

## The origin of life on Earth: Analysis of the role of Biomorphs structures in the Precambrian era

El origen de la vida en la Tierra: Análisis del Papel de los biomorfos en la era Precámbrica

Brenda González Corona, Guillermo Alberto Ledezma Ávila, Carlos Manuel Rangel Martínez, Mayra Cuéllar Cruz\*  
Departamento de Biología, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Noria Alta S/N, Col. Noria Alta, C.P. 36050, Guanajuato, Guanajuato, México.  
\*mcuellar@ugto.mx

### Resumen

La era Precámbrica es la etapa de la Tierra en donde se considera se llevaron a cabo una serie de eventos y procesos que favorecieron la aparición de la vida primitiva en nuestro planeta. Conforme las condiciones atmosféricas eran más favorables para la vida como la conocemos actualmente, se postula que las primeras formas de vida comenzaron a surgir en los océanos primitivos. Estos primeros organismos eran microorganismos unicelulares simples, como bacterias y arqueas, que podían sobrevivir en ambientes extremos y obtener energía de fuentes como la quimiosíntesis. La información que se ha logrado obtener de esa época primigenia, se debe en gran medida a los cherts del Precámbrico, los cuales, han proporcionado valiosas evidencias sobre el surgimiento de la vida temprana en la Tierra. Además, las rocas sedimentarias ricas en sílice desempeñaron un papel importante como fuentes potenciales de preservación de evidencias biológicas. Se propone que uno de los elementos que formaba parte del organismo pionero es el silicio (Si), ya que este elemento se ha identificado en forma de sílice (SiO<sub>2</sub>) en los fósiles o cherts del Precámbrico, que se han encontrado principalmente en rocas marinas profundas como son los radiolarios, las diatomeas, los foraminíferos y los trilobites. El hecho de que en estos organismos el silicio sea un elemento fundamental y que además no hayan sufrido modificación estructural al paso de los siglos, hace que sea muy interesante el tratar de elucidar porque el resto de los organismos vivos actuales no poseen esqueletos de silicio, así como esclarecer el motivo por el cual, los esqueletos, caparazones, huevos de aves, entre otras estructuras de los organismos actuales están formados por calcio y no por silicio. El tratar de elucidar los mecanismos químicos que se llevaron a cabo y que permitieron la síntesis de las primeras moléculas orgánicas, y posteriormente el surgimiento de la protocélula, es un tema que ha sido abordado desde distintas teorías. Recientemente, se ha tratado de entender el origen de la vida tomando como modelo a los silicocarbonatos de metales alcalinotérreos, los cuales son denominados biomorfos, ya que emulan la estructura de morfologías de organismos vivos. Los biomorfos, aunque no necesariamente son de origen biológico, han despertado un interés, ya que se relacionan con indicios de formas de vida tempranas o evidencias de procesos geológicos complejos. Con la finalidad de evaluar la participación de los biomorfos en las primeras formas de vida en nuestro planeta, el objetivo del presente trabajo es revisar la implicación de los biomorfos con el origen de la vida en la Tierra, explorando su posible relación con las primeras etapas de la evolución biológica.

**Palabras clave:** Biomorfos, Era Precámbrica, sílice, silicio, Cherts del Precámbrico.

### Introducción

Las diversas teorías acerca del origen de la vida se consideran hasta cierto punto especulativas, debido a que no se tienen evidencias directas sobre los acontecimientos que se llevaron a cabo en esa etapa temprana de la Tierra. No obstante, existen teorías y líneas de investigación que buscan explicar cómo surgió la vida en nuestro planeta. Se propone que el origen de la vida y la era Precámbrica están estrechamente relacionados, debido a que esa época proporciona el contexto temporal en el que se considera tuvo lugar el surgimiento de la vida en la Tierra. En este contexto, una de las teorías más aceptadas es la teoría de la evolución química o también denominada la hipótesis del mundo de ARN<sup>1</sup>. En esta hipótesis se propone que, en la era primigenia, las moléculas orgánicas simples se formaron a partir de elementos químicos presentes en la atmósfera y en los océanos primigenios. Estas moléculas se combinaron para formar moléculas más

complejas, como aminoácidos y nucleótidos, los componentes básicos de las proteínas y el ADN<sup>1</sup>. Se sugiere que, en algún momento, ciertas moléculas de ARN autoreplicantes fueron sintetizadas, y de esta manera fueron la base para los primeros sistemas autónomos autoreplicantes, precursoras de los organismos vivos. Es decir, sugiere que las moléculas orgánicas simples se formaron a partir de elementos químicos presentes en la Tierra primitiva gracias a los experimentos de Miller y Urey<sup>1</sup>.

Una de las preguntas que surge, es acerca del mecanismo químico que permitió la síntesis de las moléculas orgánicas, y posteriormente la proto célula, ya que la Tierra era un lugar inhóspito con una atmósfera primitiva compuesta principalmente por gases como metano, amoníaco, dióxido de carbono y vapor de agua<sup>2</sup>. Sin embargo, a medida que la Tierra se enfriaba, se formaban los océanos primitivos y la atmósfera comenzó a cambiar. Se habla de que las descargas eléctricas, los rayos ultravioleta y las erupciones volcánicas generaron tanta energía que comenzaron reacciones químicas en la Tierra primordial<sup>3</sup>. En este caso, la conexión que se tiene con el origen de la vida en ese periodo de tiempo, son los cherts del Precámbrico, debido a que han revelado indicios de posibles formas de vida primitivas, porque se han encontrado principalmente en rocas marinas profundas, dentro de los que se encuentran los radiolarios, las diatomeas, los foraminíferos y los trilobites<sup>4</sup>. Estas estructuras, encontradas en los cherts del Precámbrico y otras formaciones geológicas, presentan formas y características que se asemejan a organismos, como células, filamentos y estructuras ramificadas<sup>5</sup>. El tratar de elucidar los mecanismos químicos que se llevaron a cabo y que permitieron la síntesis de las primeras moléculas orgánicas, y posteriormente el surgimiento de la protocélula, es un tema que ha sido abordado desde distintas teorías. Recientemente, se ha tratado de entender el origen de la vida tomando como modelo a los silicocarbonatos de metales alcalinotérreos, los cuales son denominados biomorfos, ya que emulan la estructura de morfologías de organismos vivos, tales como hojas, gusanos, flores, hélices, entre otros<sup>3,6</sup>. Los biomorfos, aunque no necesariamente son de origen biológico, han despertado un interés, ya que se relacionan con indicios de formas de vida tempranas o evidencias de procesos geológicos complejos. Con la finalidad de evaluar la participación de los biomorfos en las primeras formas de vida en nuestro planeta, el objetivo del presente trabajo es revisar la implicación de los biomorfos con el origen de la vida en la Tierra, explorando su posible relación con las primeras etapas de la evolución biológica.

## Metodología

Se utilizó Google Scholar para buscar artículos académicos y científicos utilizando términos como "biomorfos", "estructuras inorgánicas", "cherts" o "origen de la vida".

*Tabla 1. Plataformas con bases de datos científicas:*

Science direct. Journals & books	Repositorio de la Universidad de Guanajuato	American Chemical Society
The Editors of Encyclopaedia Britannica	ResearchGate	PubMed y State-of-the- Art Research in Biomolecular Crystals)

## Resultados

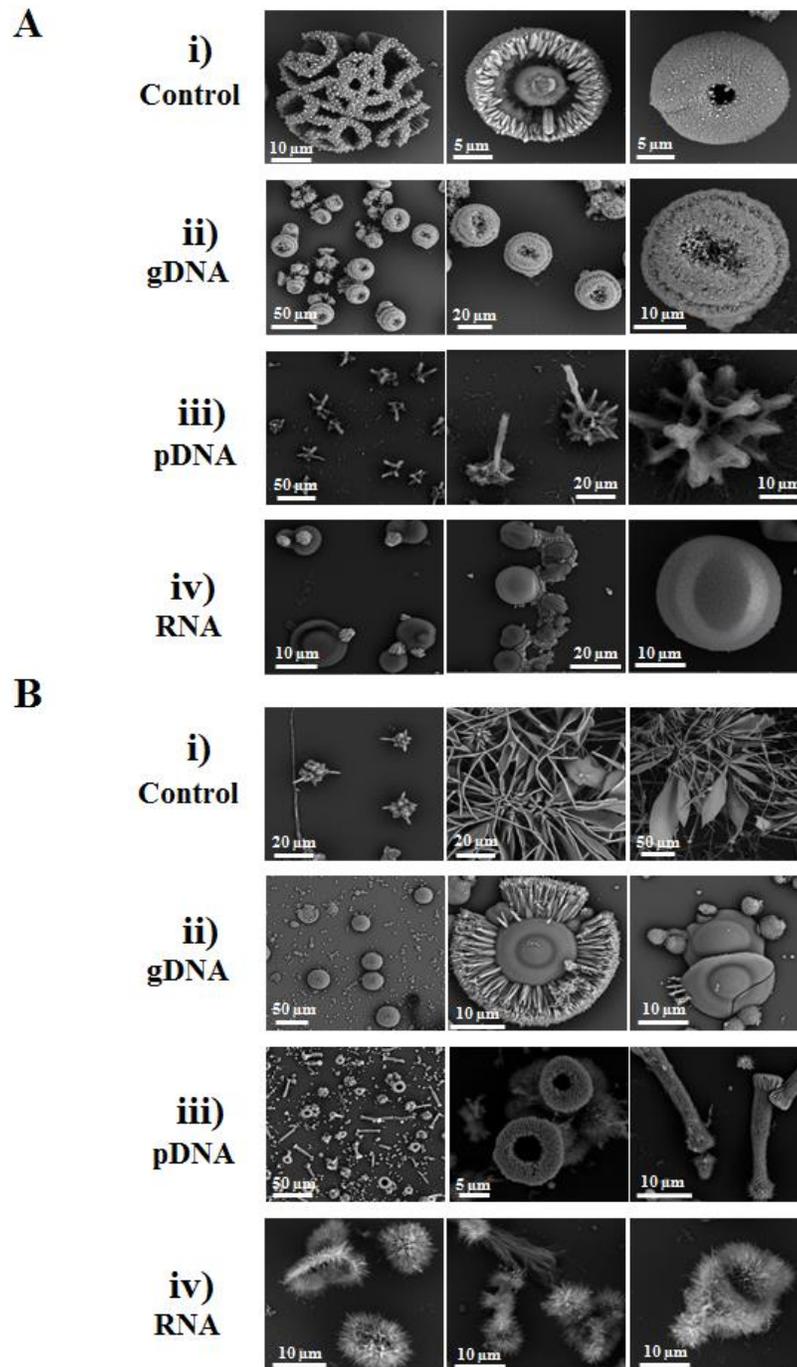
### Una era que marcó el inicio de la vida: Precámbrica

La era Precámbrica se considera un período crucial en la historia de la Tierra, ya que durante el cual se establecieron las condiciones para el origen y desarrollo de la vida<sup>5</sup>. Algunos autores han planteado la idea de que, durante el Precámbrico, un fuerte cambio en la inclinación del eje de rotación de la Tierra pudo haber alterado la distribución de la energía solar a lo largo del año, lo que habría provocado que las glaciaciones se produjeran principalmente en latitudes bajas (Milutin Milankovitch siglo XX). Como antecedente la era Precámbrica es el periodo más largo de la historia de la Tierra, se subdivide en tres éon: Hádico, Arcaico y Proterozoico, y representa alrededor del 88% de la historia geológica de la Tierra<sup>7</sup>. Durante la era

Precámbrica, ocurrieron eventos y procesos fundamentales que sentaron las bases para el desarrollo de la vida en nuestro planeta. Estos incluyen la formación del sistema solar, la solidificación de la corteza terrestre, la aparición de los océanos primitivos y la evolución de la atmósfera, aunque sigue siendo un período en gran parte enigmático, los estudios de los cherts del Precámbrico y otras evidencias geológicas continúan revelando información valiosa sobre la vida<sup>8-10</sup>. Es precisamente en esta época en donde se ha propuesto que las condiciones atmosféricas, como el pH y temperatura junto con la composición química de la Tierra presentes favorecieron la síntesis de las primeras moléculas orgánicas, y posteriormente el surgimiento de la protocélula<sup>11-12</sup>.

## Participación del silicio en el origen de las primeras formas de vida en la Tierra

A lo largo de la historia, se han descrito diversas hipótesis sobre el origen de la vida, una de las cuales fue establecida por Oparin en 1938 desde un punto de vista químico. En esta hipótesis se propone que las condiciones atmosféricas favorecieron la evolución gradual de las moléculas a partir de los elementos químicos presentes en la época primitiva de la Tierra, las cuales dieron origen a las primeras moléculas, y eventualmente la vida. En nuestros días el elemento químico más abundante en los organismos vivos es el carbono. No obstante, existen organismos cuya composición química difiere de la mayoría de los organismos, estos son los que se encuentran en los sedimentos de origen marino, tales como microorganismos, plantas y animales. Estos organismos representan una fuente invaluable de fósiles que vivieron y murieron en el mar. Importantemente, los científicos Georges Cuvier and Alexandre Brongniart establecieron la edad de los fósiles y observaron que los fósiles encontrados en capas superiores presentan mayor parecido con organismos vivos actuales, que con aquellos encontrados en rocas más profundas<sup>13</sup>. Entre los fósiles hallados en rocas marinas profundas están los radiolarios, las diatomeas, los foraminíferos y los trilobites. Estos organismos son un tesoro invaluable para entender el origen de la vida en la Tierra, porque representan el pasado y el presente de nuestro planeta e interesadamente están formados por sílice (SiO<sub>2</sub>). Este dato es relevante, debido a que indica que posiblemente los primeros organismos no estaban formados principalmente por carbono, sino por silicio. Hecho mediante el cual, por una parte, se infiere que el carbono no era biodisponible, y por otra parte se puede explicar desde la abundancia del silicio en la Tierra, en donde el silicio es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre y en combinación con el oxígeno forman el grupo más numeroso de minerales<sup>13</sup>. El hecho de que mayoritariamente en los radiolarios, las diatomeas y los foraminíferos el silicio sea un elemento fundamental, y que además no hayan sufrido modificación estructural al paso de los siglos, hace que sea muy interesante el tratar de elucidar porque el resto de los organismos vivos actuales no poseen esqueletos de silicio, así como esclarecer el motivo por el cual, las estructuras de los organismos actuales están formados por calcio y no por silicio. El conocimiento sobre el pasado de la Tierra a través de estos organismos formados principalmente por silicio es un tema fundamental. En este sentido, varios grupos de investigación han sintetizado *in vitro* silico-carbonatos de metales alcalinotérreos, denominados biomorfos, por las características morfológicas que adoptan, las cuales emulan a organismos vivos, como radiolarios, diatomeas, flores, tallos, entre otras (Fig. 1)<sup>13</sup>.



**Figura 1.** Microfotografías de biomorfos obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) o sintetizados a (A) 37 °C y (B) 50 °C. Se realizaron diferentes muestras para el estudio: i) muestras control; ii) muestras sintetizadas en presencia de ADNc; iii) muestras sintetizadas en presencia de ADNp; iv) muestras sintetizadas en presencia de ARN. Imagen tomada con permiso de: Cuéllar-Cruz, M., Islas, S. R., González, G., & Moreno, A. (2019). Influence of nucleic acids on the synthesis of crystalline Ca (II), Ba (II), and Sr (II) silica-carbonate biomorphs: implications for the chemical origin of life on primitive Earth. *Crystal Growth & Design*, 19(8), 4667-4682<sup>13</sup>.

Como se observa en la figura 1, la morfología única y específica que presentan los biomorfos de los silico-carbonatos sintetizados, muestran que los biomorfos pueden ser un punto de enlace entre la era Precámbrica y las eras subsecuentes, debido a que en esta era ya existían biomoléculas que posiblemente dirigieron la formación de estructuras únicas, definidas y reproducibles, en las cuales se fueron reemplazando algunos elementos por otros, pero conservando la morfología, para posteriormente dar origen a todas las formas de vida<sup>13</sup>.

## Los Cherts como punto de enlace con la era Precámbrica

Entre los fósiles identificados en nuestra era, están los radiolarios, las diatomeas, los trilobites y los foraminíferos, formados por sílice. Este hecho es posiblemente la unión entre los biomorfos y los cherts precámbricos. Se ha identificado que los cherts o rocas sedimentarias, actualmente también son llamadas piedra de calcedonia compuesta principalmente de sílice amorfa. Estas rocas se forman por procesos de precipitación y sedimentación en ambientes acuáticos como mares primordiales, lagos y manantiales<sup>14</sup>. Se conocen como cherts por su nombre en inglés, estos son los restos fósiles más antiguos conocidos en el Precámbrico

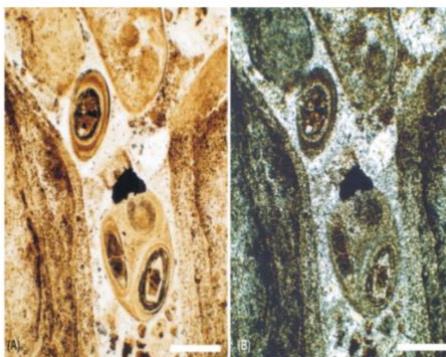


Figura 2. Fotomicrografías de Gunflint Chert en sección delgada mostrando intraclastos y oolitos sustituidos por chert dentro de una grieta entre estromatolitos. (A) Vista en PPL (luz polarizada plana). (B) Vista en XPL (luz polarizada cruzada) mostrando el reemplazo en forma de cuarzo microcristalino. Precámbrico, Ontario, Canadá. Barras de escala = 500  $\mu\text{m}$ . Tomada de N.H. Trewin, S.R. Fayers, *Sedimentary rocks*<sup>10</sup>.

Estas formaciones geológicas presentan características morfológicas distintivas que se consideran reminiscencias del posible origen de la vida en la Tierra ya que, se asemejan a los organismos vivos lo que los relaciona directamente con el origen de la vida en nuestro planeta. Ahora bien, estos Cherts encontrados en el pedernal Precámbrico han suscitado un debate sobre sus orígenes biológicos y su formación por procesos geológicos. Algunos investigadores han argumentado que estos pueden representar la primera etapa de la evolución biológica en la Tierra, pero su formación fue el resultado de procesos puramente geológicos como la convección térmica y la cristalización<sup>15</sup>. Los estudios hechos han brindado información valiosa sobre las condiciones ambientales y los primeros procesos físicos y químicos que ocurrieron en la Tierra. Además, estos descubrimientos tienen implicaciones para la búsqueda de vida en otros planetas, ya que podrían ayudar a identificar posibles signos de vida a partir de registros geológicos antiguos<sup>16</sup>. Sin embargo, es importante enfatizar que queda mucho por aprender y se necesita investigación interdisciplinaria para comprender completamente.

## Los biomorfos como modelo de estudio en el origen de la vida en la Tierra

Se conoce como biomorfos a los agregados auto ensamblados huecos de materiales de origen puramente inorgánico y cuya morfología recuerda a las estructuras presentes en los seres vivos<sup>17</sup>. Los biomorfos se forman bajo ciertas condiciones por medio de la coprecipitación de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y metales alcalinotérreos a un pH alcalino<sup>18</sup>. La importancia de los biomorfos radica en que se han propuesto que pudieran representar los primeros pasos hacia la formación de vida en la Tierra<sup>19</sup>. Los biomorfos, al igual que el resto de las estructuras minerales formadas por seres vivos, no poseen la simetría, extremos y ángulos que el resto de los cristales, formando estructuras más bien curvadas y con bordes lisos<sup>17</sup>. La primera observación de estos agregados se remonta al año 1646 con Johann Rudolf Glauber, químico y farmacólogo alemán, quien observó por primera vez el autoensamblaje de estructuras cristalinas a partir de cristales de cloruro de hierro (II) en una solución acuosa de silicato de potasio ( $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ) las cuales denomino jardines químicos, si bien en un

inicio sus experimentos no fueron tomados con seriedad como una visión para entender el origen de la vida, sentó las bases de una nueva área de las ciencias, así también dio lugar a una gran variedad de experimentos de creación de biomorfos<sup>20</sup>. A partir de entonces, varios grupos han realizado experimentos para la formación de biomorfos con diversas combinaciones, dando como resultado biomorfos con morfología semejante a los microfósiles encontrados en rocas y sedimentos del Precámbrico, los cuales fueron encontrados en el bloque ápxe y descritos como cianobacterias septadas probablemente fotosintéticas que vivieron en aguas poco profundas, así como residuos carbonáceos dejando evidencia de que la vida ha estado presente desde al menos hace 3.5 billones de años<sup>19</sup>. Es importante mencionar que a pesar de su gran parecido morfológico, los biomorfos pueden diferenciarse de los microfósiles gracias a los rastros de metabolitos que se encuentran únicamente en microfósiles<sup>21</sup>. A partir de estos experimentos, se ha mostrado que los biomorfos no solo se pueden generar bajo condiciones controladas de laboratorio, sino que también se propone como una posibilidad encontrarlos alrededor de los cráteres hidrotermales marinos ricos en silicatos de la tierra primitiva, donde las condiciones atmosféricas favorecerían su creación, abriendo camino a las primeras formaciones protocelulares y, por consiguiente, a la vida misma (Fig. 3)<sup>22</sup>.

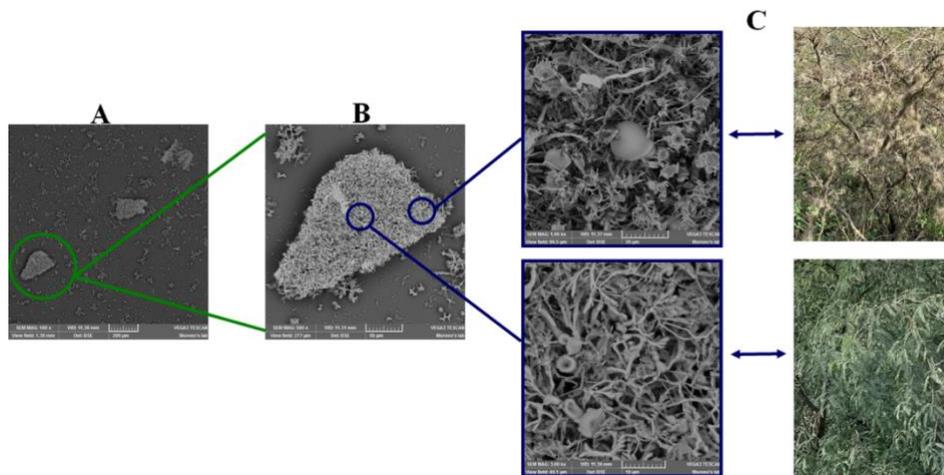


Figura 3. Microfotografías de biomorfos de sílice-BaCO<sub>3</sub> sintetizados en presencia de UV/NIR-mw/SW. A) Cúmulo de los cristales de sílice-BaCO<sub>3</sub> observados a una magnificación de 100x. B) Magnificación de los cúmulos a 500x. C) Magnificación de una parte del aglomerado a 3000x, en donde se observan aglomerados que emulan a un follaje, por la densa red de hojas, tallos y flores que se sintetizaron. Imagen tomada con permiso de: Islas y Cuéllar-Cruz, 2021<sup>22</sup>.

El origen de la vida aún no se ha podido explicar completamente, sin embargo, los biomorfos proporcionan información clave sobre el aspecto químico de la vida. Al formarse bajo la Tierra primitiva, y podrían ser clave para comprender el origen químico de la vida, ya que son catalizadores de reacciones químicas prebióticas y pueden crear compartimentalización donde se forman, favorecerían la condensación de moléculas simples<sup>23</sup>. Aunado a que recientemente se ha mostrado que los biomorfos pudieron ser una de las primeras estructuras inorgánicas en donde las biomoléculas como el ADN se protegieron de las radiaciones UV, permitiendo la formación de polímeros, los cuales, eventualmente se ensamblaron para formar al primer organismo, y aun cuando no se encuentran datados como registro fósil, esto puede deberse posiblemente a que son la estructura antecesora a los cherts del precámbrico, quedando de esta manera invisibilizados, o bien, que lo que se ha datado en realidad son los biomorfos de sílice<sup>3</sup>.

## Conclusión

La participación de los biomorfos en el origen de la vida es un gran avance que contribuye a entender la interrogativa que se ha llevado desde el inicio de la humanidad. Los avances científicos pueden ayudar a comprender mejor futuras investigaciones sobre los biomorfos como los cherts del precámbrico para nuestra comprensión del origen de la vida y los misterios del fenómeno único y fascinante que es la vida. Los biomorfos se pueden tomar modelo de estudio para futuras investigaciones ya que, si bien son estructuras inorgánicas, albergan preguntas intrigantes sobre su posible origen biológico o geológico, considerándose andamios inorgánicos donde se formaron los desarrollos de las primeras células pioneras de la vida que conocemos.

Sin embargo, aún se requiere más investigación para determinar si los biomorfos en realidad desempeñaron realmente ese papel en la conservación y evolución de las biomoléculas durante la era Precámbrica.

## Agradecimientos

Mayra Cuéllar-Cruz agradece el apoyo otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) del proyecto CF2019-39216, y al proyecto institucional 002/2023 apoyado por la Universidad de Guanajuato. Brenda González Corona, Guillermo Alberto Ledezma Ávila y Carlos Manuel Rangel Martínez agradecen la beca otorgada por el Programa del XXVIII Verano de la Ciencia 2023.

## Bibliografía/Referencias

- Khan Academy. (s.f.). Hipótesis sobre el origen de la vida (artículo). Khan Academy. <https://es.khanacademy.org/science/ap-biology/natural-selection/origins-of-life-on-earth/v/origins-of-life>.
- Bueno, D. (2013). Los meteoritos y el origen de la vida: una visión desde la teoría de Gaia. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21(3), 321-321.
- Miller, S.L., Urey, H.C. (1953). Organic compound synthesis on the primitive Earth. *Science*, 117(3046), 528-529.
- Cabrera, F., Corona, A., Daners, G., Soto, M., Ubilla, M., Verde, M., Rojas, A. (2018). Fundamentos de paleontología. *Manuales didácticos*.
- Condie K.C. (2022). Chapter 2 - The crust. *Earth as an Evolving Planetary System*. Fourth Edition, Academic Press. 9-37. ISBN 978-0-12-819914-5.
- García-Fernández, M., Romo-Franco, D., Cuéllar-Cruz, M. (2021). El papel de los silico-carbonatos desde la era precámbrica hasta nuestros días. *Revista Jóvenes en la Ciencia*, 10, 1-8.
- James, G.O., Ogg, G. M., Gradstein, F.M. (2016) *A Concise Geologic Time Scale, Precambrian*. Elsevier. 1<sup>st</sup> Edición. 94–103 ISBN 9780444637710.
- Cuéllar-Cruz, M., Islas, S.R., Ramírez-Ramírez, N., Pedraza-Reyes, M., Moreno, A. (2022). Protection of the DNA from selected species of five kingdoms in Nature by Ba(II), Sr(II) and Ca(II) silica-carbonates: Implications about biogenicity and evolving from prebiotic chemistry to biological chemistry. *ACS Omega*, 7, 37410-37426.
- Guerrero, A.L.M., Cuéllar-Cruz, M. (2022). Influencia de los minerales en el origen de la vida en la Tierra. *Revista Jóvenes en la Ciencia*, 16, 1-7.
- Richard C. Selley, L. Robin M. Cocks, Ian R. Plimer. (2005). *Sedimentary rocks*. Encyclopedia of Geology, Elsevier, 2005, Pages 51-62, ISBN 9780123693969.
- Pérez-Aguilar C.D., Islas S.R., Moreno A., Cuéllar-Cruz M. (2022) The effect of DNA from *Escherichia coli* at high and low CO<sub>2</sub> concentrations on the shape and form of crystal-line Silica-Carbonates of Barium (II). *Crystals*, 12(8):1147.
- Silva-Rodríguez, C.S., Pérez-Hernández, H.A., Cuéllar-Cruz, M. (2021). El papel fundamental de la temperatura en el origen químico de la vida: silico-carbonatos como modelo de estudio. *Revista Jóvenes en la Ciencia*, 10, 1-7.
- Cuéllar-Cruz, M., Islas, S. R., González, G., Moreno, A. (2019). Influence of nucleic acids on the synthesis of crystalline Ca (II), Ba (II), and Sr (II) silica-carbonate biomorphs: implications for the chemical origin of life on primitive Earth. *Crystal Growth & Design*, 19(8), 4667-4682.
- Fayers, S.R., Trewin, N.H. (2005). A hexapod from the early Devonian Windyfield chert, Rhynie, Scotland. *Palaeontology*, 48(5), 1117-1130.
- Nakouzi, E., Rendina, R., Palui, G., Steinbock, O. (2016), Effect of inorganic additives on the growth of silica-carbonate biomorphs, *J. Cryst. Growth*, 452, 166-171.
- Castro-Pérez, M.D. (2012). El ciclo de las rocas. Alteración biológica a nivel superficial. Universidad de Valladolid. Facultad de Ciencias. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/3675>
- García-Ruiz, J.M., Melero-García, E., Hyde, S.T. (2009) Morphogenesis of self-assembled nanocrystalline materials of barium carbonate and silica. *Science*, 323, 362–365.

Zhang, G., Morales, J., Garcia-Ruiz, J.M. (2017) Behaviour of silica/carbonate nanocrystalline composites of calcite and aragonite. *J. Mater. Chem. B.*, 5, 1658–1663.

Pérez-Aguilar, C.D., Cuéllar-Cruz, M. (2022). The formation of crystalline minerals and their role in the origin of life on Earth. *Prog. Cryst. Growth Character. Mater.* 68, 100558.

Cintas, P. (2020). Chasing synthetic life: A tale of forms, chemical fossils, and biomorphs. *Angewandte Chemie.* 132, 7364-7372.

García-Ruiz, J.M., Hyde, S.T., Carnerup, A.M., Christy, A.G., Kranendonk, V. M. J., Welham, N. J. (2003). Self-Assembled Silica-Carbons structures and detection of ancient microfossils. *Science.* 302, 1194–1197.

Islas, S.R., Cuéllar-Cruz, M. (2021), Silica-carbonate of Ba(II) and Fe<sup>2+</sup>/Fe<sup>3+</sup> Complex as Study Models to Understand Prebiotic Chemistry. *ACS Omega.* 6, 35629-35640.

García-Ruiz, J.M., Nakouzi, E., Kotopoulou, E., Tamborrino, L., Steinbock, O. (2017) Biomimetic mineral self-organization from silica-rich spring waters. *Sci. Adv.*, 3, e1602285.