

## REFLEXIONES

---

### DESCUBRIMIENTO DE POSIBLE BÍOFIRMA EN MARTE: IMPORTANCIA DE LA GEOLOGÍA PLANETARIA

Jesús Martínez Frías

Académico Correspondiente de la Sección de Ciencias Experimentales de la Real Academia de Doctores de España

[j.m.frias@igeo.ucm-csic.es](mailto:j.m.frias@igeo.ucm-csic.es)

La exploración e investigación de Marte constituyen dos objetivos del máximo interés y actualidad. Marte será el primer planeta al que la humanidad va a extenderse, en el proceso de expansión y evolución de la vida, desde sus orígenes en la Tierra, hace miles de millones de años. Asimismo, el “planeta rojo” muestra una transformación geológica y atmosférica, que indica la existencia, de una gran diversidad de sistemas paleoambientales relacionados con el agua (ríos, torrenteras, lagos, deltas y, probablemente, un gigantesco océano en su hemisferio norte) y confirma que, en su pasado, fue habitable. Este último contexto es en el que se enmarca la búsqueda de posibles huellas de vida pasada (bíofirmas/biómarcadores), atrapada en las rocas y sedimentos, algo para lo que la geología planetaria está siendo crucial.

Conviene precisar, que no se debe confundir que un planeta sea habitable, con que la vida haya emergido y, tal vez, evolucionado. Habitabilidad no implica vida, aunque sí constituye un primer paso esencial en su búsqueda más allá de la Tierra. Por eso, antes de nada, es importante señalar que, hasta el momento, la única vida que conocemos es la terrestre. No se ha encontrado vida (ni huellas de su existencia o actividad) en ningún meteorito, planeta, planeta enano, luna o cometa.

Los *rovers* de la NASA, que se encuentran actualmente activos en Marte, el Curiosity y el Opportunity, van equipados con sofisticados equipos instrumentales miniaturizados, capaces de llevar a cabo análisis mineralógicos, geoquímicos e incluso isotópicos muy detallados. Esto, unido a las observaciones y caracterizaciones de la geología del planeta, gracias a los orbitadores y a las cámaras multiespectrales, permite no solo el rastreo e identificación de estas posibles huellas de vida, sino enmarcarlas en sus correspondientes contextos de habitabilidad pasada o presente.

Un hecho curioso sobre la búsqueda científica de bíofirmas es que, aunque el rover Viking 1 de la NASA obtuvo y envió a la Tierra, en julio de 1976, resultados controvertidos y

supuestamente positivos, sugiriendo actividad metabólica en el regolito marciano, el verdadero desarrollo conceptual y metodológico sobre la detección de posibles biofirmas se produjo en los 90 del siglo pasado, gracias al estudio de un meteorito marciano: el ALH84001. En este ejemplar se descubrieron sorprendentes asociaciones mineralógicas de carbonatos y sulfuros, compuestos orgánicos e inusuales texturas, que llevaron a proponer, en un emblemático artículo publicado en la revista Science, liderado por David McKay, del Johnson Space Center de la NASA, la existencia de indicios de vida pasada en Marte.

Esta investigación supuso una auténtica revolución en la investigación e identificación de potenciales indicios de vida y, para numerosos científicos, constituyó el comienzo oficial de la astrobiología en el seno de la NASA. Asimismo, a pesar de que estudios posteriores concluyeron la no necesidad de causas biogénicas para generar todo lo detectado en este meteorito y que su explicación podría ser debida a procesos geológicos, el debate científico surgido impulsó y diversificó los estudios astrobiológicos y la necesidad de una mayor rigurosidad en cualquier descubrimiento de posibles biofirmas. Esto llevó a definir el término geomarcador, como marcador de habitabilidad, frente al de biomarcador, como un indicador relacionado inequívocamente con la vida.

En Marte, tras miles de millones de años, los compuestos orgánicos supuestamente relacionados con la vida, si es que esta emergió, sufrirían un obvio deterioro debido a la radiación y a otras variables ambientales que harían prácticamente imposible su conservación. Por ello, son las características mineralógicas y geoquímicas condicionadas por la posible actividad biológica, preservadas en los afloramientos rocosos y sedimentarios, los que aportarían las claves necesarias para determinar cómo la vida interactuó con los materiales. Por tanto, ¿cuál es la situación actual con respecto al término biofirma? Con objeto de evitar nuevas controversias, la NASA decidió plantear dos términos al respecto: “biofirma” y “posible biofirma”, con notables diferencias conceptuales.

Una “*biofirma o biomarcador*” es cualquier característica, elemento, molécula, sustancia o rasgo que sirve como **evidencia inequívoca** de la existencia de vida pasada o presente. Debe ser algo que no puede producirse de manera abiótica. Algunos ejemplos incluyen los fósiles, moléculas orgánicas derivadas de procesos biológicos, o incluso patrones minerales que se forman únicamente mediante actividad microbiana.

Una “*posible biofirma o biomarcador*” es una sustancia o estructura que **podría tener origen biológico**, pero que requiere más datos o una investigación adicional, antes de alcanzar una conclusión definitiva sobre la ausencia o presencia de vida.

Este segundo caso es el que corresponde al nuevo y apasionante descubrimiento realizado gracias al rover Perseverance de la NASA, 29 años después de la famosa publicación de

McKay sobre el meteorito marciano, y en el que me honra ser uno de los descubridores y coautores del estudio, que se publicó en la revista Nature el pasado 10 de septiembre. La NASA decidió incluso realizar una conferencia de prensa internacional al respecto, explicando los resultados obtenidos. Es tal el interés, incluso social, que ha despertado esta investigación, sobre la “posible biofirma”, que es el segundo más visualizado de la revista Nature en 2025, con más de 405.000 accesos, solo superado por una publicación relativa a las vacunas mRNA.

Básicamente, la “*posible biofirma*” se localizó en los alrededores del cráter Jezero de Marte (donde aterrizó el rover Perseverance), en una formación geológica denominada Bright Angel, concretamente en el afloramiento llamado Cheyava Falls y en la roca específica conocida como Sapphire Canyon. Esta posible biofirma está definida por una asociación mineralógica muy inusual, caracterizada por la presencia de fosfatos hidratados y sulfuros de Fe, de tipo vivianita ( $\text{Fe}_3(\text{PO}_3)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) y greigita ( $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{S}_4$ ), junto con otras fases minerales, tales como filosilicatos, óxidos, pequeños cristales de olivino, sulfatos e incluso carbonatos, así como enriquecimientos geoquímicos en algunos elementos, como Zn, Cu y Ni y carbono orgánico, que en la Tierra suele estar asociada con procesos microbiológicos. Sus texturas son autigénicas (desarrolladas localmente en el propio sedimento), caracterizadas por la presencia de micronódulos, moteados (conocidos popularmente como manchas de leopardo), que realmente son frentes concéntricos de reacción en las rocas lutíticas (rocas sedimentarias de grano fino).

En la Tierra, la vivianita suele ser un fosfato común en ambientes con materia orgánica en descomposición y ciertos microorganismos suelen utilizar el sulfato para producir el sulfuro, la greigita (mediante procesos redox: oxidación/reducción). Obviamente, también se consideró la posibilidad de que todo ello pudiera enmarcarse en procesos genéticos no biológicos. Existen procesos abióticos en la Tierra, que requieren altas temperaturas y condiciones ácidas durante un periodo de tiempo importante, que también podrían explicar lo detectado. Sin embargo, no parece ser el caso de acuerdo con el paleoambiente marciano definido en esta zona: un sistema fluvio-lacustre.

Aunque las noticias sobre cambios geopolíticos de prioridades en las misiones de la NASA muestran una gran incertidumbre, es de esperar que esta roca venga a la Tierra en una futura misión: la *Mars Sample Return* (ya está formando parte de una de las cápsulas/cilindros, donde se van colectando las más de 30 muestras recogidas de especial interés, en relación con esta futura misión de recuperación). Será aquí, en nuestro planeta, donde se pueda evaluar de manera mucho más rigurosa y con técnicas analíticas perfectamente controladas, si esta roca marciana muestra inequívocamente o no huellas de actividad microbiológica. Este será un nuevo paso en la detección y caracterización de biofirmas.

Si los modelos científicos para su detección y caracterización han evolucionado de manera significativa, durante el último cuarto de siglo, el hecho de poder muestrear directamente sobre el planeta y analizar el material directamente allí y posteriormente traerlo a la Tierra, nos aportará, sin duda, un valor añadido adicional a cualquier interpretación científica que se pueda realizar sobre los datos obtenidos.

Lo que es un hecho incuestionable es la importancia de la geología planetaria en este tipo de estudios astrobiológicos, sustentada en las investigaciones en Marte y también en los denominados análogos terrestres, como Lanzarote, donde podemos validar modelos científicos, probar prototipos o evaluar los distintos métodos de caracterización analítica y los estándares mineralógicos, geoquímicos y microbiológicos en la interacción de lo inorgánico con lo orgánico.