

Betsaida Lucinda Ávila Suárez y Alejandro Heredia Barbero

De lo simple a lo complejo: la química antes de la vida

La materia está compuesta por átomos que, al unirse, forman moléculas. Las moléculas orgánicas son aquellas formadas por átomos de carbono; algunas han sido detectadas en nebulosas y meteoritos, lo que indica que hay compuestos orgánicos en el universo. Retomando la teoría de la panspermia, aquí analizaremos cómo es que moléculas sencillas formaron agregados más complejos hasta crear la primera célula.

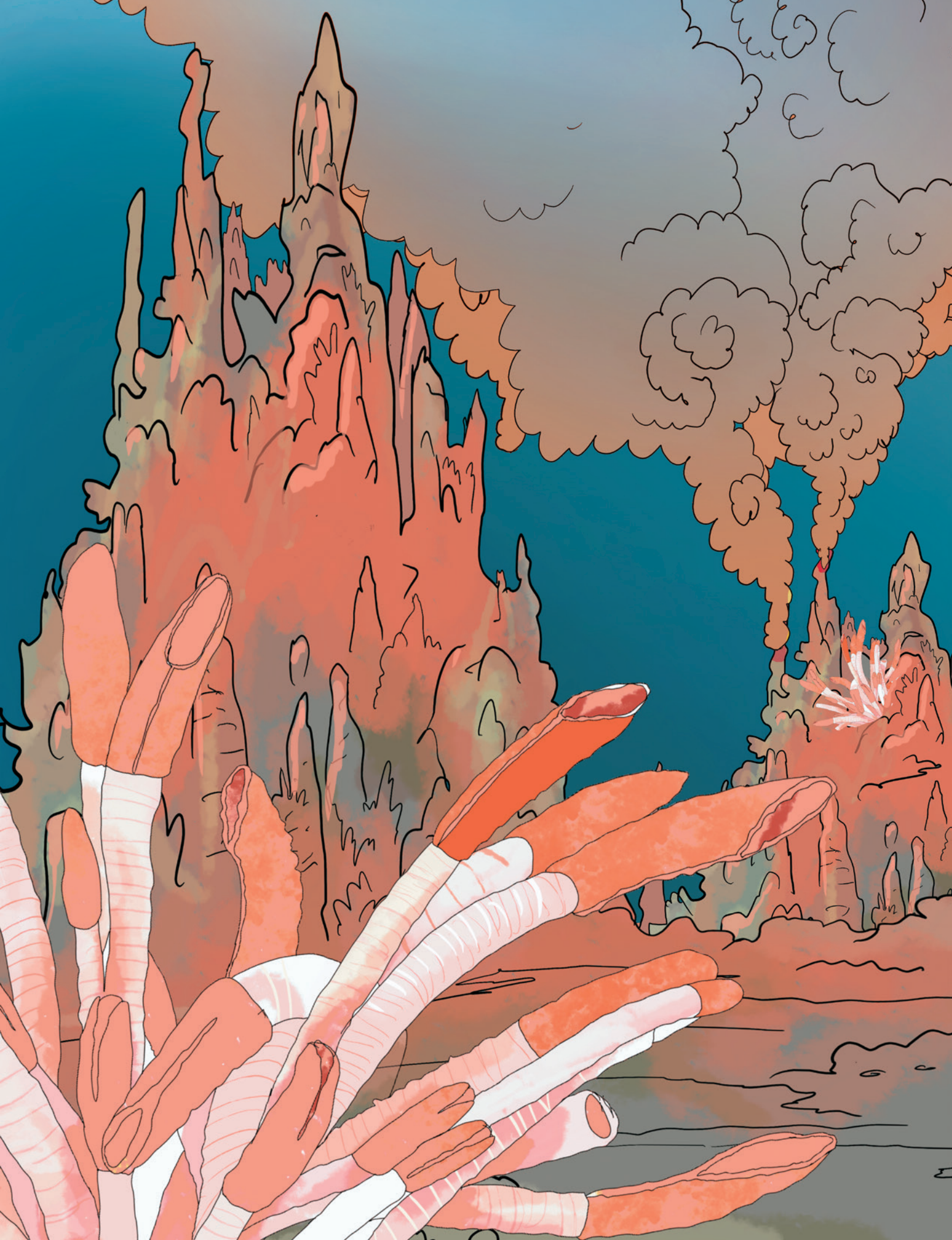
Compuestos orgánicos en el universo

Hace aproximadamente 13.8 mil millones de años se comenzó a formar el universo y algunos de los elementos químicos que conforman nuestro cuerpo. La Tierra y el Sol se formaron poco después de ese suceso que los astrónomos han llamado Big Bang o gran explosión. Otros cuantos se formaron cuando las estrellas comenzaron a chocar entre sí y otros más cuando explotaban algunas estrellas.

Toda la materia está formada por átomos en un movimiento constante al que llamamos *grosso modo* fisicoquímica. Imagina que estos átomos son como piezas de un rompecabezas donde cada una tiene su forma y color, y cuando unes fuertemente varias de ellas (en nuestro caso los átomos), puedes formar algo que la comunidad científica denomina “moléculas” o “compuestos”, que tienen características muy diferentes entre sí.

Algunas moléculas son muy simples, como las del agua, que están formadas por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Otras moléculas son mucho más complejas y existen también moléculas formadas por átomos de carbono; a estas, en especial, las llamamos “moléculas orgánicas”. Este nombre está relacionado con la capacidad de organizarse y formar distintas estructuras “orgánicas”, es decir, con “organización”.

Existen diversas teorías sobre el origen de la vida en la Tierra. Una de ellas se conoce con el nombre de *panspermia*. ¿A quién se le ocurrió esta idea? Desde el siglo V a. n. e., el filósofo griego Anaxágoras ya pensaba que la vida se había dispersado por todo el universo en forma de semillas; muchos siglos después,



a principios del siglo xx, el químico sueco Svante Arrhenius propuso que las esporas bacterianas eran impulsadas por el viento solar de una estrella a otra, en tanto el químico mexicano Alfonso Luis Herrera pensaba que en las condiciones de la Tierra antigua las moléculas complejas y minerales podrían haber formado células.

En años más recientes, la bióloga Lynn Margulis –quien era escéptica respecto a la teoría de la panspermia–, en su libro *¿Qué es la vida?*, realizó la siguiente reflexión: “Si la vida comenzó en el espacio exterior, el estudio de cómo surgió se podría aplicar a cualquier otro planeta distinto de la Tierra. De hecho, la Tierra misma está suspendida en el vacío, así que, se mire como se mire, la vida se originó en el espacio”, refiriéndose, claro, a que el planeta Tierra sigue siendo parte del sistema solar y del universo.

Ahora sabemos que esos compuestos orgánicos del universo deben de haber sido los primeros en combinarse con el material inorgánico presente en nuestro planeta para sintetizar o formar las primeras moléculas complejas. Los compuestos inorgánicos a los que nos referimos son las rocas, las fases minerales que las componen y los muchos iones disueltos en los océanos y charcas en la Tierra primitiva. Volviendo a las moléculas orgánicas, éstas fueron inicialmente muy simples y pequeñas, con un nivel de complejidad que pudo aumentar progresivamente hasta formar las más grandes y complejas, ya en la dirección de los seres vivos.

¿Por qué mencionamos “en la dirección de los seres vivos”? Porque hay un conjunto de moléculas orgánicas que se fueron en otra “dirección” en la evolución molecular y que son los nanotubos de carbono, los fullerenos, el grafeno y el grafito, también presentes en el medio interestelar pero que no son, aparentemente, relevantes para los procesos biológicos y tampoco son producto de éstos. De hecho, algunos de ellos son venenosos.

Entonces, ¿cómo es que se originaron moléculas más complejas a partir de moléculas pequeñas? No lo sabemos con exactitud, pero quizá esos compuestos grandes y funcionales, al interactuar con las rocas, fueron los primeros *catalizadores*, palabra que se utiliza en química para decir que esas mismas moléculas

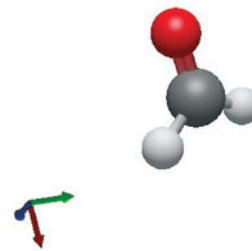


Figura 1. Molécula de formaldehído (CH₂O). Realizado en Avogadro 1.97.0.

ayudaron a que algo –una reacción– sucediera más rápido o de una manera más sencilla. Aquí analizamos estas posibilidades.

En el universo, las moléculas orgánicas existen en casi todos los medios: en las nubes interestelares, cometas, asteroides y en los meteoritos: rocas que tenemos al alcance para su estudio, ya que han logrado atravesar la atmósfera de nuestro planeta y aterrizar en la superficie terrestre. Por ejemplo, en 1969 se detectó la molécula de formaldehído (Figura 1) en la nebulosa de Orión, lo que nos sugiere que los compuestos orgánicos similares a esta molécula simple, debieron también estar presentes cuando recién se formó la Tierra.

■ Meteoritos: el nuevo escenario para el origen de la vida en la Tierra

■ Un meteorito es una roca –de más de 10 micras y que puede llegar a medir metros– procedente de un cuerpo celeste que puede ser un cometa, asteroide o meteoride (Rubin y Grossman, 2010). Los meteoritos se forman en el espacio exterior, sobreviven a la atmósfera y llegan a la superficie de algún planeta o de la Luna, por ejemplo. Como han sido estudiados por muchos científicos, los han clasificado con diversos nombres basándose en su composición química y en los minerales que contienen, entre otras cosas.

El tipo de meteoritos del que nos ocuparemos aquí son los llamados *carbonáceos*, los que, como su nombre lo indica, contienen carbono, por lo que de cierta manera en ellos tenemos una muestra de la química orgánica extraterrestre. Los meteoritos carbonáceos que han sido muy analizados son el de Murchison y

el de Allende (este último, por cierto, cayó al sur del estado de Chihuahua). Pero, ¿cómo le hicieron estos compuestos orgánicos para aparecer también en la Tierra primitiva hace miles de millones de años? Los clásicos experimentos de un bioquímico estadounidense llamado Stanley Miller lo explican mostrando que se podía obtener un alto rendimiento; por ejemplo, de algunos aminoácidos cuando una mezcla de gases —como hidrógeno, metano, amoníaco y vapor de agua— eran expuestos a una descarga eléctrica. Los aminoácidos son los pequeños bloques de construcción para formar las proteínas, que son biomoléculas ya distintivas y muy importantes para la vida.

Esta demostración de que material orgánico complejo como el de los aminoácidos pudiera sintetizarse tan fácilmente en condiciones prebióticas, en el laboratorio, fue reafirmada cuando se descubrió que en los meteoritos carbonáceos también había aminoácidos, hidrocarburos y muy poca cantidad de otras moléculas, como las purinas, que son componentes básicos de los ácidos nucleicos —otras biomoléculas importantísimas que componen al material genético—. Por ello, ya era claro que si en el laboratorio podían formarse compuestos orgánicos complejos, era posible que se formaran en cualquier lugar del universo. En otras palabras, si en los meteoritos ocurre todo esto, es razonable suponer que pudieron haber ocurrido reacciones químicas similares en la superficie de nuestro planeta antes de haber vida, las cuales dieron como resultado la formación de complejos compuestos químicos ya muy parecidos a los que están en nuestras maquinarias biológicas.


A las piezas fundamentales que forman las cadenas de las moléculas muy complejas (el material genético y proteínas) se les llama *monómeros*. También en los plásticos existen estas cadenas y, de forma similar, si se cortan, hallamos monómeros. Dicho sea de paso, también hay moléculas parecidas a los plásticos afuera de nuestro planeta y aparentemente no son contaminación, sino compuestos parecidos a los monómeros de los plásticos que contaminan nuestro planeta, pero sintetizados en el espacio.

Con los monómeros orgánicos disponibles en concentraciones razonables, se pudieron haber generado esas moléculas muy complejas de la vida, for-

mando lo que ahora se conoce como sistemas autoensamblados (un ejemplo de autoensamblamiento se da en los aceites que vemos tirados en las calles, que generan un patrón de colores justamente porque las moléculas de ese aceite están arregladas en el espacio), y en algún momento dichas moléculas al ensamblarse a niveles mayores, como el de una membrana, adquirieron algunas características mínimas del estado vivo. El estado vivo se caracteriza por existir como una entidad delimitada por una membrana, crear una célula, utilizar energía, crecer mediante procesos de polimerización y con la capacidad de dividirse para producir otra generación y adaptarse al ambiente.

Los procesos de autoensamblamiento favorecidos por procesos de deshidratación pudieron ser relevantes en la Tierra primitiva, ya que algunos autores sugieren que dichos procesos, así como las oligomerizaciones —es decir, el agrupamiento con mucha fuerza de varias moléculas más pequeñas—, están presentes en algunos meteoritos. Si estos compuestos están presentes en meteoritos, se esperaría que estuvieran en la Tierra primitiva. En los meteoritos estos compuestos tienen masas moleculares relativamente grandes, lo que abre la posibilidad de múltiples reacciones complejas como las que generaron la vida en la Tierra.

Procesos de autoensamblaje/autoorganización

 Como ya vimos, en nuestra Tierra primitiva no había moléculas tan grandes como las proteínas o los ácidos nucleicos para que se dirigieran los procesos de ensamblaje característicos de la vida. Las primeras formas de vida surgieron a partir de estos compuestos ya grandes, por lo que es importante saber que hay otras moléculas orgánicas capaces de autoensamblarse u organizarse en estructuras microscópicas y hasta macroscópicas: estas moléculas reciben el nombre de moléculas *anfifílicas* o *anfipáticas* (términos que quieren decir que les gusta el agua en un lado y en otro lado les gustan los aceites; tales propiedades se usan, por ejemplo, en los jabones). Pero, ¿cómo se formaron? Existen diversas teorías: una es la de Darwin, quien consideró como primeros

reactores moleculares los “pocitos calientes” –del inglés: “*warm little ponds*” (Mulkiđjanian *et al.*, 2012)–, en donde había agua, rocas y trozos de minerales que actuaron como catalizadores, originándose reacciones que dieron paso a la formación de ácidos grasos y fosfolípidos que a la postre formaron vesículas (una forma de decir “micela” o “pelotita”) lipídicas que se conocen como moléculas anfifílicas, como mencionamos antes.

Cuando surgen estas vesículas lipídicas, alcoholes de cadena larga o fosfolípidos, surge lo que ahora conocemos como premetabolismo (término que refiere a la síntesis de los compuestos que forman estas vesículas y que tienen un contenido parecido a la vesícula de la que provienen) y se originan así las moléculas autorreplicantes (que se forman a sí mismas con moléculas más simples). Todo esto debió darse en un medio acuoso rico en los fosfolípidos asociados a los minerales y rocas. Estos procesos de autoensamblamiento relativamente sencillos dieron el espacio restringido que necesitaba nuestro primer grupo de células: la micela (Figura 2).

Una vez que los fosfolípidos primitivos se sintetizaron, a la postre se ensamblaron y sugerimos que en la parte interna ya tenían las moléculas suficientes y necesarias para la creación de la primera célula. Las estructuras moleculares mínimas se acoplaron a las reacciones de las superficies minerales –ya reducidos también en tamaño y atrapados en las micelas–, dando origen a esta nueva termodinámica que es lo más complejo que ha visto el universo: la vida. Por la presencia de fosfatos, seguramente el medio

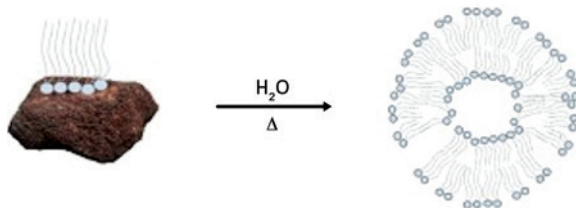


Figura 2. Autoensamblamiento de moléculas lipídicas en superficies minerales. Las moléculas lipídicas, liberadas por los meteoritos de tipo carbonáceo, o sintetizadas en la Tierra, se acumularon en las superficies de los minerales que se encuentran en las rocas (izquierda). La reacción en fase acuosa pudo ser capaz de originar el ordenamiento esférico de la micela. Al ser su configuración más estable, la de una esfera (derecha), se formarían las primeras comunidades de micelas para dar paso en algún momento a procesos celulares.

en que se desarrolló esta comunidad de células debió de contener en abundancia estos compuestos ricos en fósforo, como es el caso de la apatita, la cual es un cristal que también representa otra forma de autoorganización (Figura 3).

Durante la formación de una micela y un cristal se lleva a cabo un proceso autocatalítico relativamente simple, porque la misma reacción de crecimiento de la pelotita (la micela) y el crecimiento del cristal aceleran su autoorganización (Luisi, 2010). Un ejemplo más es el del autoensamblamiento del ADN o ácido desoxirribonucleico (Figura 4). En los tres casos hay niveles de organización molecular: formación de la micela, nucleación del cristal (así se le llama a la formación inicial de un cristal) y el ADN; esto es, partimos de componentes simples como azúcares, fosfatos, todos más o menos desordenados en el espacio, con bajos pesos moleculares. Poco a poco se van acomodando y organizando por ellos mismos; es decir, autoorganizando.

Conclusiones

En estas páginas hemos querido dar a conocer que el ambiente fisicoquímico en la Tierra primitiva fue suficiente para dar origen a la vida. Muchos otros factores deben valorarse para dar fundamento a esta fisicoquímica compleja basada en el autoensamblamiento de moléculas orgánicas, iones y partes de



Figura 3. La apatita es un mineral que contiene en su estructura química fosfatos y calcio, por lo que puede explicar incipientemente el medio en el que se desarrollaron las primeras células.

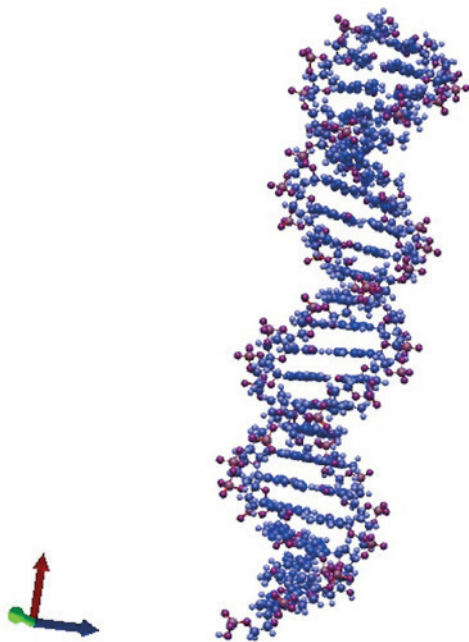


Figura 4. Cadena de ADN (ácido desoxirribonucleico), el cual contiene los genes que mediante distintos procesos producen proteínas. Realizado en Avogadro 1.97.0.

cristales que convirtieron compuestos orgánicos relativamente estables y simples en una orquesta de adaptación al medio, de obtención de la información local y con capacidad de heredarla. Gran parte de la historia de la Tierra primitiva se condensa en los seres vivos, donde los compuestos orgánicos e inorgánicos coexisten en un diálogo permanente en que se dan o se quitan mutuamente la estabilidad termodinámica. En nuestro grupo de trabajo hemos conseguido hacer simulaciones computacionales a distintos niveles y valoramos esta dialéctica a nivel de átomos y moléculas con otras técnicas que miden la estabilidad de estas estructuras. Uno de estos experimentos que nos gusta hacer es el de crecimiento de moléculas como los aminoácidos con reacciones en las que se extrae el agua para simular un charco que se hidrata y deshidrata, como pudo pasar en el planeta Tierra ancestral.

Se simulan estas condiciones por muchos factores, por ejemplo, porque en el momento de la creación de la Luna por el impacto de un cuerpo inmenso con la Tierra, los días eran más rápidos y por tanto el efecto de las mareas era más claro; esto es porque la Luna estaba más cerca de la Tierra y nos afecta-

ba más, causando procesos de marea más frecuentes que los actuales, y por tanto los procesos de hidratación-deshidratación participaban con más relevancia. Lo que queremos decir es que seguramente en ese tiempo el año terrestre tenía cientos de días más, con cambios de mareas muy seguidos. En ese tiempo, además, pasaron otras cosas muy importantes en nuestro planeta: la formación del campo magnético y tal vez la aparición del primer supercontinente, denominado Vaalbará.

Como vemos, esta revolución fisicoquímica que dio origen a la vida a partir de moléculas relativamente simples es una condición adicional en la evolución molecular en el universo y pasó en el momento en que sucedían muchas cosas en la Tierra primitiva. Entender la formación de la vida a partir de los compuestos más simples es uno de los trabajos que se desarrollan en nuestro Instituto de Ciencias Nucleares de la Universidad Nacional Autónoma de México. Daremos seguimiento a estos avances y esperamos poder darles noticias novedosas y atractivas que nos expliquen un poco más en este sentido.

Betsaida Lucinda Ávila Suárez

Laboratorio de Evolución Química, Departamento de Química de Radiaciones y Radioquímica, Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM. avilabethlu@gmail.com

Alejandro Heredia Barbero

Laboratorio de Evolución Química, Departamento de Química de Radiaciones y Radioquímica, Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM. aheredia@correo.nucleares.unam.mx

Lecturas recomendadas

- Luisi, P. L. (2010), *La vida emergente: De los orígenes básicos a la biología sintética*, México, Tusquets.
- Mulkidjanian, A., A. Bychkov, D. Dibrova, M. Galperin y E. Koonin (2012), "PNAS Plus: Origin of first cells at terrestrial, anoxic geothermal fields", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(14):E821-E830.
- Rubin, A. E. y J. N. Grossman (2010), "Meteorite and meteoroid: New comprehensive definitions", *Meteoritics & Planetary Science*, 45(1):114-122.