UNIDAD DE CULTURA CIENTIFICA

NOTA DE PRENSA

LA GEOQUÍMICA DE LA TIERRA PRIMITIVA PUDO DIRIGIR LA QUÍMICA QUE PRECEDIÓ A LA VIDA

Investigadores del Centro de Astrobiología (CAB), CSIC-INTA, muestran que la composición y la abundancia de los minerales pueden condicionar la química del HCN en entornos acuosos, modulando así el equilibrio entre diversidad y selectividad molecular, dos factores esenciales para comprender cómo evolucionaron los primeros sistemas protobiológicos hacia la vida.

Las reacciones de polimerización del HCN se consideran desde hace décadas una de las vías principales para generar algunos de los compuestos orgánicos que precedieron al origen de la vida. Sin embargo, este estudio demuestra que la composición de las mezclas de reacción obtenidas en este tipo de reacciones depende en gran medida del contexto geoquímico en las que tendrían lugar. Los investigadores comprobaron que algunos minerales, como ciertos silicatos o la alúmina, apenas alteran las rutas de reacción, mientras que minerales ricos en hierro, cobre o carbonatos modifican significativamente la diversidad y la selectividad de las moléculas orgánicas generadas. Además, observaron que un aumento en la abundancia de minerales tiende a reducir la diversidad molecular, poniendo de manifiesto que la identidad y la concentración de los sustratos minerales desempeñan un papel determinante en la evolución de la complejidad química. «Nuestros resultados muestran que los minerales no actuaban simplemente como superficies pasivas o como catalizadores de la química prebiótica, sino que pudieron orientar las rutas de reacción y, con ello, condicionar la evolución química de la Tierra primitiva», explica Antonio López-García, investigador del Centro de Astrobiología y primer autor del trabajo. La diversidad molecular amplía el abanico de posibilidades químicas, mientras que la selectividad favorece aquellas rutas capaces de generar compuestos cada vez más funcionales. El estudio demuestra que este delicado equilibrio no depende únicamente de la química del HCN, sino también de la composición y la abundancia de los minerales presentes en el entorno.

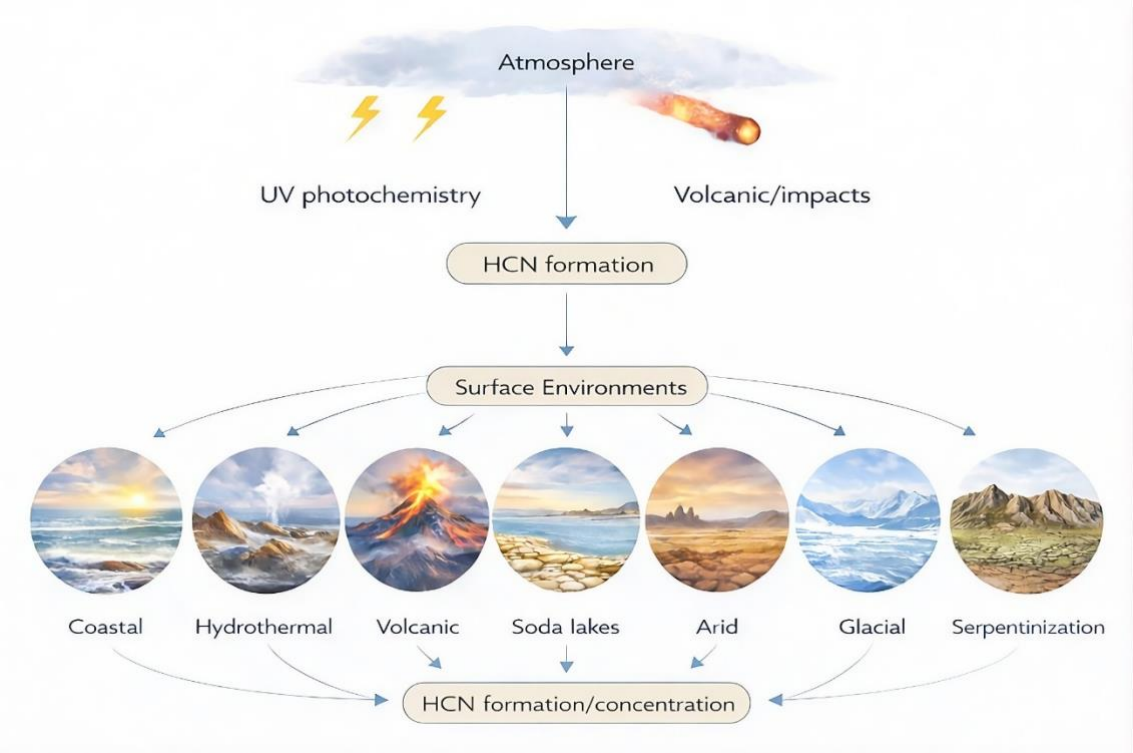
La geoquímica modula la evolución química

Para alcanzar estas conclusiones, el equipo simuló en el laboratorio escenarios planetarios prebióticos basados en aerosoles acuosos. Estos microambientes, formados por pequeñas gotas de agua, pueden favorecer una reactividad distinta a las disoluciones convencionales, ya que concentran reactivos y generan interfaces aire-agua-mineral especialmente activas. En este contexto, disoluciones alcalinas de cianuro reaccionaron en presencia de dieciocho minerales diferentes y con distintas concentraciones de cada uno de ellos. Posteriormente, las complejas mezclas de reacción obtenidas fueron analizadas mediante espectroscopía infrarroja, cromatografía líquida, cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas y herramientas estadísticas multivariantes que permitieron comparar el comportamiento global de cientos de señales químicas sin centrarse en compuestos individuales. El análisis reveló que tanto la composición mineralógica como la carga mineral modifican las rutas de polimerización del cianuro, reorganizando la complejidad química de forma específica para cada ambiente geológico. "La combinación de diferentes técnicas analíticas y herramientas estadísticas nos ha permitido estudiar la química del HCN como modelo de un sistema complejo prebiótico, identificando patrones que pasarían desapercibidos

si solo buscáramos moléculas concretas", señala Marta Ruiz Bermejo, investigadora del Centro de Astrobiología y autora de correspondencia del estudio.

Nuevas claves para la habitabilidad planetaria

Los resultados presentan importantes implicaciones para la Astrobiología, ya que muestran que la evolución química previa al origen de la vida debió de estar condicionada por el contexto geoquímico de cada ambiente planetario. Además, el estudio subraya el papel de los aerosoles acuosos como pequeños micro reactores naturales, capaces de concentrar moléculas y favorecer reacciones distintas a las que ocurrirían en grandes masas de agua. Así, regiones con una composición y abundancia mineral diferentes pudieron seguir trayectorias químicas distintas, generando inventarios moleculares con diferente potencial para evolucionar hacia sistemas cada vez más complejos. Este trabajo aporta un nuevo marco para comprender cómo la geología pudo influir en la habitabilidad de la Tierra primitiva y de otros cuerpos del Sistema Solar, como Marte. Además, al analizar la evolución del sistema químico en su conjunto, en lugar de centrarse en moléculas concretas, el estudio ofrece una nueva perspectiva para investigar los procesos que condujeron al aumento de la complejidad química. «Comprender cómo la geoquímica modula el equilibrio entre diversidad y selectividad molecular nos ayudará a identificar qué ambientes planetarios reunieron, o podrían reunir, las condiciones más favorables para que la materia inerte evolucionara hacia sistemas químicos cada vez más complejos y organizados y, potencialmente, hacia el origen de la vida», concluyen los autores del trabajo.



Ambientes planetarios simulados en este estudio

Título del estudio: Statistical insights into the role of HCN–mineral interactions in aqueous aerosols during chemical evolution
Publicado en: *Communications Chemistry*, julio de 2026.

DOI: 10.1038/s42004-026-02109-0

Investigadores del CAB:

Autor principal: Dr. Antonio López García
Autora de correspondencia:
Dra. Marta Ruiz Bermejo
Centro de Astrobiología (CAB) CSIC-INTA
ruizbm@cab.inta-csic.es

Sobre el CAB

El Centro de Astrobiología (CAB) es un centro de investigación conjunto del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) de España. Fundado en 1999, fue el primer centro del mundo dedicado específicamente a la investigación en astrobiología y el primer miembro asociado no estadounidense del Instituto de Astrobiología de la NASA (actual Programa de Astrobiología de la NASA). Es un centro de investigación interdisciplinar cuyo principal objetivo es estudiar el origen, la presencia y la influencia de la vida en el universo desde un enfoque transdisciplinar. En 2017, el CAB fue distinguido por el Ministerio de Ciencia e Innovación como Unidad de "Excelencia María de Maeztu".

El CAB ha liderado el desarrollo de los instrumentos REMS, TWINS y MEDA, todos ellos operativos en Marte desde agosto de 2012, noviembre de 2018 y febrero de 2021, respectivamente. También ha liderado la parte científica de los instrumentos Raman RLS y RAX que serán lanzados durante esta década a bordo de las misiones ExoMars y MMX. Además, el CAB desarrolla el instrumento SOLID, orientado a la búsqueda de vida en la exploración planetaria. Asimismo, participa en diversas misiones e instrumentos de gran relevancia astrobiológica, como CARMENES, CHEOPS, PLATO, BepiColombo, DART, Hera, los instrumentos MIRI y NIRSpec del James Webb Space Telescope (JWST), y el instrumento HARMONI del Telescopio Extremadamente Grande (ELT) del ESO.

FINANCIACION

Subvención n.º PID2022-140180OB-C22 del Ministerio de Ciencia e Innovación de España/Agencia Estatal de Investigación MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y del "FEDER, Una manera de hacer Europa". Beca postdoctoral Marie Skłodowska-Curie (HORIZON-MSCA-2024-PF-01, acuerdo de subvención n.º 101202168).

CAB SCIENTIFIC CULTURE UNIT (UCC)

divulgacion (+@cab.inta-csic.es); (+34) 915202107