

El papel de los biomorfos en el origen químico de la vida

Isis Daniela Romo Franco¹, Melissa García Fernández¹, Mayra Cuéllar Cruz^{1*}

¹Departamento 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. *email: mcuellar@ugto.mx

Resumen

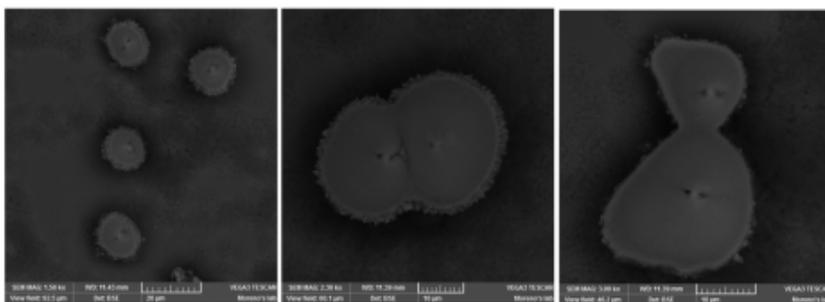
El presente artículo es una revisión sobre la posible implicación de los silico-carbonatos de elementos alcalinotérreos como son Ca (II), Ba (II) y Sr (II), en el origen químico de la vida. Aquí se revisan los factores abióticos, los cuales, se ha demostrado que afectan la morfología si están presentes durante la síntesis de estos compuestos inorgánicos. Estos compuestos han sido de especial interés en las últimas tres décadas, debido a su similitud con formas de vida primitivas (algunos fósiles) y formas de vida actuales como son hojas, alfa hélices de proteínas, flores, tallos, entre otras.

Palabras clave: biomorfos, ácidos nucleicos, proteínas, temperatura, electricidad, minerales.

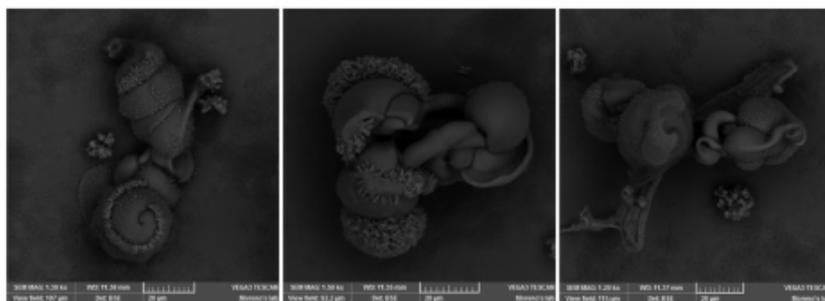
Introducción

Los biomorfos son compuestos inorgánicos sintetizados *in vitro*¹, compuestos principalmente por silico-carbonatos de calcio, bario o estroncio, que simulan distintas morfologías de los seres vivos², como hojas, alfa hélices de proteínas, células en división, hongos, flores, entre otros (Fig. 1)³. Estas morfologías fueron observadas por primera vez hace más de un cuarto de siglo⁴. A partir de dichas observaciones se ha desencadenado un nuevo campo en la bioinorgánica donde se busca relacionar estas estructuras con las formas primitivas de vida y su origen químico, ya que pueden ser utilizados como modelos para entender, por ejemplo, la influencia de distintos factores abióticos (químicos y físicos) que pudieron estar presentes en el surgimiento de la vida¹.

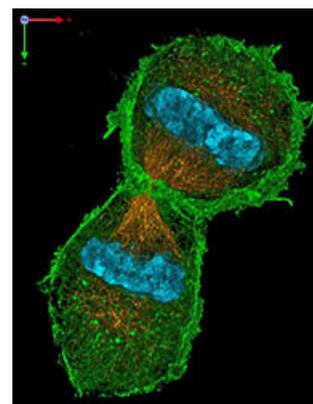
a



b



c



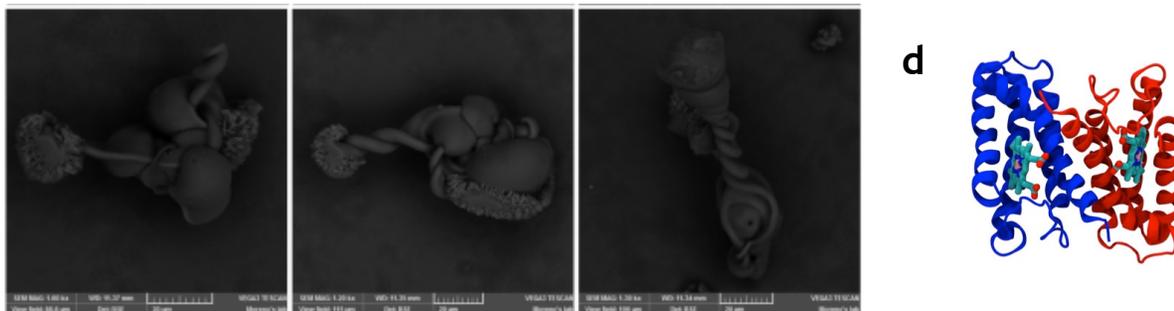


Figura 1. Morfologías de biomorfos obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (MEB). Silico-carbonatos de Ba(II) sintetizados bajo la influencia de una corriente eléctrica negativa, sin la presencia de ARN. Es posible observar distintas morfologías que recuerdan a células en división (Figs. 1a, 1c) y alfa hélices de proteínas (Fig. 1d). Imagen tomada con permiso de Mayra Cuéllar-Cruz, & Abel Moreno (2020). Synthesis of Crystalline Silica-Carbonate Biomorphs of Ba(II) under the Presence of RNA and Positively and Negatively Charged ITO Electrodes: Obtainment of Graphite via Bioreduction of CO₂ and Its Implications to the Chemical Origin of Life on Primitive Earth.

Los biomorfos están formados por nanocristales⁴ y suelen estar compuestos por metales alcalinotérreos¹, su morfología varía dependiendo de distintos factores, como la corriente eléctrica³, pH¹, temperatura², presión atmosférica¹ y presencia de biomoléculas². Particularmente, los silico-carbonatos de calcio son estudiados con mayor amplitud debido a la variedad de morfologías (polimorfismos) que pueden presentar: fase anhidra cristalina (calcita, aragonita y vaterita), fase hidratada cristalina (monohidratada y hexahidratada), e incluso puede existir carbonato de calcio amorfo¹. Sin embargo, no son los únicos, ya que, por ejemplo, los silico-carbonatos de bario también presentan varios polimorfismos³. Para su síntesis *in vitro*, dependiendo del tipo de uso que se les quiera dar, existen técnicas especialmente desarrolladas que pueden ser aplicadas, como el método de difusión de gases². Por otro lado, para su estudio y caracterización es común utilizar microscopía electrónica de barrido (MEB) ya que permite examinar la superficie de los cristales al hacer incidir un haz de electrones sobre la muestra⁵, espectroscopía micro-Raman debido a que permite mapear la estructura de los biomorfos al hacer incidir fotones sobre la muestra⁶, y difracción de rayos X porque en cristales, permite determinar la geometría tridimensional mediante ondas electromagnéticas⁷.

Como se mencionó previamente, la mayoría de los biomorfos se asemejan morfológicamente a los seres vivos, llegando a ser incluso similares a las primeras formas de vida, como radiolarios, diatomeas, foraminíferos y trilobites². Además de ello, algunos fósiles de estos organismos primitivos (como los encontrados en el fondo del océano) están formados de sílica (SiO₂), lo que sugiere que la composición de estos biomorfos puede haber sido adoptada por las primeras formas de vida, e incluso conservada, o con ligeros cambios, en las formas de vida más complejas (como la calcita, mineral biogénico presente en moluscos, esponjas, huevos, huesos, etc.)² (Fig. 2).

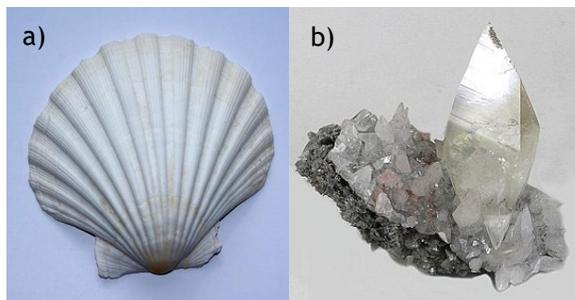


Figura 2. Comparación entre a) Calcita (CaCO₃ - mineral biogénico altamente conservado, responsable de la dureza estructural en varios seres vivos) y b) Concha de mar (compuesta por carbonato de calcio - CaCO₃). Imágenes obtenidas de Google Photos.

Se cree que la vida se originó en la era precámbrica, cuando existía una alta energía solar (radiación UV), una atmósfera reducida, temperaturas extremas, alta presión e intensa actividad eléctrica¹, surgiendo a partir de enlaces entre el silicio-carbono. Interesantemente, algunos autores han reportado que el silicio fue sustituido posteriormente por otros elementos, a medida que las condiciones atmosféricas cambiaron². Diversos investigadores han propuesto teorías y experimentos para explicar el origen químico de la vida. La teoría del caldo primitivo (propuesta por Oparin-Haldane) es la más aceptada en la actualidad ya que explica cómo es que las condiciones físicas y químicas de la tierra primitiva dieron origen a la síntesis de algunas biomoléculas⁹, como aminoácidos², los cuales se consideran como precursores necesarios para la primera célula existente. Adicionalmente, el experimento de Urey y Miller brindó evidencia necesaria para fortalecer dicha teoría, ellos simularon las condiciones de la era primitiva y lograron obtener componentes químicos esenciales para la vida, identificando aminoácidos, metano y otros compuestos¹.

Sin embargo, la síntesis de los bloques para originar la primera forma de vida solamente fue el comienzo. Diversas fuentes reportan que difícilmente la vida pudo haber comenzado sin la presencia del ARN (ácido ribonucleótido) o un compuesto químicamente muy similar¹⁰. El ARN es una molécula compuesta por bases nitrogenadas (típicamente Citocina, Uracilo, Guanina y Adenina), una pentosa (azúcar de 5 carbonos) - ribosa- y grupos fosfato (responsables de la carga negativa de la molécula)⁶; Es la única macromolécula con la capacidad de almacenamiento y transmisión de la información genética¹¹ tomando un papel importante, e incluso fundamental, en lo que se conoce como el dogma central de la biología molecular (flujo lineal de la información genética, ADN - ARN - Proteína)⁶. En un inicio, los nucleótidos (base nitrogenada + grupo fosfato + pentosa) existentes debieron ser activados en alguna manera polimerizándose en una sola cadena de RNA¹⁰, se sugiere que iones metálicos reducidos y luz UV, o tioacetatos resultantes de sulfuros de hierro, pudieron actuar como una ventaja para la activación de nucleótidos¹⁰; Además de ello, la presencia de la ribosa se cree que pudo verse beneficiada por la estabilización con boratos o silicatos¹⁰.

Materiales y Métodos

Para esta revisión se consultaron distintas bases de datos como NCBI (particularmente, su sección de artículos y revisiones: PubMed) y ACS Publications. Se utilizó una serie de palabras clave para agilizar y focalizar la búsqueda, los resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados de búsqueda en bases de datos.

Base de datos	Fecha	Palabras clave	Cantidad de artículos	Temas
PubMed	06/07/2021	Biomorphs + Morphology + RNA	1	Corriente eléctrica.
	06/07/2021	Biomorphs + Proteins + Influence	2	Cerámicas de silicio biomorficas.
	06/07/2021	RNA + origin + life	3,823	Los orígenes del mundo del ARN, proto células, evolución, transcritasas, entre otros.
ACS Publications	06/07/2021	Biomorphs + Morphology + RNA	4	Corriente eléctrica, temperatura, modelo de estudio.
	06/07/2021	Biomorphs + Proteins + Influence	10	Corriente eléctrica, modelo de estudio, temperatura, morfología mineral, toxicología de silicatos, entre otros.
	06/07/2021	RNA + origin + life	7,084	Ensamblaje del ARN, origen químico de la vida, ribosomas, péptidos prebióticos, entre otros.

Abreviaciones:

SEM: Scanning Electron Microscopy; ARN: Ácido ribonucleótido; ADN: Ácido desoxirribonucleótido; ADNp: Ácido desoxirribonucleótido plasmídico; ADNg: Ácido desoxirribonucleótido genómico; SCA-1: Struthiocalcin-1.

Resultados

Estudios actuales reportan que es posible afectar la morfología de los biomorfos al alterar factores como la temperatura, la corriente eléctrica e incluso al agregar/eliminar la presencia de biomoléculas como el ARN. En este sentido, se han realizado estudios pioneros por el grupo de Moreno y Cuéllar-Cruz, en donde se han relacionado estos conceptos con el origen químico de la vida. Dentro de los factores que se han evaluado son la temperatura, influencia en la morfología y estructura cristalina de los biomorfos, de biomoléculas como son ácidos nucleicos y proteínas, así como corriente eléctrica positiva y negativa.

Influencia de la temperatura

La influencia de la temperatura sobre la morfología de los biomorfos ha sido de especial interés para entender cómo se creó la vida en la era precámbrica. Cuéllar-Cruz y cols., reportaron en 2019 que los cambios en la temperatura durante la síntesis de biomorfos interfieren en la estructura cristalina y en la morfología que adoptan². Al evaluar la influencia de los ácidos nucleicos en la síntesis de los biomorfos, en dos temperaturas diferentes, se encontró que los silico-carbonatos de calcio, a 37 °C, presentaron morfologías variadas dependiendo del tipo de material genético presente durante su síntesis², variando de morfologías definidas a estructuras huecas o con formas de flores (Fig. 3a). Los polimorfos que estos compuestos presentaron para el caso del control corresponden a calcita con una estructura trigonal. Para los biomorfos sintetizados en presencia de ADN genómico se observaron dos estructuras cristalinas de CaCO₃ (calcita y aragonita) demostrando que el ADNg puede modificar la estructura cristalina. En el caso de los biomorfos obtenidos en presencia de ADN plasmídico se encontraron polimorfismos de CaCO₃ correspondientes a vaterita y aragonita, demostrando también su capacidad de modificar la estructura cristalina de los compuestos inorgánicos. Finalmente, los biomorfos que fueron sintetizados con ARN, se identificaron polimorfismos de CaCO₃ correspondientes también a vaterita y aragonita, demostrando que pueden cambiar la estructura cristalina.

Estos resultados son interesantes porque el CaCO₃ es un compuesto que se ha preservado ampliamente en los cinco reinos: animalia, plantae, fungi, protista y monera, soportando la idea de que este mineral biogénico es un punto clave entre la unión de la era precámbrica y la actualidad². Además, la calcita y aragonita son las estructuras cristalinas de calcio más abundantes en los organismos², lo que sugiere que se han conservado debido a que se obtienen al simular ambas condiciones (fisiológicas -37 °C- y precámbricas -50 °C-).

A)

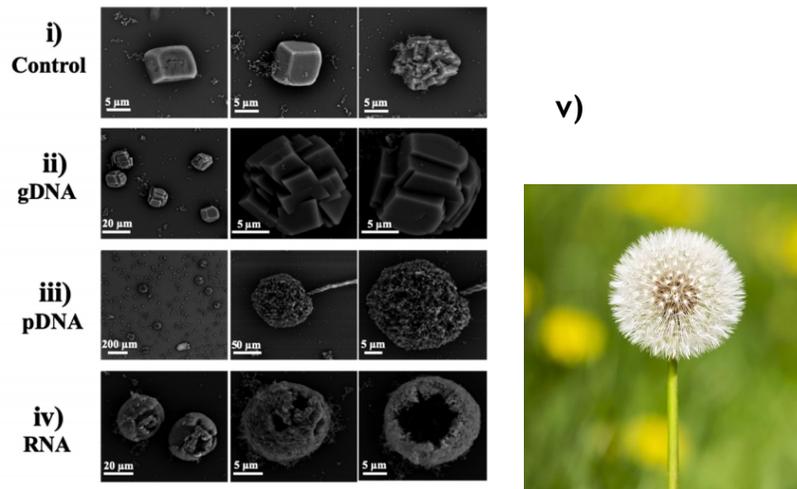


Figura 3. Microfotografías obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (MEB). Polimorfismos de silico-carbonatos de calcio sintetizados a 37 °C. i) Muestras control (cubos definidos); ii) Muestras sintetizadas en presencia de ADNg (cristales en forma de cubo apilados); iii) Muestras sintetizadas en presencia de ADNp (esferas de superficie rugosa, similares a flores con tallo -ej. Diente de león (v)-); iv) Muestras sintetizadas en presencia de ARN (pseudo esferas huecas). Imagen tomada con permiso de Mayra Cuéllar-Cruz, Selene R. Islas, Gonzalo González, & Abel Moreno (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. ACS Publications

Es importante mencionar que a 50 °C (condiciones del precámbrico) los silico-carbonatos de calcio presentaron una morfología similar a dendritas, huesos y pentágonos irregulares². En relación con su estructura, en las muestras control se encontraron estructuras cristalinas correspondientes a aragonita, mostrando que es la estructura más estable. Las muestras en presencia de ADNg mostraron dos estructuras cristalinas: vaterita y aragonita, mostrando que el ADNg puede modificar la estructura cristalina, y al mismo tiempo mantener parte de la aragonita observada en la muestra control. Por otro lado, en las muestras con ADNp se observaron tres polimorfismos correspondientes a vaterita, calcita y aragonita. Finalmente, los polimorfismos sintetizados en presencia de ARN adoptaron forma de calcita (Fig. 3b).

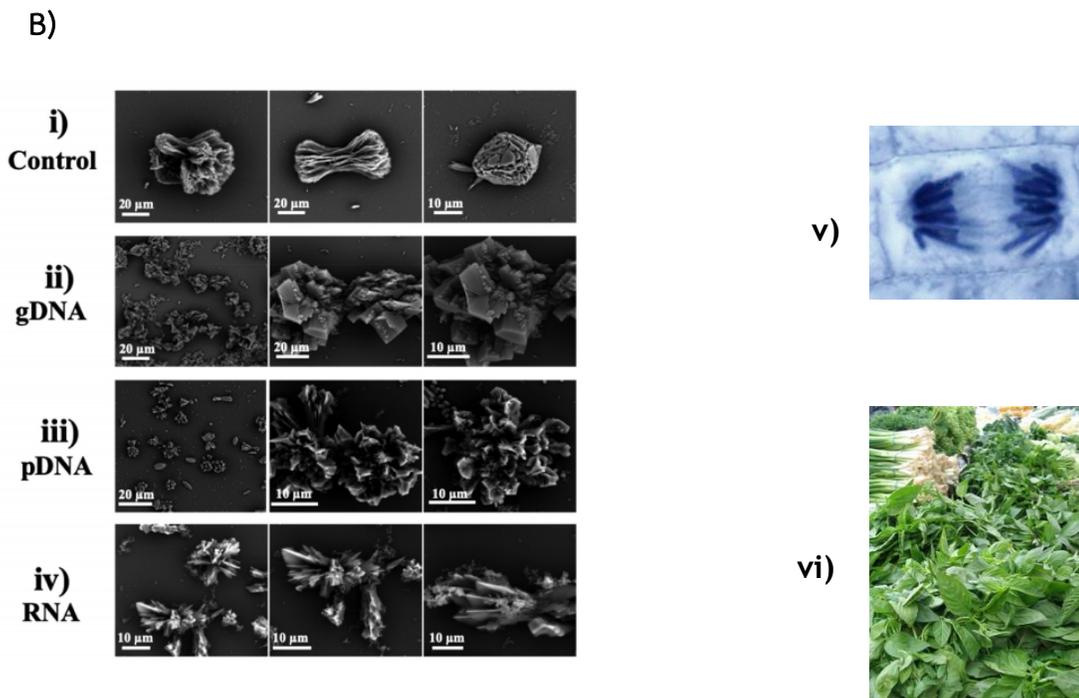


Figura 3b. Microfotografías obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (MEB). Polimorfismos de silico-carbonatos de calcio sintetizados a 50 °C. i) Muestras control (filamentos que recuerdan a células en división y a dendritas -v-); ii) Muestras sintetizadas en presencia de ADNg (cristales apilados en laminas); iii) Muestras sintetizadas en presencia de ADNp (cristales apilados que recuerdan a algunas hojas -vi-); iv) Muestras sintetizadas en presencia de ARN (cristales apilados, finos y puntiagudos que recuerdan a las flores). Imagen tomada con permiso de Mayra Cuéllar-Cruz, Selene R. Islas, Gonzalo Gonzáles, & Abel Moreno. (2019, 17 Junio). 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.

Conclusiones

Estos resultados demuestran que la morfología de los biomorfos de CaCO_3 , su composición química y estructura cristalina depende tanto de la temperatura como de la presencia de ácidos nucleicos. Además de ello, el gran potencial del ADNp para modificar la estructura cristalina es relevante debido a que es una macromolécula presente en una gran cantidad de microorganismos, sugiriendo entonces haber sido una posible ventaja para estos seres vivos durante la era precámbrica.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado gracias al financiamiento del Proyecto Número CF19-39216 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), México, y del Proyecto-Institucional UGTO-022/2021 de la Universidad de Guanajuato, otorgados a la Dra. Mayra Cuéllar Cruz. Isis Daniela Romo Franco y Melissa García Fernández agradecen la beca otorgada al Programa del XXVI Verano de la Ciencia 2021.

Bibliografía/Referencias

1. Mayra Cuéllar-Cruz. (2021, 19 marzo). Influence of Abiotic Factors in the Chemical Origin of Life: Biomorphs as a Study Model. ACS Publications. <https://pubs.acs.org/journal/acsodf>
2. Mayra Cuéllar-Cruz, Selene R. Islas, Gonzalo Gonzáles, & Abel Moreno. (2019, 17 Junio). 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. ACS Publications. <https://pubs.acs.org/crystal>
3. Mayra Cuéllar-Cruz, & Abel Moreno. (2020, 5 marzo). Synthesis of Crystalline Silica-Carbonate Biomorphs of Ba (II) under the Presence of RNA and Positively and Negatively Charged ITO Electrodes: Obtainment of Graphite via Bio reduction of CO₂ and Its Implications to the Chemical Origin of Life on Primitive Earth. ACS Publications. <https://pubs.acs.org/journal/acsodf?ref=pdf>
4. National Geographic. (2016, 16 September). National Geographic. www.nationalgeographic.com.es. https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/grandes-reportajes/biomorfos-imitando-vida_1708
5. Colaboradores de Wikipedia. (2021, mayo 2). Microscopio electrónico de barrido. Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Microscopio_electr%C3%B3nico_de_barrido
6. Colaboradores de Wikipedia. (2020, noviembre 24). Espectroscopia Raman. Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Espectroscopia_Raman
7. Daniel Rodríguez. (2020, 20 octubre). ¿Qué es la difracción de rayos X (XRD) y por qué es tan importante para la industria? Espectrómetros. <https://espectrometria.com.mx/que-es-la-difraccion-de-rayos-x-xrd-y-por-que-es-tan-importante-para-la-industria/>
8. Karp, G. (2011). BIOLOGIA CELULAR Y MOLECULAR (8.a ed.). McGraw-Hill Education.
9. UNAM. (2014, 4 junio). Teoría: Oparin-Haldane. Portal Académico del CCH. <https://e1.portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia2/unidad1/teoriaQuimiosintetica/teoriaOparinHaldane>
10. Paul G. Higgs, & Niles Lehman. (2014, 11 November). The RNA World: molecular cooperation at the origins of life. Recuperado 2 de julio de 2021, de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25385129/>
11. Nelson, D. L. (2021). PRINCIPIOS DE BIOQUÍMICA LEHNINGER, 7/ED (7ma ed.). NY, USA: W.H. Freeman.
12. N. Sánchez-Puig, E. Guerra-Flores, F. López-Sánchez, P. A. Juárez-Espinoza, R. Ruiz-Arellano, R. González-Muñoz, R. Arreguín-Espinosa, & A. Moreno. (2011, 29 November). Controlling the morphology of silica-carbonate biomorphs using proteins involved in biomineralization. SpringerLink. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10853-011-6127-y#article-info>
13. Zhengyang Xue, Qiyang Shen, Lijun Liang, Jia-Wei Shen, & Qi Wang. (2017, 30 Junio). Adsorption Behavior and Mechanism of SCA-1 on Calcite Surface: A Molecular Dynamics Study. ACS Publications. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.langmuir.7b01217>
14. Colaboradores de Wikipedia. (2019a, julio 14). Biomineralización. Wikipedia, la enciclopedia libre. <https://es.wikipedia.org/wiki/Biomineralizaci%C3%B3n>