

La Tierra primitiva empezó a oxigenarse gracias al reciclaje del fósforo marino

## Un estudio del CAB, INTA-CSIC, revela cómo el reciclaje de nutrientes en los océanos arcaicos permitió las primeras acumulaciones de oxígeno, reescribiendo la historia de la Tierra primitiva y la evolución de la vida

**16'abr.'25.**— Un estudio pionero liderado por el Centro de Astrobiología (CAB), INTA-CSIC, y publicado esta semana en **Nature Geoscience** ha revelado el mecanismo detrás de los primeros “oasis de oxígeno” de la Tierra: zonas localizadas de agua marina rica en oxígeno que se formaron hace casi 3.000 millones de años, cientos de millones de años antes de que el oxígeno comenzara a acumularse en la atmósfera.

Aunque los científicos ya sabían que estos oasis temporales existían en los océanos del Arcaico, la nueva investigación, liderada por la **Dra. Fuencisla Cañadas**, investigadora “**Marie Skłodowska-Curie**” del Centro de Astrobiología, revela qué fue lo que permitió su formación: el intenso reciclado del fósforo en los océanos ricos en hierro de la Tierra. “Estos primeros oasis de oxígeno no fueron simplemente eventos biológicos aleatorios”, explica la Dra. Cañadas. “Fueron impulsados por cambios específicos en la química oceánica que liberaron fósforo—un nutriente clave para la vida microbiana—permitiendo a las cianobacterias aumentar la producción de oxígeno.”

El equipo internacional de investigación, con la participación de investigadores de España, Francia, Canadá y el Reino Unido, analizó un testigo de perforación de 2.930 millones de años procedente del área de Red Lake, en Ontario (Canadá). Este testigo proviene de la plataforma marina carbonatada más antigua conocida en la Tierra. Los sedimentos, depositados en un entorno marino abierto, conservan valiosas firmas geoquímicas del Eón Arcaico, una época en la que los océanos eran en

Nota de prensa

gran medida anóxicos (sin oxígeno) y ferruginosos (ricos en hierro). Los sedimentos también conservan estromatolitos: estructuras laminadas similares a rocas, formadas por microorganismos primitivos, principalmente cianobacterias, que atrapaban y consolidaban sedimentos con el tiempo. Estas estructuras representan algunas de las evidencias más antiguas de vida en nuestro planeta.

Utilizando técnicas avanzadas—incluyendo la especiación del hierro, la partición de fases de fósforo y el análisis de metales traza sensibles al potencial redox—los investigadores reconstruyeron las condiciones redox y la dinámica de nutrientes de este antiguo sistema marino. Sus resultados muestran que el fósforo, un nutriente generalmente escaso en los océanos primitivos, fue reciclado de forma intermitente desde los sedimentos hacia la columna de agua durante períodos de enriquecimiento en hierro y sulfuros.

Estos pulsos de nutrientes aportaron fósforo biodisponible, el combustible esencial para las primeras cianobacterias capaces de realizar fotosíntesis oxigénica. El consecuente aumento en el enterramiento de carbono orgánico contribuyó a acumulaciones temporales de oxígeno en aguas superficiales poco profundas, dando lugar a lo que hoy conocemos como oasis de oxígeno. “Lo emocionante es que hemos identificado las condiciones geoquímicas que hicieron posibles estos entornos tempranos ricos en oxígeno”, señala la Dra. Cañadas. “El reciclaje de fósforo fue el catalizador que permitió a la vida alterar significativamente su entorno.”

## **Un preludio al Gran Evento de Oxidación**

Aunque el oxígeno producido en estos oasis arcaicos no se acumuló en la atmósfera—ya que fue rápidamente consumido por compuestos reducidos como el hierro disuelto—el estudio ofrece una visión crucial de cómo la Tierra primitiva pasó lentamente de ser un planeta anóxico a uno capaz de sostener vida compleja. “Estos oasis representan una fase de transición fundamental”, explica la Dra. Cañadas. “Fueron pequeños y efímeros, pero desempeñaron un papel esencial en la configuración de los sistemas biogeoquímicos de la Tierra antes del Gran Evento de Oxidación, que ocurrió casi 500 millones de años después.”

La investigación adelanta en medio milenio la cronología de la acumulación de oxígeno superficial y constituye la evidencia geoquímica directa más antigua de producción de oxígeno asociada al reciclaje local de nutrientes y al control redox. El equipo también comparó la dinámica del reciclaje de fósforo en Red Lake (~2.930 millones de años) con depósitos más jóvenes (~2.500 millones de años) en Sudáfrica, ampliamente estudiados. Descubrieron que, aunque estos oasis más antiguos probablemente fueron más pequeños y menos intensos, el mismo ciclo de retroalimentación—liberación de nutrientes que impulsa la productividad y la oxigenación—ya estaba en funcionamiento.

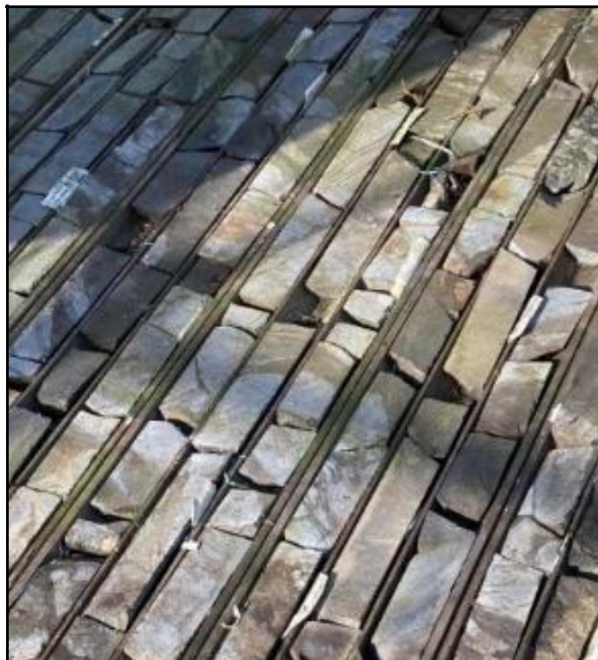
### **Implicaciones para la vida en la Tierra—y más allá**

El estudio aporta una nueva perspectiva sobre la coevolución de la biosfera y el entorno terrestre. Al demostrar que la vida y los ciclos de nutrientes sensibles al redox ya estaban estrechamente interconectados hace 2.930 millones de años, los resultados añaden una nueva dimensión a nuestra comprensión de cómo la Tierra se convirtió en un planeta habitable.

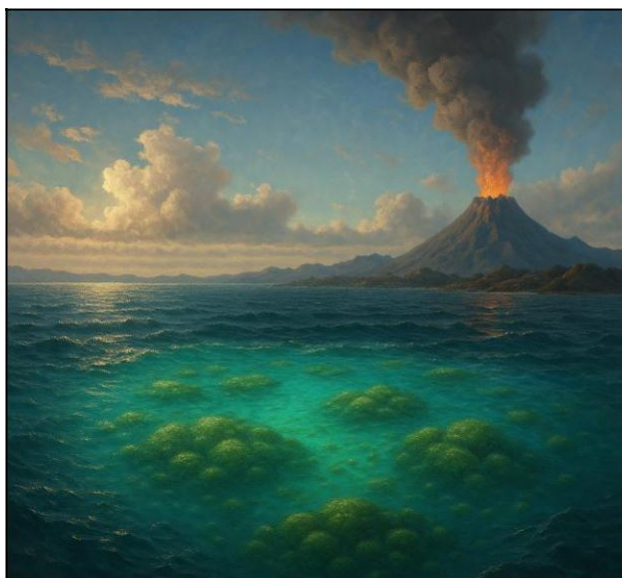
Asimismo, este trabajo tiene importantes implicaciones para la astrobiología. “Si pueden formarse zonas localizadas ricas en oxígeno en entornos globalmente anóxicos, es posible que debamos replantear cómo y dónde buscamos señales de vida en otros planetas”, añade la Dra. Cañadas. “Este estudio sugiere que las biofirmas pueden ser sutiles, localizadas y transitorias, y deberíamos diseñar nuestras estrategias de exploración teniendo esto en cuenta.”

Esta investigación constituye la primera reconstrucción geoquímica detallada del reciclaje de nutrientes en uno de los oasis de oxígeno más antiguos conocidos, y destaca el poder de combinar sedimentología, biogeoquímica y modelización redox para resolver cuestiones fundamentales sobre los primeros entornos de la Tierra. “Hemos abierto una nueva ventana al océano arcaico”, concluye la Dra. Cañadas. “Aún queda mucho por descubrir, pero este es un paso importante hacia la comprensión de cómo la vida temprana moldeó—y fue moldeada por—su entorno.”

## **FIGURAS**



**Figura 1. Testigos de roca del eón Arcaico: páginas esenciales del libro de la historia de la Tierra y la evolución de la vida. Estas muestras, con cerca de 2930 millones de años de anti-güedad, permiten reconstruir los primeros procesos geológicos de la Tierra y estudiar las condiciones que dieron origen a los primeros entornos habitables.**



**Figura 2. Reconstrucción artística de un oasis de oxígeno del Arcaico. Creada por inteligencia artificial mediante herramientas generativas.**

## **CONTACTO**

**Título del estudio:** *Archean oxygen oases driven by pulses of enhanced phosphorus recycling in the ocean*

**Publicado en:** *Nature Geoscience*, 16 abril de 2025:

<https://www.nature.com/articles/s41561-025-01678-4>

**Autora principal y contacto:**

**Dra. Fuencisla Cañadas**

Centro de Astrobiología (CAB), INTA-CSIC

[fcanadas@cab.inta-csic.es](mailto:fcanadas@cab.inta-csic.es)

## **SOBRE EL CAB, INTA-CSIC**

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). Fundado en 1999, fue el primer centro del mundo dedicado específicamente a la investigación astrobiológica 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](#), operativos en Marte desde agosto de 2012, noviembre de 2018 y febrero de 2021, respectivamente; así como la ciencia de los instrumentos raman [RLS](#) y [RAX](#), que serán enviados a Marte a finales de esta década como parte de la misión ExoMars y a una de sus lunas en la misión MMX, respectivamente. Además, desarrolla el instrumento [SOLID](#) para la búsqueda de vida en exploración planetaria. Asimismo, el CAB co-lidera junto con otras tres instituciones europeas el desarrollo del telescopio espacial [PLATO](#), y participa en diferentes misiones e instrumentos de gran relevancia astrobiológica, como MMX, [CARMENES](#), [CHEOPS](#), [BepiColombo](#), [DART](#), [Hera](#), los instrumentos [MIRI](#) y [NIRSpec](#) en [JWST](#) y el instrumento [HARMONI](#) en el [ELT](#) de [ESO](#).

## FINANCIACION

Marie Skłodowska-Curie Actions (MSCA), contrato H2020-MSCA-IF-EF-ST/101022397; L'Agence Nationale de la Recherche (ANR), contrato ANR-21-CE49-0007-01; European Research Council Consolidator contrato nº 818602; Natural Science and Engineering Research Council of Canada Discovery Grant.

