

## Microcosmos (Resumen)

Lynn Margulis

### A partir del Cosmos

Todo empezó en el Gran Cosmos, no se sabe en realidad que tan verídica es la hipótesis del Big Ban, pero si se sabe con certeza que las estrellas se dividen a una velocidad vertiginosa para formar nuevas estrellas, así que si consideramos mentalmente éste fenómeno se llega al Big Ban.

Durante el primer millón de años de expansión después del Big Bang, el universo se enfrió desde una temperatura de 100 000 millones de grados Kelvin hasta unos 3000 grados Kelvin, temperatura a la cual un electrón y un protón pudieron unirse para crear hidrógeno, el elemento más sencillo y abundante en el universo, el hidrógeno se aglomeró en supernovas, se formaron grandes nubes durante miles de millones de años, comprimiéndose desde densidades cósmicas a submicrocósmicas. Los núcleos de las supernovas llegaron a calentarse tanto que desencadenaron reacciones termonucleares creando a partir del hidrógeno y algunas otras partículas subatómicas todos los demás elementos más pesados que conocemos hoy en día. Estos nuevos elementos se extendieron por el espacio en forma de polvo y gas que componen las nebulosas galácticas, nacieron más estrellas algunas con planetas que giraban a su alrededor, al atraerse, unas a otras partículas de polvo y gas, cayendo y concentrándose hasta que se originaron reacciones nucleares. Ya habían transcurrido de cinco a quince mil millones de años durante los cuales se habían ido formando las estrellas del universo por fenómenos de agregación. En la nube de gases destinada a formar la tierra había hidrógeno, helio carbono, nitrógeno, oxígeno, hierro, aluminio, oro, uranio, azufre, fósforo y silicio. Los demás planetas de nuestro sistema solar empezaron también como agregados de partículas de polvo y gas. Pero todo este conjunto se habría enfriado y flotando sin sentido de no haber sido por la enorme estrella que se formó en el centro de la nebulosa.

En aquel momento hace aproximadamente 4600 millones de años, la masa de la tierra ya estaba en condiciones adecuadas para la aparición de la vida, estaba cerca del sol como fuente de energía, la distancia era adecuada, no tan próxima como para que sus elementos hubieran sido evaporados en forma de gases o licuado como roca fundida, ni tan lejos como para que sus gases se congelaran y se encontrasen en forma de hielo. La tierra tiene agua en forma líquida. El tamaño de la Tierra era lo suficientemente grande para retener una atmósfera que facilitara el ciclo fluido de elementos pero sin que su gravedad retuviera una atmósfera demasiado densa, que no permitiera el paso de la luz solar.

Cuando el Sol inició su incandescencia, una oleada explosiva de radiación se extendió por el naciente sistema solar agitando las atmósferas primitivas de la tierra y los demás planetas intermedios. Provocando que el hidrógeno flotara hacia el espacio o se combinara con otros elementos formando los ingredientes para la receta de la vida.

Del hidrógeno que quedó una parte se combinó con carbono para formar metano (CH<sub>4</sub>), otra con el oxígeno para formar agua (H<sub>2</sub>O), otra con nitrógeno para formar amoníaco (NH<sub>3</sub>) y una última

con azufre para formar sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S). Estos gases, reorganizados y recombinados en compuestos de largas cadenas, forman prácticamente todos los componentes de nuestros organismos.

En ese entonces entre 4500 y 3900 millones de años atrás, en la Tierra no existía suelo sólido, ni océanos, ni lagos. El planeta era una bola ardiente de lava líquida, que ardía por el calor desprendido de la desintegración de su núcleo. El agua que salía del interior del planeta que nunca caía en la superficie en forma de lluvia, permanecía en la parte de la atmósfera como vapor de agua incapaz de condensarse. La atmósfera era espesa, con gran cantidad de gases venenosos.

Hace unos 3900 millones de años la superficie de la Tierra ya debía de haberse enfriado lo suficiente como para formar una fina corteza sobre el manto aún fundido por debajo de ella. Esta corteza fue perforada desde el interior y recibió impactos en su parte externa. Los volcanes aparecieron por grietas y hendiduras, expulsando con violencia su lava fundida. Los meteoritos — algunos tan enormes como montañas y con mayor poder de explosión que las cabezas nucleares de las dos superpotencias actuales juntas— se estrellaban violentamente contra la caótica superficie del planeta, en la que formaban cráteres de los que se desprendían columnas de polvo ricas en materiales extraterrestres. Las oscuras nubes de polvo, arrastradas por violentos vientos, giraron vertiginosamente alrededor del globo durante meses antes de depositarse en la superficie. Mientras tanto, una enorme actividad de fricción era la causa de tormentas con gran aparato eléctrico que se extendían por todas partes.

El calor y la radiactividad, que aún bullían en el centro de la Tierra, enviaban lava incandescente a través de grietas en la corteza recién enfriada. Gran parte de esa lava contenía hierro magnético fundido cuyas moléculas se orientaron hacia el polo magnético terrestre a medida que se iba solidificando en forma de rocas.

La Tierra permanecía cubierta por una oscura niebla de gases de carbono y de humos sulfurosos. El planeta era bombardeado por una lluvia de cometas helados y de meteoritos carbonados que, atravesando la atmósfera, caían sobre la superficie inestable y acababan por romper la corteza terrestre. Agua y carbono llegaron del espacio en cantidad suficiente para añadirse a las propias reservas terrestres de lo que más tarde sería la materia prima de la vida.

Al continuar enfriándose la superficie de la Tierra, las nubes de vapor que llenaban la atmósfera pudieron, por fin, condensarse. Lluvias torrenciales debieron de caer sin cesar durante un centenar de años y crearon océanos calientes y poco profundos. Los bordes sumergidos de las plataformas, ricos en productos químicos y energía, expulsaban a los mares, sin parar, gases ricos en hidrógeno. El agua que entraba en contacto con la lava incandescente en las grietas y volcanes se evaporaba y luego se condensaba y caía de nuevo en forma de lluvia. Las aguas empezaron a erosionar el paisaje rocoso, suavizando las cicatrices y heridas que las constantes erupciones de los volcanes y el poderoso impacto de los meteoritos causaban en la superficie de la Tierra. También actuaban sobre las montañas, a medida que éstas se formaban, arrastrando minerales y sales hacia los océanos y lagos. Mientras, la actividad tectónica liberaba gases atrapados en el interior de la Tierra para formar una nueva atmósfera de vapor de agua, nitrógeno, argón, neón, y dióxido de carbono. Por aquel entonces, gran cantidad de amoníaco, metano y otros gases ricos en hidrógeno de la atmósfera primitiva se habían perdido en el espacio. Se producían tormentas eléctricas y el Sol seguía enviando calor y luz ultravioleta a la atmósfera de la Tierra, que iba

haciéndose más gruesa, al tiempo que el planeta giraba a gran velocidad en ciclos de días y noches de cinco horas cada uno. La Luna se había condensado también en la nebulosa solar.

Nuestro natural y fiel satélite, bastante grande para un insignificante planeta interior como la Tierra, actuó de manera rítmica, desde el principio, sobre las masas de agua, originando las mareas.

Así era el periodo Eón Arqueense, que va desde hace 3900 millones de años hasta hace 2500.

## **La Animación de la Materia**

En su estado excitado en las condiciones de calor, humedad y fusión del Arqueense, los átomos de carbono se combinaron rápidamente con hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, fósforo y azufre para generar una enorme variedad de sustancias. Esta colección de moléculas que contienen carbono ha continuado, y continúa, existiendo, interaccionando entre sí, y evolucionando. Estos seis elementos son actualmente el común denominador químico de toda forma de vida y constituyen el 99 por ciento del peso seco de todo ser vivo. Además, el tanto por ciento de cada uno de dichos elementos, la proporción de aminoácidos y componentes genéticos, así como la distribución de las proteínas largas y de las macromoléculas de DNA en las células, son semejantes en toda forma de vida, desde las bacterias hasta el cuerpo humano. De la misma manera que el reconocimiento que Darwin hacía de las semejanzas esenciales entre monos y seres humanos, estas semejanzas químicas indican la existencia de un antepasado común para toda forma de vida e indican, asimismo, las condiciones que debieron darse en la Tierra primitiva cuando había poca diferencia, desde el punto de vista químico, entre las células vivas y el medio ambiente inmediato a ellas.

Los estanques, lagos y mares superficiales y cálidos de la Tierra primitiva, expuestos como estaban a ciclos de calor y frío, de luz ultravioleta y oscuridad, de evaporación y lluvia, albergaban sus ingredientes químicos a lo largo de una sucesión de estados de energía. Se formaban combinaciones de moléculas que se rompían y volvían a formar de nuevo, siendo la entrada constante de energía procedente del sol la causa de aquellas uniones moleculares. A medida que los microambientes se estabilizaban, se formaban cadenas de moléculas cada vez más complejas y permanecían intactas por periodos de tiempo mayores. El cianuro de hidrógeno (HCN), por ejemplo, una molécula creada en el espacio interestelar y veneno mortal para la moderna vida que respira oxígeno, al unirse a sí mismo cinco veces se convierte en adenina (H5C5N5), la parte más importante de los nucleótidos universales que componen el DNA, el RNA y el ATP.

Sin oxígeno en la atmósfera para reaccionar con él y para ser destruidos por él, los aminoácidos, los nucleótidos y los azúcares sencillos pudieron formarse y permanecer juntos en disolución. Incluso el ATP, una molécula utilizada por todos los seres vivos como transportador de energía, pudo formarse de la unión de adenina con ribosa (un azúcar con cinco átomos de carbono) y tres grupos fosfato.

Algunas moléculas acabaron siendo catalizadores; favorecían y aceleraban la unión o la separación de otras moléculas sin ser ellas destruidas. Los catalizadores fueron importantes antes de la aparición de la vida porque actuaban contra el azar para producir un orden y una pauta en los procesos químicos. Poco a poco, esos catalizadores y las reacciones que facilitaban proliferaron más que otras combinaciones. Aunque eran cada vez más complejos, aquellos procesos tenían durabilidad y permanecían en las aguas de la Tierra primitiva. Hoy en día, determinados grupos de moléculas pueden actuar de auto catalizadores en una serie de reacciones sorprendentemente complejas y ordenadas o en reacciones cíclicas, en la que cada cambio es el origen de otro en la

cadena molecular. Algunas de estas reacciones auto catalíticas «sin vida» forman patrones cuya complejidad, al ir aumentando con el tiempo, tiene reminiscencias vitales.

A partir de cálculos teóricos y de pruebas de laboratorio, se ha pensado que una interacción entre dos o más ciclos auto catalíticos podrían haber producido un «hiperciclo». Algunos científicos mantienen la teoría de que dichos compuestos catalizadores «competían» por elementos en el medio ambiente y, por tanto, limitaban automáticamente su existencia. Pero la idea básica del hiperciclo es precisamente lo contrario. Lejos de destruirse unos a otros en una lucha por la supervivencia química, los compuestos, en un proceso de autoorganización, se complementaban para producir estructuras que acababan replicándose, como si tuvieran vida. Estos procesos cíclicos formaron la base no sólo de las primeras células, sino de la enorme cantidad de estructuras basadas en células y sus productos que siguieron. Los procesos cíclicos son muy importantes en los seres vivos. Permiten que la vida conserve los elementos clave de su pasado, a pesar de las fluctuaciones y la tendencia hacia el desorden del medio ambiente exterior.

Una cadena de hidrocarburo unida a un grupo de átomos de fósforo y oxígeno muestra una carga eléctrica en el extremo en que se halla el fosfato, mientras que no posee carga alguna en el otro extremo. El compuesto químico, como un todo, atrae el agua por su extremo cargado y la repele por el extremo sin carga. Estas sustancias, llamadas fosfolípidos, tienden a alinearse unas junto a otras, con el extremo desprovisto de carga eléctrica alejándose del agua, mientras que el extremo cargado apunta hacia ella. Estos y otros tipos de lípidos tienden a formar gotas espontáneamente, aislando las sustancias de su interior de las del exterior. Se ha comprobado que, además, forman una doble capa cuando dos superficies de agua en las que hay una película superficial de lípidos entran en contacto por un movimiento ondulante. De esta manera se formaron las primeras membranas, las primeras barreras semipermeables que distinguían «dentro» y «fuera», la primera distinción entre propio y distinto.

Las membranas de los organismos actuales se componen de varios tipos de lípidos, proteínas e hidratos de carbono, con funciones tan complejas y calibradas con una precisión que todavía estamos lejos de comprender. La membrana hace posible la existencia de la unidad discreta del microcosmos, la célula bacteriana.

Es probable que no sólo una vez, sino varias, los aminoácidos, nucleótidos, azúcares sencillos, y los fosfatos y sus derivados se hayan formado y se hayan hecho más complejos con la energía del sol y protegidos en el interior de una burbuja de lípidos, absorbiendo del exterior ATP y otros compuestos de nitrógeno y carbono como «alimento».

Para considerar que una entidad está viva, ésta ha de ser ante todo *autopoyética*, es decir, ha de mantenerse activamente contra las adversidades del mundo. La vida responde a las perturbaciones utilizando materia y energía para permanecer intacta. Un organismo intercambia constantemente sus piezas, substituyendo sus componentes químicos, sin perder nunca su identidad. Este fenómeno holístico modulador que es la autopoyesis, el automantenimiento activo, se encuentra en la base de toda vida conocida.

Tras conseguir la capacidad de automantenimiento, una estructura en vías de hacerse “viva” debe reproducirse a sí misma. Antes de la célula, quizá no se podía distinguir entre vida y no vida. Los primeros sistemas de tipo celular fueron “estructuras disipativas”: objetos o procesos que se organizan a si mismos y que cambian de forma espontáneamente. A parti de las estructuras y los hiperciclos surgió la cadena de nucleótidos, ribosa y fosfato que puede autorreplicarse y catalizar las reacciones químicas. Esta cadena es el ácido ribonucleico, o RNA, la primera fase en el lenguaje de la naturaleza. Sin ser todavía autopoyético, pero ya muy estructura, el RNA primitivo en esferas

rodeadas de filamentos lipídicos se acumuló en las aguas cálidas y ricas en materia orgánica de una Tierra benigna.

Las sustancias químicas reaccionaron de manera cíclica produciendo versiones y +variaciones de sí mismas que tendía a crear un medio ambiente favorable a la repetición de las reacciones originales. Las estructuras autopoyéticas llevaron la organización un poco más lejos: utilizaron energía para mantenerse a sí mismas de manera activa y con éxito al enfrentarse con serias perturbaciones externas.

### **El lenguaje de la naturaleza.**

El código genético es un fenómeno único, la molécula de DNA o RNA puede replicarse exactamente a sí misma, pero también puede causar el montaje uniforme de esas otras sustancias químicas propias de los organismos vivos, las proteínas.

A pesar de lo milagroso que parece, el fenómeno de la replicación es, una base molécula a molécula, un proceso químico que sorprende por su sencillez. Una estructura química complementaria determina la forma y propiedades de las moléculas que se duplican: el DNA y el RNA son una mitad longitudinal de una larga y única molécula.

El denominador común de la vida va aún más lejos. Solamente unos veinte aminoácidos diferentes, unidos en cadenas que comprenden desde unas pocas docenas hasta unos centenares, forman las proteínas en todos los seres vivos conocidos de la Tierra. La secuencia de aminoácidos determina en primer lugar la forma de la proteína y esa forma determina su función. El código para la traducción de la secuencia de nucleótidos del DNA es una secuencia de aminoácidos de la proteína es casi universal. Una determinada secuencia de nucleótidos se traducirá casi siempre en una misma secuencia de aminoácidos.

En todos los organismos, cada triplete de nucleótidos en el ácido nucleico codificador, llamado codón, especifica un aminoácido. Pero hay indicios de que codones con dos nucleótidos pueden haber constituido una versión temprana de ese sistema.

Como las palabras, los elementos del código genético pueden ser interpolados, ordenados de distinta manera, cambiados y transmitidos de forma alterada. Las mutaciones son cambios hereditarios en la cantidad o en la secuencia de las bases del DNA.

La lectura y la copia del mensaje genético pueden realizarse en un corto espacio de tiempo. De segundos a minutos, las proteínas se forman a partir de los aminoácidos. Aunque el DNA aislado no puede replicarse, si se coloca en un tubo de ensayo con proteínas (catalizadores), nucleótidos (alimento) y un suministro de energía, el DNA puede hacer una copia de sí mismo en segundos.

Carece de sentido querer fijar un determinado momento en que se produjo la chispa mágica para el inicio de la vida con la formación espontánea del DNA y el RNA. Antes de que la doble hélice de nuestro más remoto antepasado se formara y replicara con gran fidelidad, muchas estructuras disipativas, largas cadenas de reacciones químicas distintas, debieron de evolucionar, reaccionar y romperse. Seguramente surgieron y se desarrollaron durante un tiempo formas vivas basadas en tipos totalmente distintos de moléculas replicantes para desaparecer luego totalmente. Pero al ser

actualmente el denominador común de todo tipo de vida, está claro que en algún momento empezaron a proliferar membranas lipídicas que encerraban en su interior RNA y DNA.

Cuando la autopoyesis aseguró su existencia y la reproducción garantizó su expansión, la evolución inició su camino. Había empezado el Microcosmos de la Tierra, la Edad de las Bacterias.

Las bacterias se expandieron primero en el agua, donde modificaron el líquido y produjeron gases. Después se extendieron hacia la superficie de los sedimentos, donde aún sobreviven. Ninguna pasó toda su vida en la atmósfera, y ningún ser vivo lo hace actualmente. Sin embargo, algunos organismos pueden pasar algún tiempo en ese medio, principalmente en forma de partículas en estado latente, como semillas, esporas y huevos.

La biota, la suma de toda vida, principalmente como microbiota, el total de toda vida microbiana, es antigua y se extiende por toda la biosfera. Con el tiempo se ha ido esparciendo, sin embargo, desde el punto de vista de la innovación química y metabólica no ha cambiado de manera significativa. Compuesta por todos los seres con capacidad reproductor, y continua a través del tiempo, la pátina planetaria tiene vida propia. La biota cicla sustancias inorgánicas como rocas, barros y gases, modulándose y controlándose a si misma. Las células en una colectividad conservan las condiciones del agua, del carbón y del hidrógeno y el metano, que de otra manera, hace tiempo que habrían desaparecido de la Tierra por procesos químicos. Mantiene así un recuerdo de si misma.

En cierto sentido, la esencia de la vida es una especie de memoria, Representa la conservación física del pasado en el presente. Al reproducirse, las formas de vida fijan el pasado y graban mensajes para el futuro. Las bacterias del presente que evitan el oxígeno nos están hablando del mundo sin oxígeno en que hicieron su aparición.

Podemos contaminar el aire y el agua a nuestros nietos y acelerar nuestra propia desaparición, pero eso no tendrá ningún efecto en la continuación del microcosmos. Nuestros propios cuerpos se componen de mil billones de células animales y de cien billones de células bacterianas. No servimos de alimento en alguna cadena alimenticia, pero después de la muerte volvemos a nuestro olvidado suelo. Las formas de vida que reciclan las sustancias de nuestro cuerpo son en primer lugar bacterias. El microcosmos sigue evolucionando a nuestro alrededor y en nuestro interior.