



Biósfera

Alberto Morales*

Ángela María Quintero Paniagua**

Édinson Muñoz Ciro***

Síntesis

La **Biósfera**, es decir, el conjunto de la Vida presente en el planeta, está conformada por la totalidad de los seres vivos que pueblan la Tierra en articulación con las condiciones físicas que hacen posible su existencia. Para llegar al estado actual la **Biósfera** lleva más de 4.000 millones de años de evolución.

Para comprender el misterio de la Vida es útil remontar el tiempo hasta la gran explosión inicial que dio origen al universo. Siguiendo el curso evolutivo, la materia y la energía surgidas del Big Bang encontraron en el planeta Tierra unas condiciones específicas y propicias a la emergencia de la Vida. En esta historia universal, el ser humano, favorecido por una conciencia única, es uno de los últimos en aparecer y el primer responsable de la destrucción actual que afecta la **Biósfera** con la cual comparte, necesariamente, el mismo destino.

Palabras clave

Biósfera, atmósfera, la Tierra, cambio climático, calentamiento global, geología, fotosíntesis, energía, materia, evolución, genética, energía solar, astrobiología.

The Biosphere

Abstract

The Biosphere, that is to say the whole of the present Life in the planet, is making up by the totality of the alive beings that populate the Earth in joint with the physical conditions that make possible their existence. To come to the present state, the Biosphere takes more than 4.000 million years of evolution.

To understand the mystery of Life, it is useful to go back the time to the great initial explosion that gave origin to the universe. Following the evolutionary course of the cosmos, the matter and the energy (arisen from the Big Bang) found in the planet Earth a few specific conditions propitious to emergency of Life. In this universal history, the human being favored with an unique conscience, is one of the last ones in appearing, but the first one in charge of the destruction who affects the Biosphere with which he shares the destiny.

Key words

Biosphere, atmosphere, the Earth, climate change, global warming, geology, photosynthesis, energy, matter, evolution, genetics, solar energy, astrobiology.

*Biólogo. Especialista en Medioambiente y Geoinformática.

**Bióloga. Especialista en Medioambiente y Geoinformática. Presidenta Asociación de Biólogos de la Universidad de Antioquia (ASBIUDEA).

*** Biólogo. Magister en Bosques y Conservación Ambiental. Director de la Fundación Con Vida y de la Revista Ambiental ÉOLO.

"Considero que la Tierra es un superorganismo y que su estudio apropiado debería hacerse mediante la fisiología"
(J. Hutton)

"Cada nación debe descubrir el mejor uso de sus recursos para sostener la civilización tanto tiempo como sea posible" (J. Lovelock)

Consideración inicial

La palabra *biósfera* se deriva de los términos "*bios*", que significa Vida, y "*sphaera*", cuya significación es esfera o globo. En tal sentido, la biósfera es la fracción planetaria que ofrece las condiciones que permiten la manifestación plena de la Vida; dada la complejidad de las relaciones e interdependencias, la Biósfera comprende el conjunto de todos los seres vivos existentes y los lugares donde éstos perviven.

Debido a la acción sinérgica de la biota, algunas autoridades científicas plantean que el planeta en su totalidad actúa como un ser vivo en el sentido estricto de la palabra.

Alrededor del planeta, la biósfera está constituida por fases o sustratos interconectados entre sí que, de acuerdo a su posición y densidad, coexisten simultáneamente en estados sólidos, acuosos y gaseosos. La capa más densa o basamento, es la litósfera o "corteza terrestre"; sobre ésta continúa la menos densa, la hidrósfera, conformada por los océanos, ríos, lagos, aguas subterráneas y humedad atmosférica; por encima y en todo el planeta, se encuentra la atmósfera, la capa más volátil y liviana, a diferencia del agua de los océanos que sólo está presente y confinada en áreas determinadas. Esta capa gaseosa es un bien común indivisible y cualquier acción

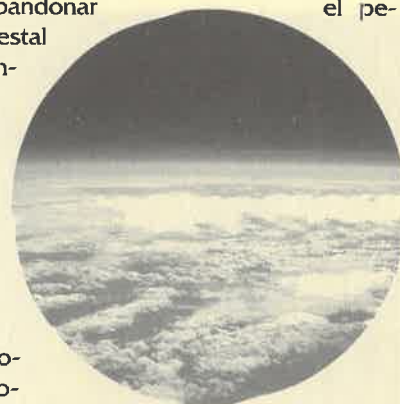
sobre ella tiene repercusiones en todo el orbe; como tal, no tiene fronteras. Desafortunadamente, está sometida a un acelerado proceso de alteración provocado por la acción antrópica. Finalmente, habitando y transformando ese medio vital, están las entre 10 y 100 millones de especies existentes que presumiblemente conforman el conjunto de la actual biodiversidad del planeta, y que, al parecer, corresponde aproximadamente al 1% de las formas de vida que han existido en este mundo.

La Biósfera es la materia viva que en conjunto garantiza la continuidad de la vida en el planeta; se alimenta de la energía solar, de sí misma, del agua y de los minerales de la Tierra, para transformar los átomos y las moléculas existentes en otras nuevas estructuras. Pero, ¿Qué es todo aquello que antecede, fundamenta y soporta la Vida? Para avanzar en la solución a esta pregunta estructural, para comprender la naturaleza de la existencia, presentamos a continuación una breve sinopsis, muy simplificada, sobre el origen del universo.

El origen de la energía y de la materia del Universo

A veces, los autores de las teorías científicas nos muestran un mundo inesperado. El 9 de septiembre de 2010, el astrofísico Stephen Hawkins' afirmó que, al ser el Big-Bang una consecuencia inevitable de las leyes de la física, las teorías científicas vigentes convierten en redundante la figura de un Dios creador. Él señala: «Dado que existe una ley como la gravedad, el Universo pudo crearse a sí mismo (y de hecho lo hizo de la nada). La creación espontánea es la razón de que exista algo, de que exista el Universo, de que nosotros existamos», por tanto, añade que «no es necesario invocar a Dios» para justificar la existencia del cosmos.

En procura de aportar elementos para comprender el enigma del origen de la energía y la materia, retrotraigámonos en el tiempo hasta el siglo XIX cuando el naturalista inglés Charles Darwin publicaba en 1859 "*El origen de las especies*" su obra fundamental, en la que demuestra de manera incontrovertible el ancestro zoológico de los humanos. Gracias a ello, nos correspondió abandonar el pedestal an-



tro-po-centrista en el que nos encontramos, para ponernos donde nos corresponde, en un lugar cercano a las criaturas terrestres con las que estamos hermanados naturalmente por el proceso evolutivo. En virtud de este aporte, hoy está claro que nuestra ascendencia está emparentada con el linaje zoológico de mamíferos primates, en todo el sentido de la palabra, de los que descendemos y evolucionamos. Debido a la nueva visión científica aportada por Darwin y por las personas que han continuado estos trabajos, hoy conocemos que, durante los últimos 3 millones de años, la selección natural nos ha distanciado enormemente de los chimpancés, nuestros parientes evolutivos más cercanos, con quienes compartimos más del 98% de los genes². A pesar de lo distintos que somos, ambas especies compartimos un ancestro común lejano desde hace 5 millones de años, aproximadamente. La evolución que obra sutilmente en el fluir continuo del tiempo hacia el futuro, ha maximizado las diferencias y nos separó en 2 especies totalmente diferentes, especialmente en cuanto a la manera en que utilizamos nuestros cerebros.

Es por esto que, desde hace milenios, los *Homo Sapiens Sapiens* miramos maravillados y calculamos el devenir de las estrellas en el cielo nocturno y el chimpancé, no; nosotros, hilando razonamientos, podemos incluso cambiar en nuestra mente el inexorable sentido de la flecha del tiempo.

De hecho, nuestra imaginación es capaz de mover hacia atrás las agujas del reloj y al retroceder, recrear en nuestras elucubraciones lo sucedido hace años o milenios; podemos, incluso, hacer un viaje alucinante hasta el mismísimo comienzo del universo. Lo más sorprendente y paradójico es que, mientras lo hacemos, todo nuestro cuerpo, incluido el cerebro, continúa su imparable caminar hacia el futuro.

Fue precisamente Charles Darwin quien vislumbró, por primera vez, que todas las criaturas, incluidos humanos, chimpancés, insectos y bacterias, compartimos un antíguísimo antepasado común, probablemente una diminuta célula primitiva que se movía entre las aguas turbulentas de un mar que dejó de existir hace miles de millones de años. Hoy reconocemos que la revolucionaria visión aportada por este científico sobre la naturaleza biológica y humana, es un gran paso en la comprensión de nuestro verdadero origen. Gracias a ello, hoy queremos conocer exactamente cómo evolucionó la materia, es decir, como apareció nuestro universo.

Del Big-Bang al origen del presente

Según las modernas teorías, el universo se originó en una gran explosión creadora (el Big-Bang), ocurrida hace 13.700 millones de años. Debido a las fallas en los modelos cosmológicos que aplican los conocimientos más actuales en Mecánica Cuántica, Relatividad y Teoría de Membranas, los científicos reconocen que aún son incapaces de describir el momento exacto en el que nació el universo.

Aún así, gracias a ellos y aunque parezca increíble, hoy sabemos que a una millonésima de la millonésima de la millonésima de la millonésima de un segundo, es decir, a tan sólo una quintillónésima de segundo después de ocurrida la gran explosión del Big-Bang, el universo tenía el tamaño de un frijol. Cuando el universo contaba ya con una millonésima de segundo, su inimaginable temperatura era posiblemente de varios billones de grados centígrados.

Por fortuna, Einstein, con su famosa ecuación de $E=mc^2$, pudo demostrar que la materia y la energía son básicamente dos aspectos de la misma cosa, ya que, pensándolo bien, la energía es realmente materia ultradiluida, mientras que la materia es energía megacondensada; así que no podía existir materia en las condiciones iniciales de tan alta presión y temperatura inimaginable; sólo había energía en forma de radiación.

Desde este primer momento, la flecha del tiempo ya marcaba en dirección única e inexorable hacia un futuro más extenso y frío. Con tan sólo una billonésima de segundo de existencia, las extraordinarias temperaturas forzaban al universo a expandirse y enfriarse. Al disminuir la temperatura de los fotones de radiación, la energía se convirtió en materia y de un simple fotón surgieron dos partículas opuestas: una de materia, el electrón; y otra de antimateria, su contrapartida, el positrón. En estas condiciones, también nacieron las partículas llamadas quarks que se unieron a su vez para generar protones y neutrones.

Cuando el universo tenía más de 3 minutos de edad, la temperatura había descendido hasta los 900 millones de grados centígrados; los protones y neutrones comenzaron a unirse formando los núcleos atómicos más elementales. Pero, curiosamente, fue tan rápido el ritmo de expansión, que tan sólo dio tiempo para que se conformaran núcleos de hidrógeno y, en menor medida, de helio.



La flecha del tiempo continuó su curso y los fuegos primigenios siguieron perdiendo fuerza.

Cientos de miles de años después del Big-Bang, el universo estaba conformado por radiación, electrones libres y núcleos desnudos de hidrógeno y helio; la temperatura aún era altísima, demasiado para que los núcleos se unieran para formar átomos más grandes y complejos; hasta entonces, había poca variedad de átomos y la tabla periódica de los elementos sólo estaba formada por los átomos mencionados.

Cuando la temperatura bajó de los 3.000 grados centígrados, los núcleos atómicos lograron capturar electrones sueltos y se formaron los primeros átomos completos.

Lo más sorprendente es que el universo en expansión no era uniforme. La materia se acumuló en algunos lugares más que en otros y el exceso, gracias a la gravedad, atrajo y concentró más átomos en muchísimos sitios. En consecuencia, ocurrió la formación de nubes ingentes de hidrógeno que se concentraron y comprimieron más y más a causa de la gravedad. Y como es de esperarse en el centro de cualquier nube de este tipo, la presión y la temperatura se incrementaron de nuevo, hasta que se encendió un horno nuclear. Cuando esto ocurrió ¡Eureka! ¡Nació una estrella! Aquí y allá aparecieron fuegos estelares que, gracias a las fuerzas de la atracción universal, conformaron las innumerables galaxias que estructuran todo el cosmos.

En el centro de las estrellas, la fusión de los núcleos de hidrógeno dio origen al helio. Cuando el hidrógeno se agotaba y la estrella no era lo suficientemente grande para lograr temperaturas muchísimo más altas, los núcleos de helio se fusionaban y creaban núcleos de carbono. Debido a las mismas leyes, el carbono posibilitó la formación de núcleos de oxígeno y nitrógeno; y así, sucesivamente, en el interior de las estrellas se fueron formando núcleos atómicos cada vez más grandes y complejos.

Cuando se detuvieron los procesos de fusión, la estrella perdió su fuente de energía y su centro se colapsó en un cataclismo sin precedentes. Luego, tras la violentísima explosión que, hoy se asocia con el origen de las supernovas, la periferia cargada de núcleos atómicos de todo tipo fue despedida hacia el espacio. Las esquirlas de esta explosión dieron origen a la riqueza de átomos de carbono, oxígeno, hierro, etc., que posteriormente se condensarían para formar planetas como el nuestro.

Para concluir este breve relato, podemos decir que cada átomo, molécula y célula que forman cada parte de nuestro cuerpo y de los organismos de todas las especies de la enorme biodiversidad existente, son energía concentrada proveniente del Big-Bang y expresan la evolución de la materia condensada en las partículas subatómicas. Por lo tanto, es menester afirmar que cada ser vivo es producto de una segunda ola evolutiva, la de la vida, que ha llegado hasta nosotros desde el origen mismo del universo. Aunque no sabemos realmente que vendrá después, todo parece indicar que los seres vivos de este mundo y posiblemente de otros sistemas siderales, somos simplemente una fase más en el largo camino evolutivo de este maravilloso universo.

El año cósmico

Para comprender mejor la biósfera, es necesario entender el rol fundamental del tiempo en la Tierra. Para lograrlo, invitamos al lector a comprimir en un solo año la totalidad del tiempo transcurrido desde el Big-Bang hasta la presencia del ser humano en el planeta. Para ello, tengamos presente que nuestro conocimiento de la historia de la vida es relativamente muy reciente, pues ocupa literalmente los últimos segundos de lo que sería el 31 de diciembre de este año cósmico, cuyos meses representan, en este gigantesco torrente temporal, más de 1000 millones de años cada uno.

Con la madre de todas las explosiones (el Big-Bang), el primero de enero se dio inicio al proceso evolutivo. Hace 4.600 millones de años, hacia el 14 de septiembre del calendario cósmico, pasados 2/3 del año, la Tierra se formó a partir de la condensación de polvo y gas interestelar. Quizás hacia el 25 de septiembre, por lo que nos enseña el registro fósil, cuando nuestro mundo aún era un gigantesco trozo de magma enfriado con un aspecto similar al de nuestra luna actual, se originó la vida, probablemente en los lagos y océanos primitivos. Hacia el primero de diciembre, las plantas ya habían inyectado grandes cantidades de oxígeno y nitrógeno a la atmósfera. Repentinamente, el 15 de diciembre, en la Era Cámbrica, ocurrió una enorme proliferación de nuevas y muy variadas formas de vida.

Hacia el 18 de diciembre, grandes cantidades de trilobites apacentaban en los fondos de los océanos y se encontraban por todas partes criaturas como el calamar con sus fulgurantes pieles multicolores. Los primeros peces, y por ende los primeros invertebrados, aparecen el 19 de diciembre; las plantas colonizan los continentes hacia el 20 de este mes. Los primeros insectos alados, entre ellos las libélulas gigantes, comienzan a revolotear el 22 de diciembre y, en esa misma fecha, surgen los primeros anfibios, criaturas muy semejantes al pez pulmonado, adaptado biológicamente y capaz de sobrevivir tanto en tierra como en agua. Así, llega el momento decisivo en que nuestros antecesores directos inician la salida de los océanos.

Los primeros árboles y reptiles, dos extraordinarios diseños evolutivos, aparecen hacia el 23 de diciembre. Nosotros, los *Homo Sapiens Sapiens* descendemos, sin lugar a dudas, de alguna línea evolutiva de los reptiles. Los dinosaurios llegan la víspera de navidad; se diversifican en muchas clases diferentes, convirtiéndose en los amos, dueños y señores de este planeta por cerca de más de 165 millones de años. Algunos de estos

especímenes se sostienen en dos patas y son medianamente inteligentes. Los mamíferos, unas tímidas criaturas cuyas crías nacen particularmente indefensas, hacen su primera aparición hacia el 26 de diciembre; para sobrevivir, realizan sus actividades de caza y reproducción en horarios nocturnos. Las primeras aves, descendientes directas de los dinosaurios, surgen el 27 de diciembre. En ese periodo, los dinosaurios aún dominan el planeta; pero repentinamente, se extinguen en toda la Tierra a causa de un asteroide de 10 kilómetros de diámetro que se estrelló hace 65 millones de años en la península de Yucatán. La extinción ocasionada es tan grande como las acaecidas en el planeta, varios cientos de millones antes.

Hacia el 30 de diciembre, aparecen las primeras criaturas con aspecto humano, dotadas, proporcionalmente hablando en relación con el peso de sus cuerpos, de un aumento espectacular en el tamaño de sus cerebros. En la noche del último día del último mes de este año cósmico, en términos reales hace pocos millones de años, aparecen los primeros seres verdaderamente humanos. Estos dejan plasmada, para la posteridad, la historia escrita en los últimos 10 segundos del año cósmico.

Hoy sabemos lo suficiente sobre el significado de la escala del tiempo en la evolución de la vida en nuestro planeta y lo ocurrido en la Tierra puede ser más o menos típico de la evolución previsible de la vida en los exoplanetas de muchos otros sistemas siderales. Aún así, los detalles de la historia de la vida en la Tierra podrían ser únicos en toda la Vía Láctea.

Condiciones primigenias de la vida en la Tierra

Al parecer, el *modus operandi* de la evolución de la vida corresponde a la interacción entre el tiempo de vida y la muerte de los individuos de cada especie, ya que aquel favorece la lenta acumulación de mutaciones favorables y la muerte, como es apenas lógico, debe ocurrir para dejar lugar a las nuevas formas de vida que con sus noveles arreglos de genes imprimirán una mayor complejidad a la biósfera.

De lo que se sabe hasta el presente, se concluye que los primeros seres vivos, como era de esperarse, no eran tan complejos y voluminosos como los actuales organismos unicelulares. De estos últimos se sabe que, de hecho, corresponden a unas formas de vida muy sofisticadas. Definitivamente, los primeros diseños de vida fueron más simples y prácticamente hoy estamos conscientes de que si pudiésemos regresar en el tiempo para poder estudiar estos esbozos, lo primero que tendríamos que utilizar serían microscopios electrónicos.

En los tiempos primigenios, los rayos ultravioleta procedentes de nuestra estrella rompían las moléculas sencillas ricas en hidrógeno que existían en la hidrósfera y atmósfera primitiva; luego, los fragmentos de las moléculas se recombinaban espontáneamente, haciéndose cada vez más complejas.

Los productos de esta química primitiva se disolvieron en los océanos, el resultado fue la conformación de un caldo orgánico de una complejidad gradualmente creciente, hasta que un día, accidentalmente y de manera totalmente espontánea, surgió una molécula con la capacidad de hacer copias de sí misma utilizando las otras moléculas que la circundaban en aquel caldo primitivo. Esta molécula, la primera antecesora de la vida, constituye el ancestro del DNA que actualmente poseemos todos los seres vivos de este planeta en el interior de nuestras células. El DNA está

formado por cuatro piezas moleculares o letras del código genético del lenguaje de la herencia, denominadas nucleótidos: Adenina, Citosina, Guanina y Timina.

Los nucleótidos conforman, de acuerdo a su ubicación relativa, la estructura fundamental de la escalera ultramicroscópica en espiral que configura la molécula del DNA. Éste codifica instrucciones diferentes para generar organismos heterogéneos. El cambio de un nucleótido provoca un error en las instrucciones genéticas y genera una mutación, en su mayoría dañina y eventualmente desventajosa para la siguiente generación. Sin embargo, en algunas ocasiones, las mutaciones mejoran accidental y sustancialmente las instrucciones originales de los organismos que las portan, contribuyendo así a la evolución de la vida.

Hace 4.000 millones de años cuando surgieron, los antecesores del DNA competían por las moléculas que encontraban a su alrededor, dejando así burdas copias de sí mismas. No existían los depredadores y la materia de la vida estaba en todas partes, de forma que los lagos y océanos primitivos que llenaban los cráteres de esa tierra primigenia, eran un verdadero paraíso para las moléculas. La evolución de las moléculas activas estaba en pleno desarrollo gracias a la sinergia que potenciaba la replicación, el azar de las mutaciones y la selección natural. Las variedades moleculares con funciones similares terminaron asociándose para formar un conjunto armónico que hoy podemos reconocer como la primera forma de vida en el planeta.

Este caldo orgánico primitivo lograba alimentarse por sí mismo. Sin embargo, las plantas ya habían evolucionado para entonces y eran capaces de formar sus propios bloques constitutivos a partir de los productos del proceso fotosintético generado por la clorofila y de su capacidad de atrapar y derivar la energía de la luz solar en insumos para la continuidad de la vida vegetal. Gracias al enorme éxito de este proceso, rápidamente las aguas y las tierras húmedas se tiñeron de verde.

Posteriormente, varias plantas unicelulares se unieron hasta formar los primeros organismos multicelulares.

El proceso evolutivo fue igualmente potenciado por la invención de la reproducción sexual, descubierta por los microbios, que corresponde a la función que posibilita a los organismos el intercambio de trozos de genes. Gracias a ello, podemos afirmar categóricamente que el oxígeno y el color azul rey del firmamento son obra de la vida, dando así crédito a Ernesto Cardenal, el gran poeta nicaragüense, que se refiere a la magnificencia de la vida cuando afirma en su Canto cósmico que, mientras "el mar se hacía verde, el cielo se hacía azul".

En síntesis, sabemos, casi con certeza absoluta y basados en la evidencia de los fósiles encontrados hasta hoy, que la vida apareció poco después de la formación de la tierra y que lo transcurrido en nuestro planeta puede perfectamente corresponder a un proceso inevitable que hace necesario preguntar ¿Por qué no habría de ocurrir también en los innumerables exoplanetas similares a la tierra existentes en todo el cosmos?

Lo más sorprendente (y necesario resaltar) es que durante casi 4.000 millones de años, la vida no avanzó más allá de simples organismos unicelulares. De hecho, la vida unicelular permaneció tal cual por cerca de varios miles de millones de años confinada en los mares, protegiéndose de la radiación ultravioleta, de manera que, según algunos expertos en el campo de la evolución, el surgimiento de formas de vida más complejas es aún más difícil de lograr y explicar que el propio origen de la vida. Si esto es cierto, los planetas de nuestra galaxia podrían estar llenos de microorganismos, pero sería raro que existieran en ellos grandes animales, plantas o seres inteligentes.

Evolución de la Biósfera

Cuando Charles Darwin, a mediados del siglo XIX, dio a conocer su teoría sobre la evolución de las especies, posiblemente pensaba en ello como un mecanismo diferenciador exclusivo de los seres vivos. Hoy, la comunidad científica está convencida de que ese concepto evolutivo útil para explicar la vida es perfectamente válido para entender también la materia inanimada.

Hoy, sabemos que la materia es miles de millones de años mucho más antigua que la vida; ya existía antes de que se formaran el Sol y la Tierra. En el interior de las estrellas calientes, se sintetizaban átomos que luego eran regresados al espacio cuando las estrellas estallaban. De este detrito estelar surgieron nuevos planetas. La tierra y todos los seres que en ella habitan están formados de materia estelar. ¡Y sorpréndanse! hoy sabemos con certeza que todos los átomos de calcio que componen sus huesos, todos los átomos de fósforo que se encuentran en su cerebro, al igual que los átomos de hierro que existen en las moléculas de hemoglobina que fluyen por su sangre, se forjaron en los fuegos nucleares de dichas estrellas.

Empero, y desde nuestra perspectiva humana, ha sido muy lenta la evolución de la vida desde las moléculas de los océanos primigenios hasta las bacterias y mamíferos. La razón es que la evolución actúa muy paulatinamente y tarda muchísimo tiempo. Lo más sorprendente es que criaturas como nosotros, que apenas viven en promedio poco más de 70 años, puedan conocer acontecimientos que tardan 100 millones de años o incluso miles de millones de años en desarrollarse. Si pensamos detenidamente en la diminuta célula ancestral, madre de todos los seres vivos actuales, ésta debió ser, básicamente, una bolsa membranosa que contenía en su interior una compleja variedad de moléculas químicas de agua, proteínas, aminoácidos y lípidos, cada una de ellas ensamblada por átomos de una

manera precisa. Ello induce en nuestras mentes un interrogante inquietante: ¿Acaso las moléculas también evolucionan?

Para responderlo, es necesario reconocer algo ampliamente conocido: las reacciones químicas son una respuesta consecuente con las condiciones circundantes, es decir, si la temperatura, la presión y la disponibilidad de reactivos en un momento dado son



las adecuadas, los átomos se unen de maneras muy concretas; al cambiar las condiciones, se forman, en consecuencia, otros compuestos.

Volviendo al pasado, hace 4.600 millones de años, la Tierra era una esfera de magma incandescente y su exceso de energía lógicamente impedía la formación de largas moléculas orgánicas, ya que éstas son muy sensibles a las altas temperaturas. En las condiciones infernales de aquella época, es lógico esperar que tan sólo pudieran formarse y sobrevivir moléculas muy simples de muy pocos átomos. Con el paso del tiempo, la superficie terrestre se fue enfriando lentamente, el clima se hizo más templado, las nubes comenzaron a soltar una fina lluvia y el agua líquida con la inexorable acción de la gravedad fue llenando las zonas más bajas de la superficie del planeta, formando los primeros océanos. Estas nuevas condiciones fueron ideales para la formación de una infinidad de nuevas moléculas. Los átomos, especialmente los del carbono, se unieron unos a otros, crearon cadenas químicas más largas que, a su vez, se unían entre sí, hasta crear moléculas más complejas. La flecha del tiempo se movió a favor de los nue-

vos productos, éstos se diversificaron y ocuparon prácticamente cada nicho del mar primigenio.

Y fue precisamente en algún momento de esa evolución química, cuando un grupo de moléculas complejas se asoció en una organización superior de la que nació la vida, un fenómeno quizás único en nuestra galaxia. En relación a ello nos encontramos con la pregunta: ¿Si las moléculas evolucionan, les ocurriría lo mismo a los átomos que las conforman?

Actualmente conocemos más de un centenar de átomos diferentes. Todos ellos comparten una estructura semejante conformada por un diminuto núcleo de protones y neutrones, rodeado por una sutil nube de electrones; el átomo más elemental es una forma de hidrógeno con un solo electrón que orbita alrededor de un protón. Frente a éste, tenemos el bismuto, el átomo más complejo y de reciente creación humana, que tiene un núcleo con 225 protones y 418 neutrones. Así vemos cómo la naturaleza nos ofrece la percepción del paso de lo simple a lo complejo. Para continuar en la comprensión del proceso evolutivo, tenemos que ser muy osados con nuestra imaginación y viajar hasta el origen de nuestro Planeta.

la roca y formó un núcleo metálico incandescente, a quien debemos hoy el campo magnético.

Durante este proceso de aglomeración, la materia sólida de la Tierra atrajo en su interior una serie de materiales gaseosos y los retuvo en los campos que quedaban entre las partículas sólidas. Estos gases iniciales contenían seguramente átomos de helio, neón y argón que no se combinaron con ningún otro elemento, también contenían átomos de hidrógeno que se combinaron entre sí por pares para formar moléculas de hidrógeno (H_2), con oxígeno para formar agua (H_2O), con nitrógeno para formar amoníaco (NH_3) o con carbono para formar metano (CH_4).

A medida que el material de este planeta en ciernes se acumulaba, el efecto de la presión y la acción volcánica, aún más violento, fue expulsando los gases. Las moléculas de hidrógeno y los átomos de helio y neón, al ser demasiado ligeros para ser retenidos, escaparon rápidamente, a diferencia de lo que ocurrió en la atmósfera de algunos planetas como Júpiter y Saturno, lo suficientemente grandes para retener hidrógeno, helio y neón. La atmósfera de la Tierra quedó constituida por lo que quedaba: vapor de agua, amoníaco, metano y algo de argón. La mayor parte del vapor de agua, pero no todo, se condensó y formó los océanos.

Por su parte, la atmósfera de los planetas interiores del Sistema Solar comenzó a evolucionar químicamente. Los rayos ultravioletas del cercano Sol rompieron las moléculas de vapor de agua, convirtiéndolas en hidrógeno y oxígeno. El hidrógeno escapó, pero el oxígeno se acumuló y se combinó con amoníaco y metano. Con el primero, formó nitrógeno y agua; con el segundo, anhídrido carbónico y agua. Poco a poco, la atmósfera de los planetas interiores pasó de ser una mezcla de amoníaco y metano a una mezcla de nitrógeno y anhídrido carbónico, como la que tienen actualmente Marte

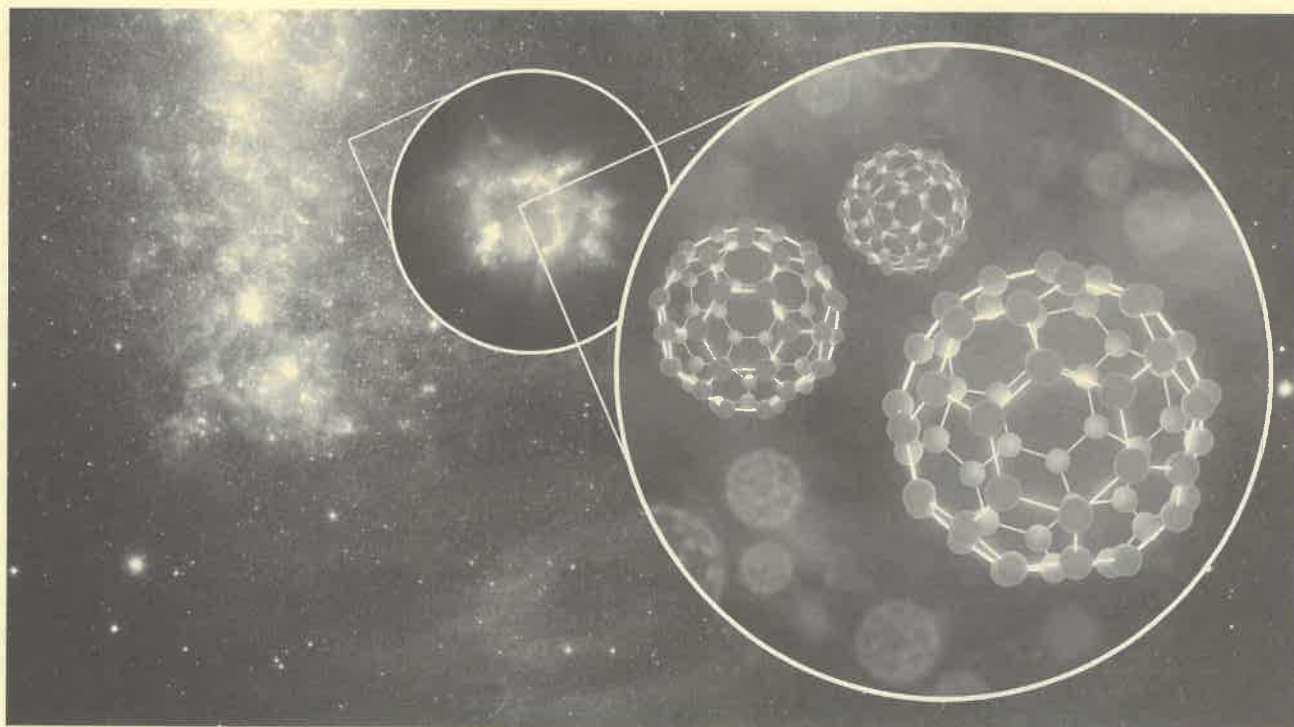


Las tres generaciones de la Materia (Fermiones)

	I	II	III	
masa →	1 MeV	1.24 GeV	172.5 GeV	0
carga →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nombre →	u up	c charm	t top	Y photon
Quarks	5 MeV	95 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluon
Leptones	<2 eV	<0.19 MeV	<18.2 MeV	90.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z ⁰ fuerza débil
Bosons (Fuerzas)	0.511 MeV	106 MeV	1.78 GeV	60.4 GeV
	-1	-1	-1	+1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e electron	μ muon	T tau	W ⁺ fuerza débil

Evolución de la atmósfera

Hace 4.600 millones de años, cuando la Tierra estaba en plena formación experimentó un proceso denominado acrecencia, en el cual miles de millones de trozos de materia interestelar flotante alrededor del Sol chocaron entre sí, generando altísimas temperaturas que finalmente culminaron en una mezcla rocosa de silicatos y sulfuros de magnesio, hierro y aluminio, cuyas moléculas se mantenían firmemente unidas por fuerzas químicas. Naturalmente, y por causa de la gravedad, el exceso de hierro fue hundiéndose lentamente a través de



y Venus, y que tuvo probablemente la Tierra hace miles de millones de años, cuando empezó a surgir la vida.

Esa atmósfera era estable y una vez formada, la ulterior acción de los rayos ultravioletas sobre el vapor de agua hizo que se acumulara oxígeno libre en moléculas formadas por dos átomos de oxígeno (O_2); una acción ultravioleta aún más intensa transformó ese oxígeno en ozono (O_3) que absorbe la radiación ultravioleta y actúa como una barrera. La radiación ultravioleta que logra atravesar la capa de ozono en la alta atmósfera y romper las moléculas de agua en la parte baja, era muy escasa, con lo cual se estabilizó la evolución química de la atmósfera... al menos hasta que apareciera algo nuevo.

Pues bien, de hecho apareció algo nuevo en la Tierra. Se desarrolló un grupo de formas de vida capaz de utilizar la luz visible para romper las moléculas de agua. Como la capa de ozono no intercepta la luz visible, ese proceso (la fotosíntesis) pudo proseguir indefinidamente. A través de la fotosíntesis, se consume anhídrido carbónico y se libera oxígeno. Así, pues, hace aproxi-

madamente 2.500 millones de años, la atmósfera empezó a convertirse en una mezcla de nitrógeno y oxígeno, que es la que predomina hoy.

Una mirada al cosmos desde la Astrobiología

Para complementar la respuesta a la pregunta sobre el origen y la evolución de la biósfera, es necesario allegar más aportes de la Astrobiología, la disciplina científica que nace cuando la humanidad intenta dar respuesta a algunos de los enigmas que más le han intrigado, tales como ¿Qué es la vida? ¿Cómo surgió la vida en la Tierra? ¿Cómo logra evolucionar y desarrollarse? ¿Hay vida en otros lugares del Universo? ¿Cuál es el futuro de la vida en la Tierra y en otros lugares? Interrogantes que, resueltos, nos permitirían conocer a ciencia cierta la probabilidad de encontrar vida, tal como la conocemos actualmente en nuestro planeta, en otros sistemas siderales del Universo. Otro de los objetivos que la Astrobiología comparte con todas las

ciencias, es el de perfilar predicciones. Por eso, otro de sus objetivos es determinar el potencial que tiene la vida para adaptarse a nuevos desafíos; por ejemplo, el de los cambios climáticos globales que experimenta nuestro planeta Tierra en las actuales condiciones ambientales, o los derivados de la probable colonización de ambientes extraterrestres.

Los últimos acontecimientos científicos sobre la detección de planetas extrasolares ubicados en sistemas siderales similares a nuestro sistema solar, están revolucionando profundamente nuestro conocimiento sobre el origen y la evolución futura de nuestra biósfera, ya que la tierra como todos los demás planetas del sistema solar (y según el conocimiento actual, también los extrasolares), evidencia múltiples interacciones entre sus subsistemas físico-químicos como la atmósfera, la hidrósfera, la litósfera y la biósfera, que en última instancia nos dan la clave para comprender mejor la dinámica y el verdadero papel de los seres vivos en la conservación de la Vida misma.



Desde esta perspectiva, en el año 2007, un equipo de científicos liderados por el Astrónomo Suizo Stephane Udry del Observatorio de La Silla, ubicado en Chile, y que pertenece al European Southern Observatory, hizo un notable descubrimiento. Usando un telescopio de 3,6 metros conectado a un espectrógrafo, el grupo logró, después de una búsqueda de 11 años, encontrar el primer planeta extrasolar similar a la Tierra. Fue bautizado con el nombre de Gliese 581c y sus características físicas se pueden resumir así: está situado a una distancia de 20,5 años luz, a unos 200 billones de kilómetros de la Tierra, hace parte de un grupo de 6 planetas que giran alrededor de una estrella clasificada como una enana roja, posee una masa 5 veces superior a la masa de la Tierra, con un diámetro ecuatorial 1,5 veces mayor que el que exhibe nuestro planeta y un período orbital («año sideral») de 13 días terrestres, es decir, el tiempo que tarda en dar una vuelta completa alrededor de su estrella. Dicho planeta extrasolar orbita alrededor de su estrella a 11 millones de km aproximadamente, relativamente cerca, lo que representa apenas un 7% del radio orbital de la Tierra que dista 150 millones de km del Sol; aunque dicha distancia orbital es muy inferior a la terrestre, es compensada por la baja luminosidad que tiene la estrella de este sistema, la cual ilumina al planeta Gliese 581 c apenas con el 1,3% de la luminosidad que exhibe el Sol frente a nuestra Tierra.

Por último, las posibilidades de que Gliese 581 c pueda albergar algún tipo de vida son realmente muy altas, ya que, como pudimos apreciar en sus características físicas básicas, este exoplaneta se ubica dentro de lo que los Astrobiólogos denominan "Zona de Vida" o zona habitable, donde el agua es líquida, un ingrediente necesario para la vida tal como se conoce. En síntesis, éste es el planeta más parecido a la Tierra encontrado hasta la fecha y, como resaltamos, se encuentra a una distancia tan adecuada de su estrella como para que pueda

existir agua líquida en su superficie. Muchos científicos están convencidos de que este exoplaneta podría albergar grandes océanos de agua como la Tierra, pues además de ser un planeta rocoso, la temperatura promedio de Gliese 581 c se estima entre 0 y 40 grados centígrados, y esto lo hace un candidato ideal para albergar algún tipo de vida similar a la que conocemos en nuestro planeta. Este planeta extrasolar ha generado tanto entusiasmo en la comunidad científica mundial que, en octubre del año 2008, un grupo de científicos ucranianos envió un conjunto de mensajes radiales que contenían 501 gráficos, pinturas y documentos con la remota esperanza de recibir a futuro alguna respuesta, si es que existe algún tipo de vida inteligente allí; por lo pronto, se espera que estas señales lleguen al planeta Gliese 581c en el año 2030.

Organismos extremófilos

Durante mucho tiempo se pensó que los márgenes ambientales que definían la posibilidad de vida en nuestra biósfera eran muy estrechos. Sin embargo, el descubrimiento de formas de vida que sobreviven en condiciones extremas en la Tierra ha ampliado enormemente las perspectivas de encontrar vida en otros planetas aparentemente muy hostiles, al tiempo que es muy probable que nuestra Biósfera Terrestre sólo sea una extensión más de la Biósfera que se extiende a lo largo y ancho del Universo.

Actualmente, las únicas condiciones que se consideran indispensables para la existencia y mantenimiento de la vida son: el acceso a una fuente de energía, la posibilidad de ensamblar moléculas complejas a partir de monómeros simples y la existencia de agua líquida como medio en el que las reacciones químicas propias del metabolismo puedan tener lugar. Incluso, se cree que no es necesario encontrar grandes ríos u océanos para considerar a un planeta habitable. En la propia

Tierra se han encontrado microorganismos con la capacidad de subsistir en condiciones de sequedad extrema, como las que tienen lugar en el desierto de Atacama o en las llanuras de la Antártida; igualmente, se identificaron bacterias que viven en la proximidad de las fuentes termales subterráneas de agua muy caliente en el Parque Nacional de Yellowstone y que pueden realizar perfectamente todo su metabolismo a temperaturas entre 120 y 130 grados centígrados, teniendo la capacidad de adoptar estados latentes que sólo se activan cuando las condiciones de temperatura sean más favorables. La vida, indudablemente, logra adaptarse a condiciones extremas; de allí nace el nombre "extremófilos", es decir, organismos que pueden vivir en ambientes realmente hostiles. Por tal motivo, los mecanismos de resistencia estudiados en la biósfera de la Tierra podrían ser muy comunes en el espacio exterior.

El delicado estado de la Biósfera

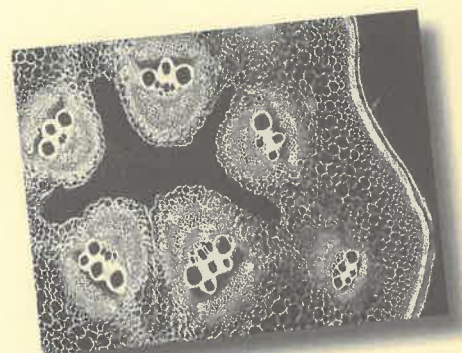
En las muy preocupantes circunstancias actuales, que expresan las consecuencias de siglos de alteraciones drásticas de los ecosistemas, todos los componentes de la biósfera están sometidos a fuertes y variadas presiones que finalmente se concretan con la contaminación en todos los ámbitos, la extinción de especies y la homogenización de la biodiversidad en todas las escalas, desde el nivel molecular, hasta el de los grandes biomas, incluidas las comunidades biológicas. La destrucción de la capa de ozono en el Antártico, por ejemplo, es el producto de las enormes emisiones de CFC o Clorofluocarbonados, más conocidos como "emisiones de lujo" del estilo de vida de los países más industrializados del orbe. La pérdida de la biodiversidad causada por la radiación ultravioleta que penetra libremente en el Antártico es magnificada por grandes problemas que afectan al planeta

entero, como el calentamiento global ocasionado por la deforestación a gran escala, la quema de enormes extensiones de bosque y las emisiones de gases de efecto invernadero, cuyo principal componente es el dióxido de carbono; resultados de una despiadada economía basada en un consumo desmedido e irracional de recursos por parte de las industrias, el parque automotor y la agroindustria.

Así, y casi sin darnos cuenta, estamos trastornado el equilibrio climático y la diversidad biológica que ha permitido nuestro proceso de desarrollo desde hace 12.000 años. De continuar esta tendencia, como es lo más plausible, debemos esperar todavía lo peor. En efecto, en Siberia como en otros lugares húmedos del planeta donde el frío se hace muy intenso, los suelos congelados permanentemente forman el "permafrost", bajo cuya superficie se almacena una auténtica bomba climática: el metano. Este es un gas de efecto invernadero 20 veces más potente que el dióxido de carbono (CO_2). Si por causa directa del calentamiento global este permafrost se fundiera, el escape del metano magnificaría el efecto invernadero y provocaría el consecuente deshielo global mucho antes de lo previsto hasta ahora.

En las últimas 5 décadas, la alteración de la biósfera se ha incrementado de manera exponencial, a tal punto que diversos autores plantean que estamos inmersos en un proceso de megaxtinción de la biodiversidad, sólo comparable en magnitud y extensión, con lo acaecido hace 65 millones de años, cuando ocurrió la extinción de los dinosaurios. Esta pérdida irreversible de la diversidad biológica afecta a todas las sociedades y tiene consecuencias imprevisibles para todos los que hacemos parte de la biósfera.

Es catastrófico que estemos destruyendo en unas muy pocas generaciones humanas, especialmente en la actual, el componente biosférico del planeta, el sustrato vital de los ecosistemas, el hábito y origen de la conciencia, que ha tardado más de 4 mil millones de años para formarse en la





Tierra. ¿Acaso será probable que nos encontremos en un punto de no retorno? Eso no lo sabemos a ciencia cierta, pero tenemos la certeza de que es absolutamente necesario conocer la evolución química, biológica y cognitiva de la Vida para comprender la magnitud del daño que hemos realizado y para movilizar la inmensa capacidad creativa de la humanidad hacia el desarrollo de las urgentes soluciones que requerimos para armonizarnos con el superorganismo Tierra y continuar, en simbiosis con la biósfera, nuestro viaje cósmico por la infinitud del universo.

² THE CHIMPANZEE SEQUENCING AND ANALYSIS CONSORTIUM *Initial sequence of the chimpanzee genome and comparison with the human genome* En: Revista Nature, Vol. 437, 1 de Septiembre de 2005 [en línea] <http://www.genome.gov/Pages/Research/DIR/Chimp_Analysis.pdf>

Bibliografía

- GARCÍA CRUZ, Cándido. *La "teoría de la Tierra" (1785, 1788) de James Hutton: visión cíclica de un mundo cambiante* [en línea] <<http://www.raco.cat/index.php/ect/article/viewFile/88982/133248>>
- HAWKING, Stephen & MLODINOW, Leonard. *El gran diseño: El misterio del Ser*. [en línea] <http://www.elpais.com/elpaismedia/ultimahora/media/201011/08/cultura/20101108elpepucul_1_pes_.pdf>
- LOVELOCK James. *Las edades de Gaia. Una biografía de nuestro planeta vivo*. (s.d). 1995.
- NASA, ASTROBIOLOGY. *Life in the Universe*. [en línea] <<http://astrobiology.nasa.gov/about-astrobiology/>>
- SAGAN, Carl. *Cosmos: En la orilla del Océano Cósmico*. (s.d.). 1980
- THE CHIMPANZEE SEQUENCING AND ANALYSIS CONSORTIUM *Initial sequence of the chimpanzee genome and comparison with the human genome* En: Revista Nature, Vol. 437, 1 de Septiembre de 2005 [en línea] <http://www.genome.gov/Pages/Research/DIR/Chimp_Analysis.pdf>

Notas

- ¹ Este reconocido autor británico escribió el libro “Una Breve Historia del Tiempo”. Lo señalado corresponde a su nuevo libro “The Grand Design” (El Gran Diseño) escrito con el físico y matemático estadounidense Leonard Mlodinow.

APLICACIONES



© 2007 Europa Te
Image © 2007 DI

