípedo usando herramientas: 2.5 m. de años Primer australopiteco: 4.2 m. de años Bípedo más antiguo: 4.4 m. de años Primeros homínidos: 5 m. de años Desarrollo de primates y pájaros cantores Aparición de pastos y llanuras Ancestros del caballo y del venado Primeros mamíferos marinos Predominio de tiburones y peces teleosteos Evolución de diferentes tipos de frutas Diversificación de flora (angiospermas) y fauna Evolución 4,000 especies mamíferas Comienza el dominio de los mamíferos

FUENTE: Cheers, Gordon (ed.), 2000; Palmer, Douglas (ed.), 2006.

Las glaciaciones e interglaciaciones ocurridas a lo largo de los últimos miles de años han permitido la distribución de una gran diversidad de especies en todos los continentes. Con la expansión y dominio de los mamíferos, y ya avanzado el Periodo Cuaternario, la vida predominante de los últimos años ha sido la de los seres humanos. Ellos, nosotros, estamos interfiriendo en los procesos de evolución de las demás especies a la vez que estamos alterando algunos de los sucesos que han ocurrido de manera natural durante millones y millones de años, como lo es el de acelerar el calentamiento global.

No son pocas las voces que sostienen que la especie humana está provocando la siguiente extinción masiva de especies.

C. Extinción

Hace más de 150 años, Charles R. Darwin comenzó a pavimentar el camino hacia el entendimiento de la evolución y la extinción de las especies al tratar de demostrar que ambas se encuentran estrechamente vinculadas entre sí. En 1859, cuando contaba con 50 años de edad, escribió sobre la extinción de las especies lo siguiente:

Cuando una especie se extingue no reaparece jamás, ni siquiera si vuelven las mismas condiciones de vida, ya que al perderse la especie madre las formas que pudieran desarrollarse por acumulación de pequeñas variedades presentarían, sin duda, algunas diferencias.

Según la teoría de la selección natural la extinción de formas viejas y la aparición de otras nuevas están estrechamente vinculadas. La antigua idea de que todos los seres que poblaban la tierra habían sido aniquilados por catástrofes sucesivas ha sido abandonada. Opinamos ahora que las especies y grupos de especies desaparecen gradualmente, unos tras otros, primero de un sitio, luego de otro, y, por fin, del mundo.⁷⁹

Darwin tenía mucha razón en todo esto. Las extinciones son “el inevitable corolario de la evolución a través de la selección natural”⁸⁰ en el sentido de que la supervivencia del más fuerte implica la extinción de especies que pierden en la competencia de la evolución. De hecho, y como bien lo afirma

⁷⁹ Darwin, Charles R., *El origen de las especies*, cita textual del naturalista inglés tomada de Schussheim, Victoria, *op. cit.*, nota 67, p. 89.

⁸⁰ MacLeod, Norman, “The causes of Phanerozoic extinctions”, en Rothschild, Lynn J. y Lister, Adrian M. (comps.), *Evolution on planet Earth: the impact of the physical environment*, Inglaterra, Centre for Ecology and Evolution, The Linnean Society of London, Academic Press, 2003, p. 254.

George C. McGavin, profesor de la Universidad de Oxford, Inglaterra, “en el sentido más real, existimos sólo porque otras especies anteriores se han extinguido”.⁸¹ Ciencias como la geología,⁸² la paleontología⁸³ y la genética,⁸⁴ nos permiten acercarnos al conocimiento de las extinciones ocurridas en nuestro planeta.

Lo más relevante sobre el concepto, significado y trascendencia de los procesos de extinción de especies durante el tiempo geológico que más conocemos, el Eón Fanerozoico, es lo siguiente:⁸⁵

- La extinción de especies (flora y fauna) que ha ocurrido desde que la vida apareció en la Tierra es un hecho científicamente comprobado. En principio, se trata de un proceso natural. Y como tal, no hay evidencia científica de que vaya a interrumpirse, al contrario, seguirá ocurriendo de manera natural con las especies que habitan este planeta.
- En la actualidad se reconoce que la extinción de especies puede ser resultado tanto de causas naturales como inducidas (*i. e.* humanas). Las causas naturales de extinción se dan, por ejemplo, por incapacidad de una especie para adaptarse a los cambios naturales (*i. e.* ya sea porque las nuevas condiciones ambientales ocurren demasiado rápido o porque se impone la competencia de otras especies) o por grandes catástrofes, como podría ser el caso del impacto de un meteorito o la erupción de un volcán. Los ejemplos de causas inducidas o humanas de extinción abarcan principalmente la alteración de hábitats (por la

⁸¹ McGavin, George C., *op. cit.*, nota 76, p. 13.

⁸² Ciencia que estudia las partes interior y exterior de la Tierra, aquello que la compone y las alteraciones o cambios que ha experimentado.

⁸³ Ciencia que trata sobre los organismos o seres orgánicos que se han convertido en fósiles, esto es, restos de seres vivos de hace más de 10,000 años.

⁸⁴ Ciencia que es parte de la biología y que estudia todo lo relativo a las cuestiones sobre la variación y la herencia.

⁸⁵ La información que aquí presentamos la hemos obtenido de Broswimmer, Franz, J., *op. cit.*, nota 57; Colás Gil, Jaime (ed.), *Diccionario ilustrado de ecología y medio ambiente*, Barcelona, Larousse, 2002; Kemp, David D., *The Environment Dictionary*, Londres, Routledge, 1998; MacLeod, Norman, *op. cit.*, nota 80; McGavin, George C., *op. cit.*, nota 76; Nebel, Bernard J. y Wright, Richard T., *op. cit.*, nota 70; Palmer, Douglas, *op. cit.*, nota 35; Park, Chris, *Dictionary of Environment and Conservation*, Oxford, Oxford University Press, 2008, y Ricklefs, Robert E., *op. cit.*, nota 71. Evidentemente, los datos, definiciones y demás explicaciones que hace cada autor no son idénticos, pero hemos procurado presentar la información que creemos es generalmente aceptada —aunque con algunos matices significativos— por todos ellos. De aquí que aconsejemos al lector acudir a estas obras para que conozcan la opinión de cada autor sobre cada uno de los puntos a los que hacemos referencia.

deforestación o por la contaminación), la caza y la pesca (por razones comerciales, por sobreexplotación o por simple recreación y vanidad), y la introducción de especies exóticas o invasoras (por insertar especies nuevas en lugares a los que nunca pertenecieron originalmente).

- La extinción (sea natural o inducida) supone un evento final, es decir, la desaparición permanente de una o varias especies. La trascendencia de esto radica en que una vez que una especie se extingue, es decir, que todos los individuos de una especie desaparecen, su composición genética se pierde para siempre y no podrá recuperarse o sustituirse. En este sentido, se ha sugerido que se podrían tomar fragmentos de ADN de restos de especies extintas y unirlos al genoma de especies emparentadas a ellas y con ello lograr su recreación; pero las posibilidades de que esto ocurra con éxito son mínimas.
- El proceso de extinción forma parte inseparable del proceso de evolución. Ambos procesos —evolución y extinción— son la base para la creación y diversificación de especies. De aquí que se diga que en estricto sentido no todas las especies acaban por extinguirse, o si se quiere ser más preciso, las especies pueden extinguirse de dos formas. Primero, hay especies que desaparecen permanentemente y a esto le podemos llamar propiamente *extinción* o *verdadera extinción*. Tal es el caso de dinosaurios herbívoros que ya no existen, como los *Diplodocus*, que llegaron a medir hasta 30 metros de largo: 7 correspondían a su cuello, 14 a su cola y los restantes a su parte troncal. Segundo, hay especies que evolucionan y dejan descendientes que luego son reconocidos como especies diferentes, es decir, no hubo una verdadera extinción y entonces le llamamos *pseudo-extinción*. Es el caso de los caballos cuyo ancestro primero es el ya mencionado *Hyracotherium* (también conocido como *Eohippus*) que habría desaparecido hace unos 35 a 40 millones de años. Es correcto decir que las especies similares, pero anteriores a los caballos modernos no están extintos, sino que se pseudo-extinguieron o evolucionaron en los actuales *Equus*, que aparecieron hace más de 2 millones de años.
- Se calcula que el 98% de todas las especies que han habitado este planeta están extintas, aunque debemos enfatizar según lo explicado en la viñeta anterior que muchas de ellas han dejado a sus representantes o descendientes. El 2% restante está constituido por alrededor de unas 15 a 30 millones de especies. Si bien no se tiene certeza sobre el número total de especies existentes en la Tierra —hay quienes han llegado a sugerir la cifra de 50 millones— se acepta generalmente que se conocen (es decir, se han descrito) poco más de 1.5 millones de plantas y animales. De esta cifra, los insectos constituyen casi el 50% del total.

- Existen dos tipos de extinciones: las de fondo y las masivas o en masa. En las primeras, la tasa de extinción es baja y constante, no hay cambios naturales catastróficos, y se caracteriza por que algunas especies llegan a desaparecer y otras a ocupar sus lugares. La duración de vida de las especies puede variar entre 1 a 10 millones de años aproximadamente. En cambio, en las segundas, la tasa de extinción aumenta en proporciones dramáticas, lo que resulta en la desaparición de un gran número de especies. A escala geológica, las extinciones en masa ocurren en periodos bastante más cortos que las de fondo.
- Estudios recientes indican que hace desde unos 545 millones de años a nuestros días han ocurrido 83 episodios de extinción de especies. Aunque se ha argumentado que el número de extinciones masivas es de entre tres y siete, la gran mayoría de científicos sostiene que en realidad han ocurrido cinco eventos de este tipo.
- Si bien existen diversos criterios para calcular la tasa de extinciones, se ha estimado que en los últimos 500 millones de años la tasa de extinción de fondo ha sido de una especie cada cinco años. No obstante lo anterior, para nuestros días, al tomar la cifra de que en la actualidad existen de 1 a 10 millones de especies, se estima que la tasa de extinción de fondo es de entre 0,1 y 1 especie por año.
- Cada una de las cinco extinciones masivas marcan el final de los siguientes periodos: ordovícico (se desconoce el número de especies extintas), devónico (70% de todas las especies), pérmico (96% de las especies marinas y 70% de los vertebrados terrestres), triásico (50% de los invertebrados marinos y 85-90% de las especies vegetales) y cretácico (70-85% de todas las especies). Sin embargo, cada vez es más aceptada la idea de que estos cinco eventos masivos no deben utilizarse, interpretarse o describirse como culminaciones de un proceso continuo, sino como rupturas.
- Las extinciones masivas pueden ser causadas por catástrofes naturales y es posible agruparlas en cuatro categorías: (i) el impacto de meteoritos gigantes, que no sólo afecta especies por su solo impacto, sino que además provoca terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas y condiciones prolongadas de oscuridad y frío por el polvo y humo resultantes; (ii) episodios de erupciones volcánicas masivas que provoca cambios climáticos globales que afectan significativamente a las especies; (iii) los cambios del nivel del mar producidos por cambios climáticos o por el movimiento de placas tectónicas, y (iv) un cambio climático global que pudiera tener una ocurrencia más rápida de lo normal en términos geológicos y que provocaría mayor número de huracanes y

de mayor intensidad, sequías prolongadas e inundaciones, cambios en el nivel del mar, etcétera. De cualquier manera, se cree que las extinciones en masa son el resultado de una combinación de diversos factores, y que pueden tener efectos a nivel local, regional o incluso global.

- Las extinciones masivas también pueden ser causadas por la acción e inacción humanas y al igual que las naturales pueden generarse a escala local, regional o global. A las ya mencionadas razones de extinción inducida (*i. e.* alteración de hábitats; caza y pesca; introducción de especies invasoras) debe agregarse la más preocupante de todas: el exponencial crecimiento de la población humana y el estilo de vida de ciertos grupos humanos.
- La discusión en torno al sexto episodio de extinción masiva de especies no radica en demostrar si éste habrá o no de ocurrir, sino en definir, y en su caso acordar, cómo, cuándo y qué lo habrá de ocasionar. Aunque hay quienes consideran que apenas estamos al borde de él, desde hace algunos años los científicos del mundo nos han venido alertado, con reiterada insistencia, de que este episodio ya se está produciendo y que todo apunta a que lo que lo está provocando está plenamente identificado: el ser humano.

2. *El amanecer del sexto episodio*

Pensamos que la sexta extinción masiva de especies ya comenzó y es menester precisar dos aspectos de la mayor trascendencia para entender qué es lo que subyace bajo esta consideración.

Primero, cualquier debate o preocupación en torno al sexto episodio no se refiere a que éste sea resultado de un proceso natural. Se trata en realidad de un proceso inducido que viene desarrollándose desde hace cierto tiempo, pero cuya fecha de inicio no es posible determinar con exactitud. Esto es así porque si bien se acepta casi de manera inobjetable que la causa de extinción en masa de las especies de hace cientos de años es el ser humano, dicha extinción se trata de un proceso, es decir, de un acumulado de fases sucesivas donde no existe un momento único en el tiempo o en el espacio que le pueda ser atribuible.

Debido a que rechazamos la idea de que el ser humano por el simple hecho de haber aparecido ha provocado el sexto episodio, es necesario referirnos a las fases que eventualmente y que de manera acumulada han derivado en la actual preocupación sobre la desaparición masiva de especies. En principio, los orígenes de la sexta extinción en masa podrían ubicarse a partir de que la población humana empieza a crecer, a extenderse

geográficamente, y a desarrollar herramientas sofisticadas para su subsistencia (lo que habría ocurrido quizá hace unos 50,000 a 30,000 años, periodo en el que se consolidó la presencia del *H. sapiens sapiens* en muchas regiones del planeta). Este proceso de extinción de especies es aún más evidente —aunque sólo en ciertos lugares y a nivel local— hacia finales de la última glaciación, hace unos 12,000 a 10,000 años, fecha que marca el inicio de lo que se ha llegado a denominar el franco dominio y superioridad de los humanos modernos sobre la Tierra.

No obstante lo anterior, me parece que en el contexto del entendimiento de la actual crisis ambiental, sólo habremos de referirnos a un proceso de extinción masiva de especies a partir de que transcurrieran algunos cientos de años después de la última glaciación. Esto fue resultado de una serie de fases en la historia de la humanidad donde ocurren acontecimientos tales como el advenimiento de la agricultura y de la ganadería, o el auge y desarrollo de las primeras civilizaciones que sin duda alguna contribuyeron a acelerar y hacer patente el avance de este proceso.⁸⁶ Es evidente que con la llegada de las revoluciones científica e industrial (hacia los siglos XVII y XVIII respectivamente) y hasta nuestros días se han dado los pasos decisivos para la desaparición de especies en masa. Los datos que han arrojado diversas investigaciones al respecto documentan que este proceso se está produciendo no sólo a nivel local y regional sino ahora también a nivel global.⁸⁷

En segundo lugar, la información con que se cuenta en relación con la extinción de especies por las acciones e inacciones del *H. sapiens sapiens* debería avergonzar a toda la especie humana actual. Aunque no se conozca con precisión la magnitud y velocidad a la que está ocurriendo el sexto episodio, se estima que la tasa de extinción de especies en nuestros días es muchísimo mayor que la de una tasa de extinción de fondo, sólo comparable con las extinciones masivas de otras eras geológicas. Desde el 1600 a la fecha se han extinguido alrededor de 485 especies de animales y 584 de plantas, todas ellas provocadas casi en su totalidad por los seres humanos.⁸⁸ En el

⁸⁶ Más adelante (en el capítulo tercero) habremos de comentar que la extinción de especies ocurrida antes del advenimiento de la agricultura y la ganadería no deberá considerarse siquiera como un antecedente de la crisis ambiental actual. Lo anterior —que está vinculado a las actividades de caza y pesca— porque sólo habrá de percibirse y valorarse a la desaparición de especies como acontecimiento de la crisis ambiental en tanto no haya sido el resultado de actos de supervivencia o que no hubieran existido otras alternativas para la procuración de alimentos y vestido.

⁸⁷ Los diversos acontecimientos ocurridos en la historia de la humanidad de los últimos 10,000 años que han provocado la crisis ambiental de nuestros días, son analizados ampliamente en capítulos posteriores.

⁸⁸ Park, Chris, *op. cit.*, nota 85, p. 164.

presente, se estima que desaparecen permanentemente 100 especies o más por día,⁸⁹ lo que es alarmante y deshonoroso para la humanidad entera si lo confrontamos con lo que ocurre en las extinciones de fondo: una especie por año. Aunque sea difícil establecer el ritmo de extinción para los próximos cien años, se calcula que hacia finales del siglo XXI habrán desaparecido casi un tercio de todas las formas de vida existentes conocidas al día de hoy.⁹⁰

Es verdad que no hay que soslayar los esfuerzos que nuestra especie ha realizado para “detener”, o mejor dicho, “desacelerar” el proceso de extinción bajo el nombre común de *conservación de la biodiversidad*. Pero la realidad es que son pocos los casos exitosos de especies que han dejado de estar en peligro de extinción. Tampoco se ha avanzado significativamente en erradicar los motivos que han llevado al ser humano a la extinción de especies. En este sentido, las acciones o programas de cría en cautiverio han dado algunos resultados alentadores, pero como no se han controlado o eliminado las causas que en principio pusieron en peligro de extinción a la especie en cuestión, no se ha resuelto el problema de origen, y en consecuencia, no todas las especies preservadas pueden reintroducirse al hábitat al que originalmente pertenecían.

La muy lamentable y preocupante situación de pérdida de formas de vida en la que nos encontramos fue reconocida a principios de este siglo por el principal organismo ambiental de la Organización de las Naciones Unidas, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente: “Pareciera que, en general, los motores de la pérdida de diversidad biológica están tan difundidos que los esfuerzos de conservación sólo han logrado, retardar, en la mejor de las hipótesis, el ritmo del cambio a nivel mundial”.⁹¹

Esta opinión no debe suponer pesimismo como tampoco provocar desaliento o conformismo entre los seres humanos. Sabemos que independientemente de nuestra existencia o de lo que hagamos o dejemos de hacer, el binomio inseparable evolución-extinción de especies habrá de continuar por varios millones de años a futuro. Pero esto último no es razón para que escapemos de la responsabilidad moral que debemos tener para actuar y desacelerar lo más posible una extinción masiva que ya se está produciendo. Es deber de todo *H. sapiens sapiens* estar consciente de que por lo menos has-

⁸⁹ Broswimmer, Franz J., *op. cit.*, nota 57, p. 24.

⁹⁰ Cada cuatro años la Unión Mundial para la Naturaleza UICN (antes llamada Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y sus Recursos) publica en su sitio de internet un listado que se conoce con el nombre de *Listas Rojas*, que proporcionan información sobre el peligro de extinción en el que se encuentran diversas especies. Remitimos a ellas para mayor conocimiento en la página web siguiente: www.uicn.org

⁹¹ Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, *Perspectivas del medio ambiente mundial 2002*. Geo 3, Madrid, PNUMA, Grupo Mundi-Prensa, 2002, p. 127.

ta ahora, tenemos conocimiento científico de que el sexto episodio no tiene punto de regreso a escala humana.

¿Por qué y bajo qué argumento los humanos debemos preocuparnos y actuar ante un sexto episodio, si lo ocurrido en el pasado habrá de ocurrir previsiblemente de la misma manera en el futuro, esto es, algunas especies habrán de sobrevivir y evolucionarán hacia nuevas especies, los ecosistemas naturales se habrán de restaurar, la naturaleza reparará y se hará cargo del mundo natural otra vez? ¿No es semejante preocupación mero prurito intelectual? La respuesta es muy sencilla: primero, el restablecimiento natural tardará millones de años; segundo, es muy probable que ese restablecimiento natural derive en especies y ecosistemas distintos a los que ahora conocemos; tercero, ignoramos si los seres humanos podrán adaptarse a las nuevas condiciones ambientales y sobrevivir.

Los ecosistemas que reaparezcan podrían ser del todo distintos de los que sucumban. Los ecosistemas actuales tienen una biota diferente de aquella en la que vivieron los dinosaurios. Nada garantiza que los seres humanos o cualquier otra especie de los animales superiores que nos son familiares será parte del nuevo sistema. Por lo tanto, considerar los parámetros de la sobrevivencia y la extinción es más que un mero interés académico.⁹²

Tales razonamientos no parecen haber sido suficientes para cambiar el rumbo de nuestro existir y evitar que este sexto episodio siga ocurriendo en la forma en la que se está manifestando. Entonces, surge otra interrogante que quizá es menos científica, pero que tiene una respuesta ético-filosófica que es consubstancial al *H. sapiens sapiens*: ¿por qué y bajo qué argumento debemos cargar los humanos con la responsabilidad de la extinción de otras formas de vida sobre todo si ello ha permitido nuestra supervivencia y continuidad como especie? Por una simple y sencilla razón: porque lo que le estamos haciendo a las demás especies en magnitud y velocidad no es moralmente aceptable.

III. EL FINAL DEL UNIVERSO: EL *BIG CRUNCH*

...el futuro es un tiempo falaz
que siempre nos dice: “todavía no es hora”.

Octavio PAZ

Lo que hemos explicado desde el pre-*big bang* hasta nuestros días no ha sido del todo (ni por todos) aceptado, ni tampoco comprobado en su totalidad.

⁹² Nebel, Bernard J. y Wright, Richard T., *op. cit.*, nota 70, p. 126.

Debemos estar conscientes de que sólo una parte de lo que se conoce en la actualidad sobre el comienzo y el intermedio del universo está basado en hipótesis ya verificadas, el resto son meras especulaciones o suposiciones.

También debemos estar conscientes de que aquello que ya ha sido comprobado podría ser modificado o incluso superado conforme avance la ciencia o irrumpa en nuestro devenir una nueva forma de pensamiento que quizá sea una amalgama entre lo científico y lo ético-filosófico con lo espiritual. Pero si el pasado y el presente de nuestro universo están empapados de incertidumbres, el futuro lo está aún más. Hacia delante hay un desenlace del universo lleno de especulaciones, carente de comprobaciones o verificaciones, y sobre todo, sostenido en predicciones, estimaciones y escenarios.

Sobre el destino de las cosas es menester empezar donde actualmente estamos e imaginarnos la despedida de la vida terrestre y el planeta Tierra. Después vendrá el camino hacia los tres *big's*, y con cualquiera de ellos, el final del universo.

1. *El futuro de la despedida*

Si los seres humanos —como todas las demás especies— hemos sido el resultado natural del binomio evolución-extinción, lo más probable es que en el futuro vayamos a desaparecer tal y como le ha ocurrido y le ocurrirá de manera natural o inducida a todas las demás formas de vida en este planeta. Si tomásemos en cuenta lo que en promedio dura una especie, *i. e.* de 1 a 15 millones de años, a la nuestra le quedarían todavía algunos millones de años más: el *Homo sapiens sapiens* no tiene más de 120,000 años de existencia. El astrofísico estadounidense Richard Gott ha estimado que a nuestra especie le quedarían alrededor de unos 8 millones de años más,⁹³ pero podrían ser menos. No hay que olvidar que el registro fósil de otras especies del género *homo* nos indica que ninguna de ellas ha sobrevivido como tal más de 2 millones de años.

Números más o números menos, lo cierto es que la historia de la vida en este planeta no terminará cuando nosotros lo decidamos ni tampoco cuando nos hayamos marchado para siempre. Cuando ya no estemos aquí, cuando la Tierra haya sido testigo fiel de la desaparición del último ser humano, algunas formas de vida como ahora las conocemos continuarán sobreviviendo y otras más habrán aparecido o lo estarán por hacer. Inevitablemente, una a una irá extinguiéndose a lo largo de muchos años hacia delante, probablemente durante los próximos 1,500 millones

⁹³ Dato tomado de Duve, Christian de, *op. cit.*, nota 38, p. 351.

de años. Nuestro planeta será inhabitable dentro de unos 5,000 millones de años, fecha en la que se estima que el Sol se habrá calentado lo suficiente como para hacer hervir los océanos.⁹⁴ No seremos nosotros, los *H. sapiens sapiens*, los que habremos de corroborar semejantes sucesos.

¿Qué le pasará a nuestro planeta Tierra y cuándo le sucederá eso que creemos habrá de ocurrir? Es difícil predecirlo con exactitud, pero vale la pena señalar tres cuestiones que según la ciencia habrán de suceder.

En primer lugar, el camino de la vida no será el único proceso natural hacia el futuro. Habrán de sumarse muchos otros más que han ocurrido y que seguirán ocurriendo a razón de sus propias escalas de tiempo y espacio, tal y como lo han venido haciendo durante millones y millones de años. Seguirá el desplazamiento de los continentes a través del constante movimiento de las placas tectónicas; continuarán los terremotos y los tsunamis; los océanos se abrirán o se cerrarán y el nivel del mar a veces subirá y a veces bajará; los cambios climáticos seguirán sucediéndose al igual que las transformaciones en la composición de los suelos y la formación de las montañas; la erupción de volcanes no desaparecerá ni tampoco la posibilidad de nuevos y futuros impactos de meteoritos, etcétera. Tomemos como ejemplo de lo anterior el movimiento de placas tectónicas. En la Universidad de Cambridge, Inglaterra, se han creado escenarios a partir de programas de computación en los que se advierte que si la Tierra sigue evolucionando como lo ha estado haciendo hasta ahora, los continentes habrán de transformarse enteramente. Dentro de 80 millones de años Australia se habrá desplazado y colisionado con Japón, y África lo habrá hecho con Italia y España cerrando el Mar Mediterráneo. Dentro de 200 millones de años, mientras que México y la Antártica se habrán desplazado hacia la zona ecuatorial para encontrarse, el este de África se habrá colisionado con la India, y la isla de Madagascar se habrá unido a Indonesia y al sureste asiático.⁹⁵

En segundo lugar, dado que se ha comprobado que nuestra especie es capaz de destruir lo que hay en este planeta (sus especies, sus ecosistemas, sus elementos naturales, a nosotros mismos), se cree que *el futuro de la Tierra está en nuestras manos*. Sin embargo, esta creencia —que ha encontrado cobijo en el atractivísimo *slogan* de “salvemos al planeta Tierra”— es verdadera sólo hasta cierto punto. Por un lado, es verdad que los seres humanos tenemos una gran capacidad de destrucción. En efecto, hemos sido lo suficientemente estúpidos como para crear objetos que nos han convertido en una amenaza real para muchas formas de vida, incluyendo la nuestra; basta con

⁹⁴ Gribbin, John, *op. cit.*, nota 3, pp. 262 y 263.

⁹⁵ Para mayor información, véase Palmer, Douglas, *op. cit.*, nota 35, pp. 466 y 467.

recordar aquél vuelo del Enola Gay sobre la ciudad japonesa de Hiroshima un 6 de agosto de 1945, cuya encomienda resultó en la muerte de más de 100,000 humanos (sin contar los daños ocasionados a la flora y la fauna) en tan sólo una fugaz pero aterradora explosión. Pero por el otro, si bien no hay duda que nuestro actuar está provocando consecuencias ambientales catastróficas para el equilibrio cambiante de los procesos naturales, esto mismo no significa de modo alguno que los humanos seamos capaces de destruir *todo* lo que hay en este planeta; mucho menos que el futuro de la Tierra —nos referimos a su evolución, es decir, a la ocurrencia de todos esos procesos que han estado presentes desde hace casi 3,500 millones de años y que a futuro seguirán previsiblemente ocurriendo— *dependa* de lo que nosotros los humanos hagamos o dejemos de hacer.

Hay que precisar que está latente la amenaza de que podríamos auto-destruirnos⁹⁶ y de que podríamos alterar aún más y con mayor velocidad los procesos naturales que sirven para el sustento y subsistencia de muchas especies, como la nuestra. Pero por más que hagamos estallar todos nuestros arsenales nucleares no tenemos la capacidad para destruir por completo todas las formas de vida existentes,⁹⁷ ni tampoco para detener procesos naturales como tsunamis o terremotos. A escala humana (*i. e.* cientos y miles de años) no tenemos ese poder de destrucción total, lo que es aún más evidente a escala geológica (*i. e.* millones y millones de años) donde el verdadero destino de la Tierra depende más bien de ella misma, es decir, de su propia evolución, y de que las leyes del universo continúen haciendo “lo que les corresponde”.

En tercer y último lugar, la existencia de la Tierra está vinculada incondicionalmente a los años de vida que le queden a nuestro sistema solar. Si se calcula que una estrella como el Sol permanece estable unos 10,000 millones de años, a la nuestra le quedan otros 5,000 millones de años en su estado actual, es decir, el doble de su edad. A diferencia de otras estrellas, que son más grandes y brillantes, y que por lo tanto se apagan más rápido, nuestra estrella es pequeña y por consiguiente será más duradera. Así como

⁹⁶ Esta idea supone que ninguna otra especie lo haya hecho para consigo misma. La autodestrucción sólo tiene sentido si se piensa que lo habremos de hacer antes del tiempo que evolutiva y naturalmente está asignado a nosotros.

⁹⁷ Así lo afirma Stephen J. Gould quien en este sentido advierte que no podríamos desaparecer la diversidad bacteriana existente ni tampoco eliminar millones de especies de insectos. Gould, Stephen Jay, “The Golden Rule - A Proper Scale for Our Environmental Crisis”, en Pojman, Louis P., *Environmental Ethics*, 4a. ed., Belmont, Estados Unidos de América, Thomson-Wadsworth, 2005, pp. 251-253. Este artículo fue publicado en la revista *Natural History* en septiembre de 1990.

la Tierra está en órbita girando alrededor del Sol, éste también está girando, pero alrededor del centro de nuestra galaxia, la Vía Láctea, lo que habrá de seguir ocurriendo durante algunos miles de millones de años más.

Una vez transcurridos esos 5,000 millones de años —*i. e.* a unos 18,700 millones de años del *big bang*— y a medida que se quede sin combustible propio, el Sol empezará a crecer y a brillar más hasta convertirse en una gigante roja que habrá de “engullir”⁹⁸ a la Tierra y a los planetas más cercanos a ella, los interiores, que junto con el nuestro son los planetas más pequeños y rocosos de nuestro sistema solar: Mercurio, Venus y Marte. Cuando esto suceda, el Sol habrá de proporcionar más energía a los demás planetas, los exteriores, que son los planetas más grandes y gaseosos: Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.

En unos cientos de millones de años nuestro astro rey se hará pequeño en un volumen no mayor al que tiene la Tierra y acabará por enfriarse. Entonces, se habrá convertido en una estrella fría y estable, es decir, en una *enana blanca*. Con el paso del tiempo, esta enana blanca seguirá enfriándose hasta apagarse por completo y dejar de brillar, lo que le habrá de suceder también a otras estrellas de nuestra Vía Láctea.

2. Camino hacia los tres bigs

Ya hemos señalado (al principio de este capítulo) que la expansión del universo se encuentra en aceleración por la existencia de la energía oscura. Esta extraña energía es la causante, como ya también dijimos, de que las estrellas y las galaxias se estén alejando unas de otras hacia la negrura de aquello que es “visible” para nosotros; si queremos ser precisos, el WMAP ha revelado que mientras la energía oscura (que es la masa y la energía de todo el universo) es del 74%, la materia (que es materia oscura en un 22% y materia bariónica en un 4%) es del 26%. Pues bien, es precisamente la energía oscura —de la cual todavía no sabemos mucho— la que habrá de

⁹⁸ Los estudios científicos más recientes sobre este proceso han advertido que en realidad la Tierra no habrá de ser “tragada” por el Sol. En este sentido, John Gribbin nos explica que para cuando el Sol se convierta en una gigante roja, la Tierra se habrá alejado de él lo suficiente como para ser engullida. Esto se debe a que para cuando el Sol sea una gigante roja habrá perdido tanta masa que a su vez habrá disminuido su control gravitacional sobre la Tierra y los demás planetas. Esto provocará que los planetas se deslicen hacia órbitas con radios mayores a los que actualmente tienen, es decir, se estarán alejando del Sol. De manera que si se estima que el Sol como gigante roja habrá de expandir su radio a unos 172 millones de kilómetros como máximo, y la Tierra en la actualidad orbita a unos 150 millones de kilómetros del Sol, se cree que nuestro planeta tendrá una órbita con un radio de 185 millones de kilómetros. Véase Gribbin, John, *op. cit.*, nota 3, pp. 260-262.

determinar los posibles escenarios del final del universo. Puede ser que la energía oscura se incremente con la expansión universal, pero también puede ser que no esté cambiando con el paso del tiempo. En cualquier caso, las consecuencias para el futuro del universo serían distintas.⁹⁹

De los diversos escenarios que se han creado para tratar de explicar hacia dónde se dirige el universo, nos habremos de referir a los tres escenarios que ha descrito el astrofísico inglés John Gribbin en su obra biográfica sobre el universo. En síntesis, cada uno de ellos (todos son *biggs*) significan lo siguiente:¹⁰⁰

- i) El *big rip* o *gran desgarramiento*. Se basa en la idea de que la fuerza de la energía oscura se está incrementando conforme pasa el tiempo. La expansión del universo provoca que dicha energía oscura crezca y la fuerza creciente de la energía oscura acelera a su vez la expansión. Con el paso del tiempo la expansión universal dominará la gravedad y las demás fuerzas de la naturaleza. En este escenario, el universo está a medio camino desde el *big bang*, por lo que el final habrá de ocurrir dentro de unos 20,000 millones de años a partir de ahora. Sólo quedará un vacío en expansión, plano y sin rasgos distintivos, condiciones que podrían provocar nuevamente otra fase de inflación, probablemente igual a la fase con la que habría empezado nuestro universo. Existirán observadores inteligentes que podrán ver cómo concluye todo.
- ii) El *big crunch* o *gran implosión*. A diferencia del anterior, en este escenario, a medida que transcurre el tiempo, la energía oscura se hace más débil. Esto significa que la energía oscura, sumada a la fuerza de la gravedad, frenará primero la expansión del universo y después hará que éste se contraiga a un ritmo acelerado. Es decir, el universo primero se dará la vuelta y luego se colapsará hasta llegar nuevamente a una singularidad: se trata del *big bang* pero al revés. Aquí el universo está a medio camino desde la gran explosión, por lo que el colapso final ocurrirá (sin que sepamos cuándo sucederá la vuelta hacia atrás) a unos 12,000 o 14,000 millones de años a partir de este momento. Durante la contracción o colapso del universo, las estrellas y las galaxias se acercarán y se fusionarán, y si para entonces existe un hipotético planeta tierra, su temperatura se elevará precisamente por el aumento de la temperatura de la radiación de fondo. Conforme

⁹⁹ Watson, Fred (coord.), *op. cit.*, nota 1, p. 200.

¹⁰⁰ Véase, Gribbin, John, *op. cit.*, nota 3, pp. 268-279.

- nos vayamos acercando al *big crunch*, el universo se irá encogiéndose y calentándose más rápido hasta que las estrellas empiecen a estallar. Si bien habrá observadores inteligentes que podrán ver el colapso, no los habrá para observar cómo termina todo.
- iii) El *big splat* o *gran plaf*. Este escenario (que supone dimensiones espaciales) incluye elementos de los dos *big*s anteriores en un contexto en el que existe un ciclo de nacimiento, muerte y renacimiento eternos. Se basa fundamentalmente en ideas vinculadas a la teoría de las supercuerdas, particularmente a la Teoría M y las branas.¹⁰¹ La idea principal se centra en el hecho de que hay varios universos (*i. e.* nuestro universo no es único) los cuales son eternamente cíclicos y se encuentran en estado de expansión, por lo que ha habido y seguirán habiendo varios *big bangs* y varios *big crunches*. Si bien la energía oscura es una característica esencial que permite la aceleración de la expansión de un universo, no hay singularidades iniciales o puntos ceros, ni tampoco una densidad infinita. De manera que nuestro universo (que seguramente coexiste “al lado” de otros universos en expansión o ya colapsados) tiene su actual estructura por lo sucedido al final de la fase del colapso de un ciclo previo y no por lo ocurrido en el comienzo de su expansión.

De los tres *big*s el favorito para John Gribbin es el último, el *big splat*, pero concluye su exposición afirmando que “la predilección por uno de estos escenarios es en la actualidad enteramente una cuestión de elección”.¹⁰² Es importante mencionar en este sentido que subyace, en la libertad que otorga Gribbin de optar por alguno de los tres *big*s, la falta de evidencia empírica para corroborar cualquier suposición. Si para físicos, astrónomos o cosmólogos es todo un reto indagar sobre el futuro del universo, imaginemos lo que representa para científicos vinculados a las ciencias sociales y las humanidades opinar sobre esto en el marco de los tres escenarios expuestos. No obstante, nos aventuramos con lo pocos conocimientos que tenemos a dar nuestra opinión.

¹⁰¹ Brian Greene (que como ya mencionamos al tratar el tema del instante cero es uno de los principales defensores de la teoría de las supercuerdas) explica que la Teoría M es una teoría “que surgió de la *segunda revolución de las supercuerdas* y que une las cinco *teorías de las supercuerdas* anteriores dentro de un único marco que las abarca a todas. La Teoría-M parece ser una teoría que utiliza once *dimensiones del espacio-tiempo*, aunque muchas de sus propiedades no se comprenden aún”. Este autor señala asimismo que brana es “cualquiera de los objetos extendidos que aparecen en la *teoría de cuerdas*. Una unibrana es una *cuerda*, una bibrana es una membrana, una tribrana tiene tres dimensiones extendidas, etcétera. En general, una *p*-brana tiene *p* dimensiones espaciales”. Greene, Brian, *op. cit.*, nota 13, pp. 584 y 597.

¹⁰² Gribbin, John, *op. cit.*, nota 3, p. 279.

En principio, el escenario que pareciera más atractivo de los tres es el *big splat*, puesto que con él (tal y como lo menciona el propio Gribbin) no tenemos porqué preocuparnos de singularidades iniciales ni finales. Y es que es provocativa y seductora la idea de contar con muchos otros universos que co-existen con el nuestro de manera cíclica y eterna, lo que quizá supone que la estructura y evolución de esos otros universos probablemente habrán sido y estarán siendo como el de nosotros. Indudablemente, con este escenario se fortalece el argumento de que existen fuera del planeta Tierra formas de vida (simples o inteligentes) parecidas a las que conocemos, pero ya no tanto por razón de que nuestro universo único lo permita (hipótesis que tiene muchos seguidores) sino por el hecho de que la existencia de universos semejantes al nuestro incrementaría por sí sola tal posibilidad. Esta creencia podría llevarnos a pensar —quizá descocada y equivocadamente, pero con toda la fuerza legítimadora que otorga la especulación— que en estos precisos momentos hay planetas en otros universos en cuyos mares habitan algo parecido a ¡los trilobites! o en cuyos cielos se han podido avistar algo parecido a ¡los reptiles voladores!

Por lo que pareciera más “razonable” —¿o debiera usar la expresión “conservadoramente aceptable”?— optar por el *big crunch*. Lo interesante de este escenario es el hecho de que permite tener la sensación de que existe un comienzo (que es una gran explosión) y de que hay un final (que es una gran implosión), con todo y sus singularidades. Lejos de querer convencer a mis lectores de que este *big* pudiera ser la opción más adecuada en caso de que tuvieran que elegir, hay que reflexionar en lo difícil que representa aceptar la idea de que existen varios universos, y de que están naciendo y muriendo cíclica y eternamente cuando lo que sucede en nuestro planeta y en todo aquello que es visible para nosotros en el universo no es así. Es decir, la característica fundamental de *lo cíclicamente eterno* recogida en el *big splat* no pareciera replicarse, ni reflejarse, ni clonarse, ni tener siquiera eco en lo que nos rodea y que hemos podido conocer y verificar experimentalmente; en todo caso el universo podrá ser cíclico, pero no eterno.

El mejor ejemplo de lo anterior nos lo da la historia de la vida que nos enseña precisamente que los seres vivos nacen, evolucionan y se extinguen para siempre. El *H. sapiens sapiens* no es eterno (¡recordemos que tuvo un origen y tendrá un final!), ni tampoco los demás procesos naturales. ¿Por qué tendríamos que aceptar que el o los universos pueden ser cíclicamente eternos pero la vida en este planeta Tierra no? ¿Se trata ahora de que el universo que conocemos ha decidido que sólo en el planeta Tierra nada hay cíclico ni eterno?

Si bien existe un gran halo de incertidumbre respecto a que nuestro universo no es único, la idea de que existan muchos otros universos arroja, a mi parecer, mayor incertidumbre. Por lo menos, en el escenario de la gran implosión (donde existe la variante de un único universo) podemos concebir que del mismo modo que el *big bang* es su comienzo y la vida terrestre y la Tierra son partes de su intermedio, el *big crunch* es su final. Así sucede en el planeta Tierra: hay un comienzo, un intermedio y un final. Se antoja razonable creer que en el universo sucede lo mismo.

IV. REFLEXIÓN FINAL. ¿Y SI ACUDIMOS A DIOS?

...si Dios está en mi verso,
Dios soy yo.

Pablo NERUDA

Muchos de los científicos consultados para esta obra han acabado por hacer dos cosas que no toman a nadie por sorpresa. Primero, involucrar a Dios en sus conocimientos y reflexiones científicas, y/o segundo, discutir sobre el vínculo o conflicto que existe entre ciencia y religión.

Para el primer caso tenemos dos ejemplos muy claros: *i*) el inglés Stephen H. Hawking quien termina su obra señalando que encontrar una respuesta a la cuestión de por qué existe el universo y de por qué existimos “sería el triunfo definitivo de la razón humana, porque entonces conoceríamos el pensamiento de Dios”,¹⁰³ y *ii*) los hermanos Bogdanov, quienes en su afán por demostrar que son las matemáticas las que aportarán un principio de solución al enigma del instante cero invocan al matemático alemán Kart Weierstrass quien intuía que “Dios ha hecho los números. El resto de las matemáticas ha sido hecho por los hombres”.¹⁰⁴

Para el segundo caso son tres los ejemplos: *i*) el naturalizado estadounidense Albert Einstein, quien no obstante haber rechazado en principio la idea bíblica de Dios, acabó por abordar tanto el concepto mismo de Dios¹⁰⁵ como el vínculo que existe entre ciencia y religión y sostener que “la ciencia

¹⁰³ Hawking, Stephen W., *op. cit.*, nota 15, pp. 222-224.

¹⁰⁴ Bogdanov, Igor y Grichka, *op. cit.*, nota 8, p. 214.

¹⁰⁵ Hay que recordar que debido al creciente antisemitismo que se vivió en Europa durante las primeras décadas del siglo XX, Einstein apoyó la causa sionista y llegó a formar parte de la comunidad judía. Su labor a favor del sionismo le fue reconocido hasta 1952, fecha en la que le fue ofrecida la presidencia de Israel, la cual, como se sabe, habría de rechazar. Véase Hawking, Stephen W., *op. cit.*, nota 15, pp. 225 y 226.

sin la religión está coja, y la religión, sin la ciencia, ciega”;¹⁰⁶ *ii*) el alemán Max Planck quien aunque advertía que “Nunca puede darse una verdadera oposición entre la ciencia y la religión”, señalaba que el científico habrá de reconocerle valor a la religión siempre y cuando ésta no oponga sus dogmas a “la ley fundamental sobre la que se basa el conocimiento científico, o sea, la secuencia causa-efecto en todos los fenómenos externos”,¹⁰⁷ y *iii*) Christian de Duve quien afirma que ante el conflicto entre “lo que la ciencia sabe y lo que la religión cree, es ésta la que debe ceder”, o dicho de otro modo: “las religiones han de revisar sus escrituras y ponerlas de acuerdo con la ciencia moderna”.¹⁰⁸

¿Será posible tener mayor claridad sobre el comienzo, el intermedio y el final del universo si involucramos en todo esto a Dios?

Debo confesar que la tentación de acudir a una divinidad superior es muy grande; estoy seguro que si yo lo hago, mis lectores lo comprenderán. Pero proceder en consecuencia, me lleva al dilema de cómo insertar a Dios en las reflexiones científicas y ético-filosóficas planteadas hasta el momento. Es evidente que lo primero que se necesita hacer es aceptar que el camino más adecuado para llegar a Dios es a través de la fe y la oración; sobre esto no hay duda. Sin embargo, me enfrentaría al problema de decidir cuál de todos los pensamientos religiosos existentes podría servirme como marco referencial para conocer a Dios y así vincularlo a las ideas expuestas en los apartados anteriores ¡vaya disyuntiva!

Lo anterior me constreñiría a elaborar un concepto medianamente definido de lo que es Dios. Pero de entrada, intentarlo, es un error. Porque apropiarse de un concepto sobre Dios —como lo han hecho las religiones en el mundo— limita, separa, castiga y racionaliza el verdadero concepto divino. Dejaré esas tareas a quienes se dicen líderes religiosos; allá ellos si quieren seguir siendo fuente de conflictos entre grupos humanos.

Pienso que el camino a seguir debe ser más sencillo. Por lo que francamente no me pondría a indagar sobre el papel que juega una divinidad superior en el comienzo, el intermedio y el final del universo. Todo lo contrario, como involucrar a Dios en estos menesteres supondría —a mi modo de ver— aceptar su existencia y por lo tanto creer en la posibilidad de establecer un diálogo (no un monólogo), me olvidaría de hacer estudios, maquinar conjeturas y fabricar definiciones, y de plano me atrevería sin más a plantearle y luego a preguntarle lo siguiente.

¹⁰⁶ Wilber, Ken (ed.), *Cuestiones cuánticas. Escritos místicos de los físicos más famosos del mundo*, 10a. ed., trad. de Pedro de Casso, Barcelona, Kairós, 2007, p. 166.

¹⁰⁷ *Ibidem*, p. 210.

¹⁰⁸ Duve, Christian de, *op. cit.*, nota 38, pp. 394 y 402.

Reflexiono como científico del derecho ambiental que es razonablemente atractiva la idea de creer en un *big bang* y en un *big crunch* porque esto significa pensar y tener la sensación de que todo lo que nos rodea, y nosotros mismos, tenemos un principio y un final. De aquí que tengamos la certeza de dos cosas fundamentales para la creación del derecho científico y la elaboración del derecho normativo: *i*) todo es finito, y *ii*) todo es interdependiente o está relacionado recíprocamente entre sí, lo que es explicable a través de la física, la química, la biología, la astronomía, la cosmología, la genética, la filosofía, etcétera. Como estos dos supuestos incluyen a todos los procesos naturales e inducidos, es más asequible construir un derecho ambiental donde el sustento provenga tanto de un conocimiento científico como de un saber ancestral-sagrado, los cuales, aunque cambiantes, son la base de la respuesta jurídica a la crisis ambiental planetaria en la que vivimos. De tal suerte que sólo a través de las ideas de *finitud* y de *reciprocidad o interdependencia recíproca* tiene sentido la escala humana *vis à vis* la geológica o la universal y por lo tanto la congruencia en la construcción de un derecho ambiental.

Derivado de lo anterior, la pregunta que yo formularía a Dios está compuesta de varias interrogantes que son en cierto sentido muy similares a las que toda gran civilización se ha hecho y que están vinculadas a las reflexiones científicas y ético-filosóficas desarrolladas en esta obra. Las preguntas fundamentales a las que me refiero son: ¿Estaremos comprendiendo bien de dónde venimos y hacia dónde vamos? ¿Se está clarificando la idea de quiénes somos y por qué estamos aquí? ¿Es parte del plan divino ser arrogantes con la naturaleza y sentirnos superiores a toda otra forma de vida? ¿Son erróneos nuestros productos científicos y nuestros saberes ancestrales-sagrados? Y sobre todo, ¿acaso ya sabemos lo que debemos hacer?

No sé lo que Dios me diría ni tampoco sé lo que me gustaría escuchar como respuesta. Pero lo que sí sé es que cualquiera que ésta fuera estoy seguro que serviría para darle un empujoncito —y en el camino correcto— al desarrollo de la ciencia del siglo XXI.