

SOPA PRIMIGENIA A -170°C : EL SECRETO MEJOR GUARDADO DE JÚPITER

Vania Samantha Alanis-Sánchez, Adriana Leticia
Meléndez-López, Jorge Armando Cruz-Castañeda



Resumen

Europa, una de las lunas heladas de Júpiter, oculta bajo su superficie a -170°C un océano global que contiene más agua que todos los mares de la Tierra juntos. Este artículo explora la posibilidad de que este mundo albergue los ingredientes necesarios para la vida, analizando cómo el hidrotermalismo y la radiación de Júpiter podrían impulsar una “evolución química” en sus profundidades. Se describe la hipótesis de una “sopa primigenia” formada por la interacción entre oxidantes superficiales y reductores del fondo oceánico, funcionando como una batería química capaz de sustentar un ecosistema. Finalmente, se discute la relevancia de las misiones espaciales actuales, Europa Clipper (NASA) y JUICE (ESA), cuyos instrumentos buscarán caracterizar este océano y detectar posibles indicios de habitabilidad sin contaminar su entorno pristino.

—

Un mundo de hielo

Imagina que estás de pie en la superficie de Europa, una de las cuatro hermosas lunas galileanas de Júpiter, llamadas así en honor a Galileo Galilei, quien las descubrió en 1610. En el horizonte, todo se presenta como un vasto desierto blanco, adornado con grietas y manchas rojizas congeladas (Figura 1). El termómetro marca -170°C y la radiación puede resultar mortal. A simple vista, parecería el último lugar del Sistema Solar donde buscarías vida fuera de la Tierra. Pero ¿y si te dijera que, en realidad, estás sobre el océano más grande de nuestro vecindario cósmico?

Bajo tus pies, a kilómetros de profundidad, se esconde un océano frío, oscuro y salado que contiene más agua que todos los mares de la Tierra juntos. Y lo más inquietante no es el agua líquida, sino lo que podría estar nadando en ella, gracias a los componentes químicos presentes y al calor que se genera por la danza gravitatoria entre las lunas galileanas y Júpiter, un fenómeno conocido como fuerza de marea.



Figura 1. Representación artística de la superficie de Europa (Recreación artística generada por IA con Google Gemini).

El descubrimiento de un océano oculto

La historia de cómo se descubrió este océano es tan fascinante como el océano en sí. Todo comenzó con las misiones Voyager de la NASA en 1979, que mostraron por primera vez que la superficie de Europa era extraordinariamente lisa, con extensas redes de grietas y fracturas. La comunidad científica sospechó de inmediato que algo extraordinario ocurría bajo esa corteza de hielo.

Pero fue la misión Galileo (1989-2003), la que proporcionó la evidencia más convincente. Sus mediciones del campo magnético revelaron que Europa generaba su propio campo magnético variable, y que este interactuaba con el poderoso campo magnético de Júpiter. Este hecho solo podía explicarse por la presencia de una capa global de un material conductor de electricidad bajo el hielo: un océano de agua salada líquida. Las imágenes de Galileo también nos regalaron un paisaje desconcertante: el llamado “Terreno del Caos” (también conocido como *Conarama Chaos*). Imagina un rompecabezas gigante en el que las piezas se han separado, girado e inclinado antes de volver a congelarse en una matriz de hielo granizado. Esto sugiere que, en algún momento, el hielo se calentó lo suficiente desde abajo como para volverse quebradizo y móvil, lo que permitió que flotarán enormes icebergs de corteza sólida. Estas “cicatrices” geológicas son la huella dactilar del calor interno de la Luna, que lucha por escapar.

Más adelante, el telescopio espacial Hubble nos sorprendió en varias ocasiones con imágenes que parecían mostrar columnas de vapor de agua que emanaban a través de grietas en la corteza helada. Estas columnas, que son similares a los géiseres en la Tierra, pero mucho más grandes, alcanzan alturas de hasta 200 kilómetros. Es maravilloso pensar que estas observaciones indican que el océano subterráneo a veces se conecta con la superficie, lo que nos abre una oportunidad increíble para estudiarlo sin tener que perforar el hielo. Es como una ventana exclusiva que nos permite entender mejor este misterioso mundo bajo el hielo.

La receta de la vida:

Más allá del agua

La astrobiología es una disciplina que, por consenso internacional, se enmarca en el estudio del origen, la evolución, la distribución y el futuro de la vida en el universo. Esta disciplina nos sugiere que, para que la vida pueda emerger, la ‘receta’ básica requiere tres ingredientes fundamentales:

1. Agua en estado líquido que permita que los ingredientes se mezclen e interactúen.
2. Compuestos orgánicos como materia prima.
3. Una fuente de energía: para impulsar los procesos.

Pero debemos tener cautela. Tener una cocina profesional con todos los insumos no

garantiza que aparezca un platillo terminado; también se requieren el proceso culinario y la secuencia correcta de pasos.

¿Qué se necesita realmente para que la vida emerja en las profundidades de este océano extraterrestre? Además del agua líquida, de compuestos orgánicos y de una fuente de energía, se requiere un proceso crucial: que esos compuestos químicos reaccionen entre sí y se transformen en moléculas más grandes y complejas. A este proceso de ensamblaje molecular, fundamental para la vida, se le conoce como evolución química.

¿Y cómo podría darse esta evolución química en las profundidades de Europa?

El motor oculto: hidrotermalismo y evolución química

La respuesta a esta pregunta podría residir en un motor geoquímico que conocemos muy bien en la Tierra: el hidrotermalismo. En general, un sistema hidrotermal consiste en grietas en el fondo oceánico o en la corteza por donde el agua se filtra hacia el interior, entra en contacto con rocas calentadas por el magma y regresa a la superficie como un chorro de agua caliente cargada de minerales disueltos.

En la Tierra, dentro de los océanos, existen dos tipos principales: las chimeneas negras (muy calientes y ácidas) y las blancas, como las del campo hidrotermal “Lost City” en el Atlántico (menos calientes y alcalinas).

Estos sistemas, ya sean en la superficie o en las profundidades oceánicas, funcionan como fábricas naturales de materia orgánica. De hecho, una de las hipótesis sobre el origen de la vida en nuestro planeta sugiere que todo comenzó cerca de estos sistemas hidrotermales.

Precisamente por la posible existencia de estos sistemas hidrotermales, surge el interés en explorar esta luna helada. La comunidad científica ha teorizado que Europa podría albergar sistemas hidrotermales en su lecho oceánico, donde podría formarse materia orgánica. A pesar de estar en la oscuridad, en el frío y a casi 800 millones de kilómetros del Sol, Europa podría tener los ingredientes necesarios y fuentes de energía constantes para preparar una sopa primigenia que, en el caso de la Tierra, se ha hipotetizado que sirvió para que la vida emergiera (Figura 2).



Figura 2. Representación de un sistema hidrotermal en Europa. (Recreación artística generada por IA con Google Gemini).

El combustible que cae del cielo: Radiación y oxígeno

Resulta irónico que la misma radiación de Júpiter, que mataría a un humano en minutos sobre la superficie de Europa, podría ser crucial para la vida en el océano profundo. ¿Recuerdas esas manchas rojizas y las grietas oscuras que mencionamos al inicio? La comunidad científica piensa que son sales (como el sulfato de magnesio) y compuestos orgánicos que han ascendido desde el océano y han sido “bombardeados” por la radiación, lo que ha cambiado su color a ese óxido característico. Pero el proceso inverso es aún más interesante. La radiación rompe las moléculas de hielo en la superficie, liberando oxígeno. Si la corteza de hielo es activa y se recicla (hundándose lentamente hacia el interior en un proceso de subducción similar al de las placas tectónicas terrestres), este oxígeno, rico en energía, podría ser transportado hasta el océano oscuro.

Imagina el encuentro: los reductores químicos que suben desde las chimeneas hidrotermales del fondo se encuentran con los oxidantes que bajan desde la superficie helada. Es como conectar el polo positivo y el negativo de una batería química gigante. Si este ciclo existe, Europa no solo tendría los ingredientes, sino también una “batería” cargada y lista para mantener un ecosistema durante miles de millones de años.

En busca de una respuesta: el viaje hacia el océano más grande

La posibilidad de que exista vida en Europa es realmente emocionante, y la humanidad ha decidido no dejar esa duda sin explorar. Por eso, la NASA ha lanzado la misión Europa Clipper el 14 de octubre de 2024. Nombrada así por las embarcaciones del siglo XIX, esta nave fue diseñada con mucho cuidado para orbitar Júpiter y realizar sorprendentes sobrevuelos cerca de esa enigmática luna. Aunque no pretende posarse en su superficie ni perforar el hielo, utilizará avanzados radares y espectrómetros para estudiar qué hay en su interior. Lo más fascinante de todo es la búsqueda de géiseres. Pero en esta aventura, hay una regla muy importante: “no contaminar”. La posibilidad de encontrar vida es tan seria que las agencias espaciales siguen estrictos protocolos de Protección Planetaria. No podemos arriesgarnos a llevar microbios terrestres que puedan contaminar o, peor aún, colonizar el océano de Europa y así engañar nuestros futuros hallazgos. Por eso, misiones como Galileo fueron enviadas a chocar con la atmósfera de Júpiter al final de su misión, un sacrificio necesario para mantener a Europa intacta hasta que sepamos cómo explorarla de manera segura.

El Telescopio Espacial Hubble ha detectado indicios de que, ocasionalmente, el océano de Europa se presuriza y expulsa plumas de vapor de agua hacia el espacio a través de las grietas, alcanzando alturas de cientos de kilómetros. Si Clipper logra atra-

vesar una de estas plumas, podría analizar directamente la composición del océano interior. Con suerte se podría confirmar si los ingredientes de esa “sopa primigenia” realmente están ahí (Figura 3).

Por su parte la ESA (Agencia Espacial Europea) junto con la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA) y la Agencia Espacial de Israel (ISA) lanzaron el 14 de abril de 2023 su nave interplanetaria **JUICE**, cuyo objetivo es caracterizar el océano subsuperficial, la topografía y composición de la superficie no solo de Europa, sino también de Ganimedes y Calisto otras dos lunas galileanas, las cuales también podrían tener océanos y que se piensa que podrían tener las condiciones para la vida fuera de la Tierra. Increíble, ¿no?

JUICE lleva instrumentos diseñados para caracterizar la geofísica de estas lunas. Pretende responder importantes preguntas como ¿Qué tan profundo es el océano? Y ¿De qué están hechas las manchas rojizas? Sin duda, un esfuerzo sin precedentes para entender los “mundos oceánicos” como una familia de cuerpos celestes.



Figura 3. Representación de la exploración de Europa. (Recreación artística generada por IA con Google Gemini).

Astrobiología: En búsqueda de evidencias

Si Europa Clipper o Juice confirman que esta luna tiene un océano líquido, encuentran compuestos orgánicos complejos que indiquen una evolución química activa en Europa o, en el mejor de los casos, existan biomarcadores, nuestra comprensión del universo cambiará para siempre. Significará que el surgimiento de la vida no es un evento exclusivo de la Tierra, sino un proceso natural que puede ocurrir allí donde hay agua líquida, materia orgánica y energía.

Claro, debemos ser científicamente responsables y tener presente que, para afirmar la existencia de estos procesos biológicos, necesitaremos evidencia experimental sólida, validada e irrefutable.

Tal vez, después de todo, no estemos tan solos en la inmensidad del cosmos; quizás solo tenemos que aprender a buscar no solo bajo las rocas, sino también bajo el hielo.

Referencias y lecturas recomendadas

- Cowen, R. (2013). Hubble spots water vapour venting from Jupiter's moon Europa. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/nature.2013.14357>
- European Space Agency. (2023). JUICE: JUpiter ICy moons Explorer. Recuperado el 15 de noviembre de 2024 de https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Juice
- National Aeronautics and Space Administration. (2024). Europa Clipper: Exploring Jupiter's Ocean World. Recuperado el 15 de noviembre de 2024 de <https://europa.nasa.gov>
- National Geographic. (2023). El sistema solar: Lunas de Júpiter. Recuperado de <https://www.nationalgeographic.com/es/temas/jupiter>
- Szalay, J. R., Allegrini, F., Ebert, R. W., Bagenal, F., Bolton, S. J., Fatemi, S., & McComas, D. J. (2024). Oxygen production from dissociation of Europa's water-ice surface. *Nature Astronomy*. <https://doi.org/10.1038/s41550-024-02206-x>
- Yoffe, G., Duer-Milner, K., Nordheim, T. A., Halevy, I., & Kaspi, Y. (2025). Fluorescent biomolecules detectable in near-surface ice on Europa. *Astrobiology*. Publicación anticipada en línea. <https://doi.org/10.1089/ast.2024.0140>
- Szalay, J. R., Allegrini, F., Ebert, R. W., Bagenal, F., Bolton, S. J., Fatemi, S., McComas, D. J., Pontoni, A., Saur, J., Smith, H. T., Strobel, D. F., Vance, S. D., Vorburger, A., & Wilson, R. J. (2024). Oxygen production from dissociation of Europa's water-ice surface. *Nature Astronomy*, 8(5), 567-576. <https://doi.org/10.1038/s41550-024-02206-x>

Sobre los autores

Vania Samantha Alanis Sánchez. Estudiante de la Licenciatura en Ciencias de la Tierra en la Facultad de Ciencias de la UNAM, enfocada en las Ciencias Espaciales. Actualmente se desempeña como tesista en la Unidad de Laboratorios "Dr. Rafael Navarro González" del Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM, desarrollando investigaciones e intereses académicos sobre (1) la astrobiología y la química planetaria; (2) la simulación experimental de ambientes hidrotermales extraterrestres; y (3) la interacción entre materia orgánica y minerales. Su trabajo de titulación estudia la estabilidad de moléculas orgánicas en condiciones análogas a las del satélite de Júpiter Europa.

Email: samalanis@ciencias.unam.mx

Dra. Adriana Leticia Meléndez López. Profesora de Carrera Asociada C TC en la Escuela Nacional de Ciencias de la Tierra (ENCiT) y miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores Nivel 1. Sus líneas de investigación son: (1) El estudio del efecto de la radiación ionizante y otras fuentes de energía en diferentes medios; (2) El análisis químico cuantitativo enfocado en componentes traza en matrices complejas; (3) La determinación, monitoreo y tratamiento de contaminantes emergentes relevantes para las Ciencias de la Tierra; y (4) La simulación de ambientes terrestres y extraterrestres con relevancia en química prebiótica. Es responsable del Laboratorio de Análisis de Contaminantes en Agua, Suelo y Aire (LACASA) de la ENCiT. Email: adriana.melendez@encit.unam.mx

Dr. Jorge Armando Cruz Castañeda. Investigador Asociado C TC. Sus líneas de investigación están inmersas en evolución química, astrobiología y ciencias planetarias, particularmente en química analítica, hidrotermalismo, búsqueda de vida fuera de la Tierra, simulación de atmósferas planetarias y simulación de ambientes extraterrestres con interés astrobiológico. Es responsable de la Unidad de Laboratorios "Dr. Rafael Navarro González", que incluye los Laboratorios de Química de Plasmas y Estudios Planetarios I y II del Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel 1.

Email: jorge.cruz@nucleares.unam.mx