

Capítulo I

Una visión del origen del universo y la vida en la Tierra desde la perspectiva de la actual crisis ambiental

Introducción

EL CONOCIMIENTO acerca del origen del universo y de la vida en la Tierra ha avanzado sustancialmente en las últimas décadas, como resultado de varios factores que se combinaron e influenciaron recíprocamente. Por un lado, las investigaciones espaciales que profundizaron el conocimiento comparativo de la Tierra respecto de otros planetas (particularmente Marte); así como la confirmación del origen extraterrestre (cometas y asteroides) de numerosos cráteres en la Tierra y sus posibles implicaciones, y la filmación en directo de la irrupción en la atmósfera de Júpiter del cometa Shoemaker-Levy (1994). También el descubrimiento de aglomeraciones de galaxias (clusters) que debieron tardar varias decenas de miles de millones de años para su formación. Por otro lado, importantes descubrimientos de la biología molecular, como los que tienen que ver con la forma como la célula se reorganiza y protege y con el papel del fenotipo en la transformación del ambiente. Por último, toda una revolución paradigmática en las ciencias, que de una visión basada en la homogeneidad y el equilibrio se pasó a una de la heterogeneidad y las crisis, como resultado de los avances en la física de partículas y en el conocimiento más profundo de las leyes de la termodinámica.

El propósito de este capítulo es destacar, de forma resumida, algunos elementos de la discusión sobre el origen del universo y la vida en la Tierra que son aún novedad fuera de los ámbitos especializados, pero que resultan esenciales para una comprensión más amplia de la problemática ambiental. En este sentido, vamos a resaltar el carácter dinámico del universo; el surgimiento de la vida en la Tierra a partir de la materia abiótica; el papel de la vida en la modificación del medio material; y la naturalidad de las extinciones en la historia de la vida. Al mismo tiempo, pretendemos mostrar ciertas implicaciones ideológicas de varios postulados hegemónicos sobre el origen del universo. Por un lado, la correspondencia entre las teorías del Big Bang y la creencia en un origen divino del universo. Por otro, la relación entre las teorías del Big Bang y un supuesto

mundo finito en materiales, lo cual sería una de las principales bases de la actual crisis ambiental. Por último, las implicaciones de la creencia en un mundo gobernado por una creciente entropía.

El universo y la Tierra

En los últimos años las investigaciones que combinan el estudio de “lo más pequeño” (física de partículas) y de “lo más grande” (astrofísica) han realizado importantes avances sobre el origen del universo. La opinión hegemónica sostiene la llamada “teoría del Big Bang”. En lo que aquí nos interesa, baste señalar los siguientes puntos que esta propuesta sostiene (Hawking [1988]; Longair [1991]; Smoot y Davidson [1993]):

–Según las teorías del Big Bang el origen del Universo estaría en una gran explosión ocurrida hace 15 000 millones de años. Lo que explotó, llamado singularidad, era de un volumen infinitesimal y de una densidad infinita. Todos los elementos conocidos hoy en día (y formas de antimateria extinguidas) son condensación y combinación de radiación y partículas de materia que se generaron como resultado de la explosión. Esto significa que antes del Big Bang no había nada, no había ni tiempo ni espacio, o lo que hubiese sería imposible de investigar a partir de las leyes de la física conocidas.

–La explosión implicó una expansión de radiación (o de materia) que generó el tiempo y el espacio en su misma medida. La metáfora de un globo que se va inflando da la idea de la expansión del universo. Cada punto del globo se distancia del resto a medida que se infla, con ello se crea el espacio y el tiempo.

–300000 años después del Big Bang se separa la materia de la radiación. Se forman los primeros átomos de hidrógeno (H), helio (He) y Litio (Li).

–A medida que se expande el universo se enfría y condensa. 1000 millones de años después del Big Bang se forma la materia más pesada como el hierro (Fe) y el carbono (C), al tiempo que se forman las estrellas y las galaxias.

–El futuro del universo sería aún enigmático. Tres posibilidades se manejan: a) que la densidad del Universo implica una atracción gravitatoria mayor a las fuerzas de expansión, lo que conduciría a un punto de inflexión a partir del cual comenzaría un proceso inverso de implosión, donde todo volvería a fundirse en un punto; b) que la densidad no alcance a contrarrestar las fuerzas de expansión, generando un proceso llamado de “Gran Frío” donde la expansión conduciría al infinito; y, c) una tendencia al equilibrio entre la atracción gravitatoria de las masas y las fuerzas de expansión que generaría un estado estático. Las posiciones hegemónicas tienden a argumentar en favor de la última alternativa.

–Desde el estallido del Big Bang a la formación de nuestro sistema solar, pasaron varios miles de millones de años. Se estima que nuestro sistema solar (el Sol y todos sus planetas) fue formado hace 4.6 mil millones de años.

Con una antigüedad común y un origen también común, los elementos que conforman el Sol, la Tierra, y el resto de los planetas, son semejantes e iguales en todo el universo. Efectivamente, de los átomos más simples de hidrógeno (H) y helio (He) está formado el 99 por ciento de toda la materia conocida de nuestro universo. Pero esto no significa que los planetas tengan la misma composición, por el contrario, la diferente combinación de los mismos elementos, y la distinta ubicación espacial (distancia respecto del Sol y los demás planetas, posición en relación a la, o las lunas, acción de la materia interestelar con que se encuentra en su viaje, radiación interestelar diferente, etcétera) ha generado casos únicos.¹

Al tiempo que se reconoce el origen común y el carácter dinámico del universo, otros hechos han revolucionado en los últimos años el concepto de la Tierra en su relación con el resto del universo. De una concepción de la Tierra como un sistema cerrado, cuyas principales características geológicas y fisico-químicas podían ser explicadas a partir de dinámicas propias, se ha pasado a una concepción de la Tierra como un sistema abierto, interactuando con el resto del universo (Davis, 1996).² Las evidencias de los impactos externos sobre la Tierra (cometas y asteroides) han sido confirmadas en cerca de 145 cráteres (Davis, 1996, p. 57). Estos impactos extraterrestres podrían tener influencias decisivas, no sólo en la vida sobre la Tierra, sino también en su geología. Para el geólogo Herbert Shaw habría una relación estrecha entre el movimiento de las placas tectónicas y los impactos externos:

La tesis central de mi trabajo sostiene que un sistema de retroalimentación entre la energía acumulada por los impactos y los movimientos netos de las placas tectónicas y la deriva continental, ha persistido a través de los tiempos geológicos (Herbert Shaw, *Craters, Cosmos, and Chronicles: A New Theory of the Earth History*, Houston, 1994, p. 35, apud Davis, 1996, p. 68).

¹ Escribe Davis: “En esencia, la teoría ha sido incapaz de predecir la composición o dinámica planetaria previa a la exploración. El sistema solar se distingue por la ausencia conspicua de «planetas normales». Cada uno de ellos, en cambio es un individuo excéntrico con su propia y única identidad química y tectónica. Más aún, la misma regla se aplica a la miniatura tanto como a los mundos mayores, ya que cada satélite se ha vuelto diferente en alguna característica significativa de su vecino” (Davis, 1996, p. 69).

² Según Davis, 1994 fue un año significativo para asentar esta concepción; tres hechos fueron decisivos: a) en febrero, la penetración de un asteroide en la atmósfera de la Tierra explotando sobre el Pacífico; b) en julio, las imágenes transmitidas por televisión del cometa Shoemaker-Levy entrando a la atmósfera de Júpiter, y generando bolas de fuego semejantes a las que podrían haber habido en la Tierra en otros momentos; c) en diciembre, un asteroide pasó “rozando” la Tierra (a 105000 km de distancia), lo que demuestra la posibilidad real de una colisión.

Ya no es posible concebir a la Tierra como algo relacionado al resto del universo al momento de su creación y ahora sujeta a su propia dinámica. Contra el sentido común, es necesario concebir que la Tierra está permanentemente sometida a efectos provenientes del espacio exterior, y que parte de la dinámica que consideramos propia pudieran ser coletazos de antiguos impactos externos. Muchos de estos impactos externos podrían haber sido la causa de masivas extinciones en formas de vida.

La teoría del Big Bang (en realidad las diferentes teorías sobre el Big Bang) sirve de apoyo indirecto a algunas ideas que son parte de tradiciones religiosas y de resultados de la experiencia práctica del ser humano.

La primera de ellas es la identidad con un acto divino de creación. Si antes del Big Bang no había nada (de hecho tampoco había un “antes”) podría pensarse que todo el universo fue creado espontáneamente y de la nada; idea presente en muchas tradiciones religiosas sobre el origen divino del universo, y particularmente en la Biblia. No es casualidad que el Vaticano haya recibido con beneplácito la teoría del Big Bang.

La segunda idea que la teoría del Big Bang apoya es la finitud de la materia. Así como toda la materia fue creada de la nada y a partir de aquella singularidad, la materia universal estaría limitada al resultado de la explosión inicial. Esta idea de la materia finita es, por cierto, parte del sentido común, como resultado de la actividad vital del individuo que se mueve en un medio de objetos limitados. En el mundo en que vivimos esa idea se fortalece, ya que para obtener cualquier producto es necesario comprarlo con dinero, que tenemos siempre de manera limitada, y que refuerza así la idea de un mundo material finito. De allí que la teoría económica neoclásica, que es la expresión más acabada del sentido común del mundo capitalista, defina a la economía como “la utilización de recursos escasos para satisfacer necesidades ilimitadas”. Lo material aparece siempre como escaso. La finitud de la materia es, también, divulgada diariamente por los políticos defensores de la economía capitalista en que vivimos. La famosa metáfora de la “torta para repartir” es caballito de batalla para justificar la pobreza de ciertos sectores de la sociedad. Cuando pasamos a la discusión sobre la actual crisis ambiental el problema del mundo material limitado aparece otra vez, sólo que ahora bajo la forma de escasez de recursos. Un mundo finito en materiales sería la barrera externa al desarrollo humano. La sociedad humana debe adaptarse, bien limitando su población, bien restringiendo el consumo, o mejor ambos a la vez. En resumidas cuentas, de la teoría del Big Bang con un universo finito, a la crisis ambiental contemporánea donde el crecimiento económico pareciera contraponerse a los recursos materiales finitos, pasando por la expe-

riencia cotidiana del dinero limitado en el bolsillo, hay un hilo conductor: la creencia en que la materia es finita.

La tercera idea derivada de la teoría del Big Bang es el progresivo desorden. El universo podría evolucionar hacia un estado de creciente enfriamiento, resultado de la degradación de la energía. También aquí hay una cierta correspondencia con la experiencia cotidiana. Allí donde dejemos de trabajar o de ordenar, reina el desorden. El resultado de todo esto es que el mundo va perdiendo sus recursos energéticos y con ello las posibilidades de sobrevivencia. Se trata de una visión fatalista.

Por cierto que estas implicaciones ideológicas bien pudieran ser una conclusión forzosa si los principios a partir de los cuales se derivan fuesen absolutamente verdaderos. Pero la realidad no es tan simple. La teoría del Big Bang, a pesar de su amplia propaganda, tiene muchos puntos flacos. Esta teoría utiliza dos hechos experimentales como demostración de su fortaleza: la radiación de fondo y la expansión del universo. Pero, existen varias teorías que explican la “homogénea suavidad” de la radiación de fondo, y también “el desplazamiento hacia el rojo del espectro –efecto Doppler y demostración de la expansión del universo– Hubble” sin necesidad de apoyar la teoría del Big Bang (Lerner, 1992). En los últimos años por lo menos tres descubrimientos vinieron a mostrar su falsedad (Lerner, 1992). Uno de dichos descubrimientos fue el de estrellas más viejas que el propio Big Bang. En efecto, desde la década del ochenta del siglo xx se conoce que las galaxias están integradas a aglomeraciones mayores llamadas clusters, para cuya formación debió de haber transcurrido en torno de 100 000 millones de años, o sea, entre cinco y 10 veces más que las predicciones acerca del origen del universo de la teoría del Big Bang.³ El segundo fue la demostración del carácter “apiñado” de las formaciones del universo, algo imposible de explicar a partir del origen homogéneo y suave pretendido por la teoría del Big Bang. El tercero, fueron las mediciones acerca de la densidad de la materia, las cuales mostraron no corresponder con las necesidades de la teoría del Big Bang. Según ésta, para que el universo se expandiese era necesario una masa de cerca de 100 átomos por cada 10 metros cúbicos de espacio. La investigación demostró que los primeros apenas llegan a uno por cada 10 metros cúbicos. Con estos datos no sólo el Big Bang no podría haber existido, sino que el universo tampoco podría frenarse en su expansión, ya que la atracción gravitatoria sería insuficiente a tales efectos.

³En los últimos años fueron descubiertas estrellas más viejas que el propio Big Bang, con lo cual toda esta teoría caería por el piso (Jacoby, 1994; Travis, 1994; Van Flandern, 1994; Lerner, 1992).

Existen otras interpretaciones sobre el origen del universo. Algunas corresponden con las observaciones experimentales, y que, al contrario de implicar las derivaciones ideológicas antes anotadas, conducen a mostrar:

- un universo sin origen, pero también sin fin y, por lo tanto, sin connotaciones con un creacionismo divino;
- la infinitud de la materia;⁴ y
- una tendencia creciente al orden en lugar del desorden, con las consecuentes implicaciones halagüeñas en lugar de fatalistas para el desarrollo humano.

La teoría del Plasma, desarrollada por el premio Nobel de física Hannes Alfvén a finales de la década de 1970 considera un universo y materia infinitos. Esta teoría sugiere que el 99 por ciento de la materia del universo es plasma, o sea gases conductores eléctricos a alta temperatura. Extrapolando el comportamiento del plasma en el laboratorio, Alfvén ve un universo entrecruzado por vastas corrientes eléctricas y fuertes campos magnéticos, ordenados por las fuerzas contrapuestas del electromagnetismo y la gravitación (a diferencia de la teoría del Big Bang que se construye sólo a partir de la gravitación). Alfvén muestra que la inestabilidad intrínseca al plasma implica energía y movimiento, corrientes eléctricas y campos magnéticos. Como resultado de estas fuerzas surge la tendencia a que el plasma adopte la forma de filamentos (vórtices), capaces, a su vez, de atraer otros que se mueven en el mismo sentido. Este crecimiento de los filamentos significa una creciente captura de flujos de energía. Llegado un determinado momento los vórtices dejan de crecer, limitados por su velocidad intrínseca, y comienzan a decaer. Surge entonces una nueva fase gobernada por la gravitación, una vez que la masa de materia se acrecentó. Una fase caracterizada por la contracción de la materia y la conversión de energía gravitacional en electricidad, lo cual repercute en una mayor compresión de la materia y en la liberación de mayores flujos de energía. En los centros calientes sucede una revolución nuclear y el espacio se llena de luz. Esta resumida secuencia, resultado del análisis del plasma en el laboratorio, le permitió a Alfvén sugerir el movimiento del universo. Pero este movimiento no supone ningún principio así como ningún fin (habría inúmeros big bangs). Al contrario, se trata de una dinámica permanente de asociación y repulsión, de momentos en que priva la gravitación, y de momentos, o más bien áreas donde privan las fuerzas electromagnéticas (Lerner, 1992).

La teoría del plasma de Alfvén no requiere que el universo tenga origen, por lo tanto no apoya ninguna teoría creacionista divina. Tampoco supone que

⁴Véase el libro de Eric Lerner, *The Big Bang Never Happened*, y el de Alan Woods y Ted Grant, *Reason in Revolt. Marxism and Modern Science*, donde se defiende la infinitud de la materia.

el universo sea finito, por el contrario, sería infinito y lo que vemos tan solo una minúscula parte. Su teoría no conduce, entonces, a suponer una escasez material al desarrollo humano, más bien ilimitados recursos universales a ser utilizados. Y tampoco supone que el universo tiende a degradarse en un proceso de entropía creciente. Al contrario, muestra cómo los flujos de energía tienden a concentrarse en filamentos y unidades mayores con un aumento del potencial energético en determinadas fases. La entropía no se daría a nivel universal. En los últimos años el también premio Nobel de química Ilya Prigogine ha venido sosteniendo, a partir de sus análisis de laboratorio, una reinterpretación de las leyes de la termodinámica. Muestra el surgimiento del orden a partir del caos. O sea, bajo determinadas condiciones la materia tiende a reordenarse en lugar de degradarse crecientemente. Existirían fuerzas que tenderían a contrarrestar la fuerza entrópica, una conclusión coincidente con la de Alfvén.

Al tiempo que se amplía el conocimiento del espacio exterior, y se considera cada vez más a la Tierra como parte de un sistema mayor, sigue sorprendiendo la existencia de una especificidad: la vida. El conocimiento más profundo de la Tierra, resultado de su comparación con otros planetas –algo posible a partir del llamado “redescubrimiento de la Tierra” ocurrido desde mediados de los sesenta como resultado de los viajes interplanetarios y sus investigaciones⁵ permitió comparar a la Tierra con Marte y Venus principalmente; lo que resultó muy enriquecedor debido a que se trata de los dos planetas más próximos y, por lo tanto, con una distancia del Sol relativamente más semejante a la de la Tierra. El análisis comparativo de la composición atmosférica planetaria fue el punto de partida del reconocimiento de la exclusividad de la vida en la Tierra. El cuadro que sigue da cuenta de los principales gases atmosféricos.

COMPOSICIÓN DE LOS PRINCIPALES GASES PLANETARIOS

Gas	Venus	Marte	Tierra
Dióxido de Carbono	96.50%	95.00%	0.03%
Nitrógeno	3.50%	2.70%	79.00%
Oxígeno	vestigios	0.13%	21.00%
Metano	–	–	1.70 ppm
Argonio	70.00 ppm	1.60%	1.00%
Temperatura media °C	459	–53	13

Fuente: Lovelock [1988], p. 7.
ppm. = parte por millón.

⁵En 1996, el geólogo David McKay, del Centro Espacial Johnson, dio a conocer los resultados del análisis de un meteorito marciano encontrado en la Antártida en 1984, según el cual hay rastros de bacterias de 3.6 mil millones de años. Ello confirmaría la hipótesis de la vida en Marte en su momento (Veja, 1996, p. 52).

Puede apreciarse la gran diferencia entre Venus y Marte por un lado, y la Tierra por otro. Mientras la atmósfera de Venus y Marte está formada, básicamente, por dióxido de carbono (CO₂) y nitrógeno (N), la Tierra lo está por nitrógeno y oxígeno (O). Esta diferencia no sólo es sorprendente de por sí (no habría razón para ella), sino que la composición de gases de la Tierra es anómala. El oxígeno (gas oxidante) expuesto a la luz del Sol es consumido por el metano (gas reductor), transformándose en dióxido de carbono y vapor de agua. El nitrógeno sería absorbido por los océanos desapareciendo de la atmósfera. No habría manera de que permanecieran en proporciones constantes como lo hacen.

La única posibilidad de la convivencia de estos gases oxidantes y reductores (oxígeno y nitrógeno) es la existencia de una fuente prácticamente inagotable que los produzca. Una parte y media por millón de metano en la atmósfera significan mil millones de toneladas (mil megatonnes) que deben crearse cada año; la reposición del oxígeno significaría probablemente dos mil millones (dos mil megatonnes) de toneladas anuales (Lovelock [1979] [1988]).

En las últimas dos décadas se ha reafirmado en el medio científico la teoría que sostiene que la fuente de generación de dichos gases es la vida misma. Las investigaciones confirmaron la hipótesis levantada en 1926 por Vernadsky, en el sentido de que la vida constituyó un factor revolucionario de la química de la atmósfera y de la transformación de algunos aspectos de la geología de la Tierra.⁶

Dicho de otra forma, la vida genera y regenera, permanentemente, el equilibrio atmosférico peculiar de la Tierra. Esto significa que en su origen, antes de la vida, la composición atmosférica de la Tierra era similar a la de los otros planetas. De ser así, la Tierra se formó sin vida con una atmósfera sin oxígeno, y ésta, una vez creada, reactuó sobre su entorno transformándolo. Se trata de un supuesto coincidente con el de la paleobiología.

También desde la biología se sostiene que la Tierra no tuvo oxígeno libre durante los primeros 1.6 mil millones de años. O sea, durante un tercio de su vida. Y que la proporción actual de un 21 por ciento de oxígeno en la atmósfera es relativamente reciente, de los últimos 600 millones de años. El argumento se basa en que las primeras formas de vida utilizaron compo-

⁶ Escriben Margulis y Sagan: "Vernadsky hizo en relación al espacio lo que Darwin en relación al tiempo: así como Darwin demostró que todas las formas de vida descienden de un ancestro remoto, Vernadsky demostró que todas las formas de vida habitan en un espacio materialmente unificado, la biosfera. La vida es una entidad única, que transforma en materia terrestre las energías cósmicas del Sol" (Margulis; Sagan [1995] p. 45).

nentes de carbono prebiológico, tanto aminoácidos, como nucleo-proteínas y azúcares

compuestos éstos que no se acumulan en presencia de oxígeno, el cual reacciona con ellos y los destruye luego que se forman. Entonces, las primeras células de la Tierra debieron haber surgido en ausencia de oxígeno (Margulis [1987], p. 97).

La vida, una vez creada, actuaría como una especie de regulador entre los gases atmosféricos.⁷

Estas investigaciones sobre el origen de la vida y su incidencia en la atmósfera y, como veremos, en el mundo inorgánico en general, cambiaron de forma radical aquella concepción del mundo que se tenía tan solo unas pocas décadas atrás. De la imagen de un mundo físico dado, donde la vida simplemente se adaptaba, debemos pensar en la vida como una fuerza que también transforma profundamente el mundo inerte; algo, por cierto, todavía difícil de incorporar al sentido común.⁸

La vida modifica al medio

El origen de la vida

Es conocido que los compuestos de carbono (azúcares, aminoácidos, grasas, etcétera), que son la base de la vida, existen en ausencia de vida. Existían en la Tierra primitiva sin vida, y también existen en el espacio interestelar, en planetas, cometas, meteoritos, etcétera.

Se admite que la Tierra primitiva tenía en su superficie los componentes químicos a partir de los cuales se hizo la vida, compuestos químicos llamados “orgánicos” –como los aminoácidos, las subunidades de proteínas; los nucleótidos, subunidades de las moléculas de nuestras células que cargan la información genética; los azúcares, subunidades de los polisacáridos– y muchas otras piezas esenciales que esperaban para el acto final del montaje. Es importante

⁷Debe quedar claro que el oxígeno libre (O_2) no existía (o era mínimo) antes de la vida. Si existía el oxígeno combinado, por ejemplo, en el agua (H_2O). Hasta la década de los sesenta otra hipótesis explicaba el origen del oxígeno en la separación del vapor de agua ($H_2O_{(v)}$) en sus elementos originarios una vez que el hidrógeno más liviano escapase al espacio como resultado de la fotodisociación.

⁸La imagen del mundo como un solo organismo vivo es desarrollada a través de la hipótesis GAIA. Según Lovelock la hipótesis GAIA, “Postula que las condiciones físicas y químicas de la superficie de la Tierra, de la atmósfera y de los océanos han sido y son adecuadas para la vida gracias a la presencia misma de la vida, lo que contrasta con la sabiduría convencional según la cual la vida y las condiciones planetarias siguieron caminos separados adaptándose la primera a las segundas” (Lovelock [1979], p. 178).

reconocer que estos componentes químicos, aunque considerados como característicos de la vida, son también productos del estado estable abiológico. La simple presencia de tales componentes en un planeta sin oxígeno no es, de por sí, una prueba para la vida. Apenas es la prueba de la posibilidad de su formación (Lovelock [1988] p. 67).

La primera hipótesis fundamentada sobre la interrelación entre la atmósfera primitiva de la Tierra y el surgimiento de la vida se debe a Oparin, quien en 1929 postuló que partiendo de una atmósfera rica en hidrógeno, metano y amoníaco, sujetos a la energía solar, se formarían “coacervados” dependientes de una estructura físico-química interna capaz de incorporar sustancias orgánicas del entorno, y con ello podían crecer.

El segundo paso lo dio también en 1929 Haldane, quien argumentó que de existir oxígeno libre éste habría destruido los compuestos orgánicos que eran alimento de la vida. Por lo tanto, las primeras formas de vida debieron haber surgido en una atmósfera libre de oxígeno.

En 1959 Fox, Miller y Ponnampertuma, lograron la primera experimentación en laboratorio. Reproduciendo la supuesta atmósfera primitiva de la Tierra, y utilizando temperatura y descargas eléctricas como sustitutos de la luz del Sol y los rayos lograron, a partir de la combinación de elementos simples como el nitrógeno, amoníaco, metano y vapor de agua, los compuestos orgánicos originarios de la vida.

Las estimaciones de la composición de la atmósfera primitiva de la Tierra coinciden en señalar la ausencia de oxígeno. Seguramente el dióxido de carbono alcanzaba más del 95 por ciento de los gases atmosféricos, al igual que ocurre hoy en día con Venus y Marte. La gran actividad volcánica de los primeros tiempos de la Tierra generaba grandes cantidades de dióxido de carbono. De allí que las primeras formas de vida debieron ser anaerobias (vida sin oxígeno) que surgieron en aguas no muy profundas del mar, donde los rayos ultravioletas llegaban filtrados.

Como resultado de la acción de los rayos ultravioletas, de descargas eléctricas, de la agitación propia de los primeros tiempos de la Tierra, y del calor terrestre, surgieron, después de 700 millones de años, las primeras bacterias, las primeras formas de vida que utilizaban la fermentación para descomponer azúcares y compuestos orgánicos con los cuales alimentarse. Compuestos que existían de manera abundante.

La peculiaridad de la vida radica, entonces, en que estos compuestos orgánicos logran crear una membrana que actúa como una cápsula de materia y energía separada del entorno, pero manteniendo al mismo tiempo la capacidad de

interactuar con él para obtener alimento. Esta cápsula metaboliza, o sea, se produce a sí misma. Para ello, se apropia de alimento externo, organizándose al interior, y generando desechos.⁹ Así, la primera revolución de la vida fue su propio surgimiento.

Es interesante anotar que la corta distancia entre la vida y la no vida choca contra el sentido común del ser humano, que pone una gran distancia frente al resto de los seres vivos y mucho más respecto de la naturaleza inorgánica. Como escribió el científico James Lovelock, “no hay una distinción clara en la superficie de la Tierra entre materia viva y no viva. Existe apenas una jerarquía de intensidad que va del ambiente «material» de rocas y de atmósfera a las células vivas” (Lovelock [1988], p. 36).

Ahora bien, mientras existieron compuestos orgánicos, dichas bacterias tuvieron su alimento asegurado. Se llaman heterótrofos estos seres vivos incapaces de producir su alimento y que toman el carbono y la energía ya elaborada.

Cuando los compuestos orgánicos preexistentes comenzaron a escasear, ocurrió la segunda gran revolución de la vida, que consistió en utilizar la energía solar para producir aquellos compuestos orgánicos necesarios para alimentarse a partir de inorgánicos. Estos nuevos seres eran autótrofos, esto es, capaces de producir el alimento directamente de materia inorgánica. En un primer momento esta fotosíntesis (síntesis por la luz) utilizaba elementos reductores como el sulfuro de hidrógeno (H_2S) que no liberaba oxígeno. Pero, luego, surgieron bacterias (cianobacterias) que realizaban la fotosíntesis utilizando el agua como elemento reductor. Éstas, al tiempo que generaban su alimento, desprendían el oxígeno del agua como residuo de la fotosíntesis. Eran bacterias anaeróbicas, que vivían en un mundo sin oxígeno, pero simultáneamente lo producían como residuo.

Esta segunda revolución de la vida presentó, entonces, dos caras. Por un lado, una “salida” o expansión; por otro, una crisis. La “salida” consistió en utilizar la fotosíntesis como mecanismo para canalizar la energía solar y romper así los lazos químicos del dióxido de carbono (CO_2) y del agua (H_2O); produciendo, por un lado, los compuestos orgánicos a partir del carbono (C) y, por otro, desprendiendo como residuo el oxígeno (O_2). Con ello se le dio salida a la crisis alimentaria resultado de la reducción de los compuestos orgánicos preexistentes. Las cianobacterias utilizaron la materia inorgánica constituida por el dióxido de carbono existente en el agua y la atmósfera, transformándola en su alimento.

⁹Varela y Maturana llaman de autopoyesis a esta característica de la vida de producirse a sí misma (Maturana; Varela, 1981).

Por otro lado, se generó una crisis, que consistió en contaminar la atmósfera con el oxígeno desprendido. A medida que las cianobacterias se alimentaban transformando el carbono liberaban el oxígeno que les resultaba paradójicamente un gas tóxico. Tal vez sea correcto considerar ésta como la primera crisis ambiental para la vida (Lovelock [1979]).

La abundancia de oxígeno libre en la atmósfera comenzó a transformarse en un verdadero veneno para la vida. Y, aquellas bacterias anaeróbicas debieron refugiarse en zonas sin oxígeno. Sus descendientes están hoy en día dentro de otros organismos, en las profundidades del océano, o en pantanos y charcos, huyendo del oxígeno tóxico que sus antepasados contribuyeron a incrementar.

Los primeros seres vivos, o bacterias, eran procariotas, es decir, sus células no tenían núcleo. Esto hacía que el material genético estuviese suelto en el cuerpo celular. Esta característica representaba ventajas y desventajas. Ventajas porque el individuo “por contagio” con otros podía adoptar nuevas formas. Así el proceso de adaptación a diferentes condiciones se hacía más rápido, no necesitaba de la reproducción vertical de una generación a otra. Desventajas porque no podían tener partes especializadas de su cuerpo, como los posteriores eucariotas con núcleo. Con el surgimiento de los eucariotas ocurrió una tercera revolución de la vida. Se trató del surgimiento de células que respiraban (aerobias). Estos primitivos microbios utilizaron el oxígeno para “quemar” las moléculas orgánicas que se convertían en su alimento. Mientras las anaerobias generaban oxígeno como residuo y huían de su propia intoxicación, las nuevas aerobias “descubrieron” cómo alimentarse aprovechando el residuo (oxígeno) de las anteriores. Estos nuevos individuos (eucariotas) se desarrollaron, según Lynn Margulis, por simbiosis (asociación) de bacterias anaeróbicas anteriormente libres, y crearon un núcleo donde concentraron el material genético (ADN). La respiración, o utilización del oxígeno para quemar las moléculas orgánicas, representó un procedimiento mucho más eficiente, en términos energéticos, que la fermentación. Esta mayor acumulación relativa de energía en el alimento les permitió aumentar de tamaño y generar funciones más sofisticadas. La diferencia revolucionaria de los eucariotas frente a los procariotas fue su organización interna. Por primera vez las diversas células del cuerpo adquirieron funciones diferentes, que podían comunicarse entre sí. La piel, huesos, músculos, tronco, corteza, hojas, raíces, etcétera, que conocemos, son resultado de esta especiación celular que comenzó con la revolución de los eucariotas. Con esta especiación interna los eucariotas estaban listos para colonizar nuevas áreas, explotar nuevos recursos y generar seres muy diversificados.

La vida modifica al medio

Existen evidencias fósiles que indican el origen de la vida en la Tierra hace 3.9 mil millones de años; y una gran expansión de las primeras bacterias hace 2.2 mil millones de años. El siguiente cuadro muestra los grandes momentos.

Miles de millones de años	Características
4.6	Formación de la Tierra
3.9	Primeras formas de vida. Procariotas
2.2	Gran expansión de las cianobacterias. Reducción del oxígeno de los mares. Formación de las rocas ferrosas
1.7	Vida aeróbica. Eucariotas
0.6	La vida se expande en variadas formas. El oxígeno alcanza un nivel cercano al actual

La composición de la atmósfera comienza a modificarse como resultado de la expansión de las cianobacterias. El dióxido de carbono retrocede y el oxígeno aumenta. La vida ha contribuido a crear el cambio del mundo abiótico tal vez más espectacular de la historia de la Tierra. Escriben Margulis y Sagan:

Las cianobacterias arruinaron el medio ambiente planetario más que ninguna otra forma de vida anterior o posterior.

...

El crecimiento desenfrenado de las cianobacterias no fue un fenómeno local. Dondequiera que crecieran las bacterias verdeazuladas asimilaban la "H" del H₂O y liberaban al aire la "O" en forma de O₂ oxígeno gaseoso. Este oxígeno resultó fatal para la mayoría de formas de vida primitivas... (Margulis; Sagan [1995], p. 80).

A esta transformación de la atmósfera le precedieron otras, ya que tan pronto el oxígeno era liberado por las cianobacterias, era capturado, mediante uniones químicas, por elementos reductores. Una de las más significativas transformaciones fue la del hierro soluble que existía en los mares, en óxido ferroso, dando origen, una vez precipitado, a la formación de la mayor parte de las rocas de hierro explotadas y conocidas en la actualidad (Fairbridge [1980], Lovelock [1979]).¹⁰ Como anticipó Vernadsky, la materia viviente se convirtió en una

¹⁰Posteriormente también las rocas calcáreas fueron formadas por sedimentación de las caparzones de seres vivos que abundaban en los océanos. Y es posible que la regulación de la salinidad de los océanos sea resultado de la vida misma (Lovelock [1979]).

fuerza geológica. Una vez que se oxidó todo lo posible, el oxígeno excedente se propagó a la atmósfera.

Hace de 2 a 2.5 mil millones de años el oxígeno pasó a ser dominante, en el sentido de que excedió la cantidad posible de ser reducida. Al llegar a la estratosfera se separaba por efecto de los rayos ultravioletas en dos átomos diferentes, que luego se juntaban a otros formando una molécula de oxígeno de 3 átomos (O_3) que conocemos como ozono. La capa de ozono que una forma de vida (la humana) está hoy –según algunos autores–¹¹ reduciendo rápidamente, otra (las cianobacterias) provocó indirectamente su creación.¹² Al decir de Botkin:

...la vida modificó el medio ambiente de la Tierra durante varios miles de millones de años. Esa nueva percepción de la vida en un contexto planetario es uno de los más importantes cambios que intervinieron en nuestra visión de la naturaleza (Botkin [1992], p. 18).

La idea central y revolucionaria es que la vida reordena la materia. La vida surge de la no vida, de la materia abiótica, pero tan pronto adquiere su estatus como materia que se autorreproduce, tiene la capacidad para reordenar –dentro de ciertos límites– al resto de la materia abiótica. No se trata de una dinámica lineal, siempre progresiva, por el contrario, a cada paso surgen efectos del movimiento de la mecánica celeste que vuelven a mostrar el carácter de más largo plazo y de grandes consecuencias de estas fuerzas universales.

La naturalidad de las extinciones en la historia de la vida

Al través de los apartados anteriores, hemos expuesto los argumentos que proponen que la historia de la vida en la Tierra no es la mera adaptación a un entorno preestablecido sino, por el contrario, la historia de la coevolución entre materia orgánica e inorgánica. Como resultado, el planeta ha ido modificando su forma física, y su aspecto y colores, y también ha ido experimentando diferen-

¹¹Para una visión más amplia véase Isla (1998).

¹²Escriben al respecto Margulis y Sagan: "La industria humana ha incrementado la concentración atmosférica de compuestos clorofluorocarbonados –poco amigos del ozono– unas cien veces, hasta alrededor de diez partes por billón. Esta perturbación es incomparablemente menor que el efecto que tuvo sobre el medio ambiente global la actividad de las bacterias verdeazuladas. Su proliferación hizo aumentar la concentración del oxígeno atmosférico desde menos de una parte por cada 100 000 000 000 hasta una parte de cada cinco (20 por ciento). Y la capa protectora de ozono (O_3 , una molécula de tres átomos de oxígeno) que hace de escudo contra los rayos ultravioletas fue fruto en primera instancia de esta polución del todo natural" (Margulis; Sagan [1995], p. 83).

tes formas de vida, desarrolladas a través de la múltiple evolución y de las frecuentes extinciones.

En las causas de las extinciones masivas intervienen variados factores, que hacen difícil su determinación. Algunas pueden estar relacionadas con bruscos cambios climáticos. Los cambios climáticos obedecen a múltiples factores (sin incluir aquí las causas humanas), que pueden ser agrupados de una manera general en:

-Cambios en las variables de la mecánica celeste. Por ejemplo, la órbita de Tierra o la inclinación del eje de rotación pueden modificarse. Estos cambios pueden ser resultado del paso cercano de objetos celestes que atraen a la Tierra y modifican, así, su posición. También los cometas que tienen órbitas pronunciadamente elípticas pueden interponerse entre el Sol y la Tierra. Si esto ocurriera, sería como una sombrilla, aunque pasajera, que limitaría la luz solar.

-Cambios en el albedo. El albedo es la reflectividad media de la Tierra. Los rayos de luz del sol son absorbidos por la Tierra en aproximadamente un 65 por ciento, el resto se refleja y escapa de la atmósfera terrestre. Pero esta reflectividad media puede modificarse. Estas variaciones en el albedo pueden ser causadas bien por erupciones volcánicas, o por el impacto de objetos externos (cometas, asteroides, meteoritos) que al golpear la superficie de la tierra levantan una nube de polvo que puede tardar años en decantar.

-El Sol, como todas las estrellas, tiene la propiedad de calentarse, en un periodo de su evolución, debido a que los átomos de hidrógeno se transforman en helio, y su combustión genera una ceniza gaseosa más opaca que tiende a concentrar aún más el calor. Se estima que hace 4 000 millones de años el Sol calentaba un 30 por ciento menos que hoy en día, de manera que la temperatura que en la actualidad reciben los polos sería, mas o menos, la que entonces recibía el ecuador. Actualmente, estamos a mitad de camino de la vida solar. Dentro de otros 5 000 millones de años, el Sol aumentará de tal forma su calor que, seguramente, incinerará por completo a la Tierra, y hasta puede llegar a explotar.

-Pueden surgir enfriamientos derivados del viaje de las galaxias a través de nubes de polvo. Éstas bien filtran las radiaciones solares, bien pueden aumentar el hidrógeno molecular de la Tierra, que reaccionaría con la atmósfera superior para producir vapor de agua y nubes que, a su vez, terminarían haciendo descender la temperatura. Estos efectos podrían mantenerse varios miles de años.

-La creación de supernovas (explosión de estrellas de gran tamaño) puede tener como efecto radiaciones adicionales sobre la Tierra. Existen hipótesis en el sentido de que la desaparición de los mamuts y mastodontes haya sido resultado del surgimiento de la supernova Vela (Erickson [1991]).

-El propio efecto de la vida modifica el clima. Ya vimos el ejemplo de las cianobacterias, expulsando oxígeno libre y, con ello, creando una atmósfera venenosa para su propio desarrollo.

–La teoría de la tectónica de las placas señala que la capa externa y rígida de la Tierra (litosfera) está quebrada en una docena de grandes placas. Algunas de éstas contienen continentes, otras sólo cuencas oceánicas. Estas placas “flotan” sobre un fondo más caliente y plástico. Los movimientos en estas placas pueden generar modificaciones físicas fundamentales para la vida (formación de montañas, actividad volcánica, terremotos, etcétera) y, también, cambios climáticos que pueden resultar en glaciaciones en ciertas regiones o sobrecalentamientos en otras. Cerca de media docena de importantes fases de glaciales se han registrado desde hace 2 000 millones de años a la actualidad (Colbert [1980]; Nagy y Nagy, 1980).¹³

–El impacto de cometas, meteoritos o asteroides sobre la superficie de la Tierra ha sido sugerido en varios casos como causa de extinciones. En 1990, por ejemplo, se planteó el origen extraterrestre del cráter de Chicxulub en Yucatán, México. Se trató de un asteroide que ocasionó una explosión equivalente a 5 000 millones de veces la de Hiroshima, dejando la huella en un cráter de 10 kilómetros de largo hace 65 millones de años. El impacto habría generado una nube de lluvia ácida y provocado la extinción masiva de los dinosaurios (Davis, 1996; Benton [1993c]). Pero, estas causas extraterrestres de extinciones masivas deben tomarse con cautela. Existían muchas formas de vida en la Tierra al momento del impacto, no obstante mientras los dinosaurios desaparecieron, los mamíferos pudieron aprovechar la oportunidad para expandirse. Los efectos externos se combinan con condiciones internas para generar una dialéctica que hace difícil determinar una dirección unívoca de los acontecimientos terrestres.

–La Tierra opera como un cuerpo magnético desde su interior. Evidencias geológicas mostraron que el campo geomagnético de la Tierra se invirtió muchas veces. Estas inversiones pueden obedecer a diferentes causas: variaciones en el campo magnético de la galaxia, fuertes terremotos o actividades volcánicas, impacto de cometas y asteroides, etcétera. Su presencia ha coincidido con profundas modificaciones en el clima, ya que el cuerpo magnético es el responsable de lo que se conoce como plasma, que protege a la Tierra frente al viento solar y las radiaciones. Al menor cambio en el campo magnético, los efectos de la radiación solar son inmediatos, con consecuentes cambios climáticos (Nagata [1980]).

A continuación exponemos un cuadro resumen que da cuenta tan solo de las principales extinciones en la historia de la vida.

¹³ Bastaría con una disminución promedio de dos grados centígrados en un hemisferio, para que se diese una glaciación. Los cambios atmosféricos no son las únicas causas de las glaciaciones, pareciera que las últimas fueron resultado de leves modificaciones en la mecánica celeste.

RESUMEN DE LAS PRINCIPALES EXTINCIONES

Era	Periodo	Fecha (millones años)	Características	Grandes extinciones
	Holoceno	0.01...		
	Pleistoceno	1.8-0.01	1ros. Homo sapiens	
	Plioceno	5-1.8	1ros. Homo	
	Mioceno	23-5	1ros. Homínidos	
	Oligoceno	34-23	1ros. simios	
	Eoceno	57-34	1ros. caballos; ballenas; monos; gramíneas y árboles frutales	
	Paleoceno	65-57	Expansión de mamíferos	3a. extinción masiva. Más de 50% de todas las especies. Dinosaurios, pterosaurios y animales terrestres de más de 25 kgs. Reptiles y otros grupos marinos
Cenozoica		(65-...)		
	Cretácico	144-65	1ras. plantas con flor; primates	
	Jurásico	208-144	1ras. aves	
Mesozoica	Triásico	245-208 (245-65)		
	Pérmico	286-245	Formación de depósitos de sal. 1ros. grandes anfibios, reptiles mamíferoides; reptiles de estirpe de aves; dinosaurios	2da. extinción masiva. Más de 50% de todas las especies. 75% flias. anfibios; 75% flias. reptiles; 50% flias. marinas; 95% total de familias
	Carbonífero	360-286	1ros. reptiles; mamíferos; bosques en zonas pantanosas	
	Devónico	408-360	1ros. insectos; peces e invertebrados marinos con coraza; bosques; plantas con semilla	
	Silúrico	438-408	1as. plantas terrestres	
	Ordovícico	505-438	1os. peces sin mandíbula	
	Cámbrico	570-505	1os. crustáceos y corales; plantas y animales con partes duras; algas rojas	
Paleozoica		(570-245)		
		1,700	Eucariotas aeróbicas	
		2,000	Abundancia O ₂ libre	1a. extinción masiva. Crisis de anaerobias
Proterozoica		2,200 (2,500-570)	Profusión procariotas en océanos	
		(3,900-2,500)	Rocas más antiguas. 1as. bacterias anaeróbicas	
Arqueozoica		(4,600-4,000)	Formación de la Tierra. Océanos	

Fuente: Elaborado a partir de Benton [1993a,b,c]; Erickson [1991]; Margulis; Sagan [1995]; Sepkoski Jr. [1993]; Ward [1994].

El cuadro sólo muestra las principales extinciones, y no da cuenta de la forma en que la vida se recuperó, expandió y complejizó con posterioridad a cada extinción. Dos conclusiones deben extraerse: primero que las extinciones han sido una norma en la evolución de la vida. Se estima que más del 99 por ciento de todas las especies que habitaron la Tierra alguna vez ya están extintas. Segundo, que a pesar de las extinciones, la vida se ha recuperado y a ritmos de mayor complejidad. Si este resultado es producto del azar, o de una tendencia intrínseca a la vida misma, es uno de los dilemas en que se debaten las diferentes corrientes dentro de la biología.¹⁴

Conclusiones

Un vistazo del origen y evolución del universo y la Tierra a partir de las concepciones hegemónicas, conduce a reforzar la experiencia cotidiana del ser humano en el sentido de que la materia es finita. Esta idea de la finitud de la materia cobra fuerza en la discusión sobre la actual crisis ambiental. El resultado puede enunciarse en una sentencia: la especie humana como un todo debe administrar los recursos naturales lo mejor posible para garantizar la sobrevivencia de las generaciones venideras. El problema es que no está demostrado que la materia sea finita; pero, mucho menos, que la especie humana se enfrente como un todo a eventuales límites físicos. Tanto la sentencia como sus conclusiones olvidan que la sociedad humana se relaciona con su entorno de manera diferenciada, y no en bloque; que la responsabilidad por la administración de los recursos no recae por igual en todos los sectores o clases sociales; que para la mayoría de la población mundial la crisis ambiental se presenta como una contradicción al interior de la sociedad humana con clases y sectores que no les permiten el acceso a la naturaleza externa. Tanto la idea de límites físicos al desarrollo humano como que éstos sean la causa de la actual crisis ambiental son ampliamente discutibles.

Una segunda implicación de las teorías del Big Bang es su subyacente ideología creacionista. Si antes del Big Bang no había nada, sólo Dios pudo haber creado todo de la nada. Este “descanso” en la creación divina del universo no es una consecuencia necesaria de las teorías del Big Bang, pero puede ser una consecuencia posible. Por su parte, las posiciones neocatastrofistas, que suponen que la dinámica geológica de la Tierra es resultado de impactos externos, involuntariamente pueden apoyar posiciones fatalistas. La crisis ambiental contem-

¹⁴Véase el interesante libro de Francis Por, *Animal Achievement. A Unifying Theory of Zoology*, 1994.

poránea ha revivido formas de pensar místicas, contemplativas, románticas de “vuelta al pasado”, todas expresiones seudoreligiosas que pueden apoyarse en las ideas prevalecientes sobre el origen del universo y la Tierra.

Por el contrario, los avances en el conocimiento sobre el origen de la vida y su evolución muestran el papel activo de la vida en su interrelación con la materia abiótica. Ciertas formas de vida han generado crisis ambientales para otras formas de vida, y luchan por adaptar el medio a sus necesidades. La vida nace de la no vida. La vida es una forma que adquiere la materia, con la característica de producirse a sí misma (autopoyesis). En los márgenes, la diferencia entre vida y no vida es débil, como sucede con los virus, que algunos biólogos clasifican como materia viva y otros no.

El sentido común aún prevaleciente supone que las diversas formas de vida se adaptan a un mundo físico preestablecido. Esto no es así. Por un lado, el mundo físico no está dado, sino que la Tierra es parte de un sistema mayor, el universo, con el cual interactúa. Recibe energía, radiaciones, partículas, e inclusive impactos que culminan en sustanciales modificaciones de su morfología. Tal vez muchos de los movimientos que hoy en día presenciamos, como el movimiento de las placas tectónicas, o la erupción de volcanes, sean resultado de antiguos impactos celestes.

Por otro lado, la vida también modifica el medio abiótico. Cada forma de vida es un complejo que ordena materia a su interior, al tiempo que genera desorden al exterior. En este proceso modifica el medio abiótico a tal extremo que puede resultar en una crisis ambiental para algunas formas de vida. En su conjunto, la vida es la contratendencia más espectacular del proceso de entropía de mas largo alcance y amplitud.

En su desarrollo la vida manifiesta grandes cambios o revoluciones, que se han puesto de manifiesto a través de su capacidad para avanzar sobre nuevos espacios, para metabolizar a partir de diferentes fuentes energéticas, para asociarse o competir por la sobrevivencia, y para desarrollar formas cada vez más complejas.

Las crisis ambientales son normales en la evolución de la vida, siempre que se mire a ésta desde la perspectiva de los 3 900 millones de años de antigüedad. Las causas de las extinciones que siguieron a dichas crisis ambientales no son claras en todos los casos. Generalmente se trató de cambios atmosféricos significativos, provocados tanto por la propia vida, como el caso de las cianobacterias generadoras de oxígeno tóxico para sí mismas, como cambios provocados por impactos externos.

Frente a las extinciones en masa, es notable reconocer que la vida siempre se recuperó en forma creciente, tanto en amplitud territorial y de especies, como en complejidad de organismos más sofisticados con mayor interrelación con el medio.

