

La complejidad de confirmar la atmósfera de un exoplaneta

¿Tiene atmósfera el exoplaneta TRAPPIST-1 b?

03.01.2025. –Nuevas observaciones ponen de relieve la complejidad de confirmar la atmósfera de un planeta utilizando únicamente datos de emisiones térmicas de banda ancha. Esta idea adquiere mayor importancia con el recién aprobado programa de observación «*Rocky Worlds*» del *Space Telescope Space Institute*, que plantea aplicar este mismo método para estudiar numerosos exoplanetas rocosos en órbita alrededor de estrellas frías.

El telescopio espacial James Webb (JWST) es especialmente eficiente para realizar estudios espectroscópicos detallados de pequeños planetas rocosos que orbitan estrellas enanas frías. En este contexto, la cercana enana roja **TRAPPIST-1**, que alberga siete planetas rocosos del tamaño de la Tierra, incluidos tres situados dentro de la zona habitable de la estrella (Gillon et al., 2017), representa una oportunidad única. En particular, el planeta más interno, **TRAPPIST-1 b**, ha sido ampliamente observado en el infrarrojo medio por JWST (oct. y nov. del 2022 y jul. y nov. del 2023). Un equipo internacional de investigación ha publicado ahora en *Nature Astronomy* un análisis exhaustivo de todos los datos del infrarrojo medio recogidos hasta ahora sobre **TRAPPIST-1 b**, con el objetivo de determinar si este planeta tiene atmósfera.

«Los planetas que orbitan estrellas enanas frías de tipo espectral M ofrecen nuestra mejor oportunidad para estudiar por primera vez las atmósferas de planetas rocosos templados; aquellos que reciben cantidades de flujo similares a las de Mercurio a Marte», explica la Dra. Elsa Ducrot, coautora principal del estudio, antigua postdoc en el *Observatoire de Paris-PSL* y ahora astrónoma adjunta en el *Commissariat aux Énergies Atomiques (CEA)* en París, Francia. «Los planetas de **TRAPPIST-1** constituyen un laboratorio ideal para esta investigación pionera».

Una observación previa con el JWST midió la emisión infrarroja de **TRAPPIST-1 b** a 15 micras y sugirió que era improbable la existencia de una atmósfera de gran tamaño y rica en CO₂ (Greene et al., 2023). Esta conclusión se basaba en el hecho de que el CO₂ absorbe fuertemente la radiación en esta longitud de onda, lo que habría reducido significativamente el flujo observado si tal atmósfera estuviera presente. El estudio propuso que la medición era más coherente con un escenario de «roca desnuda oscura»; es decir, un planeta sin atmósfera y una superficie oscura que absorbe casi toda la luz estelar entrante. Sin embargo, una sola medición en una longitud de onda no basta para descartar todos los posibles escenarios atmosféricos.

En este nuevo estudio, los autores ampliaron este trabajo midiendo el flujo del planeta en otra longitud de onda, **12,8 micras**, mucho más allá de lo que percibe el ojo humano. Realizaron un análisis global de todos los datos disponibles del JWST y compararon estas observaciones con modelos de superficie y atmosféricos para identificar el escenario que mejor se ajusta a los datos.

Emisión al rescate

El método más intuitivo utilizado por los astrónomos para saber si un exoplaneta tiene atmósfera consiste en observar su paso por delante de su estrella anfitriona (bloqueando parcialmente la luz de la estrella durante ~30 min) en varias longitudes de onda para detectar qué partes de la luz se transmiten o no, indicativo de la presencia de moléculas. Sin embargo, surgen problemas de contaminación estelar en el caso de los planetas alrededor de estrellas muy frías. Esto se debe a que estas estrellas no son homogéneas, sino que poseen puntos calientes y fríos en su superficie. Estos puntos tienen sus propias características espectrales que pueden contaminar el espectro de transmisión de los planetas en tránsito e imitar las características atmosféricas. Este fenómeno se ha observado en múltiples ocasiones con el JWST al observar los tránsitos de planetas alrededor de estrellas frías.

Una solución para superar esta contaminación estelar y seguir obteniendo información sobre la presencia de una atmósfera es medir directamente el calor que llega al planeta observando una caída de flujo cuando el planeta pasa por detrás de la estrella (ocultación). Observando la estrella justo antes y durante la ocultación podemos deducir la cantidad de luz infrarroja procedente del planeta (véase la figura 1).

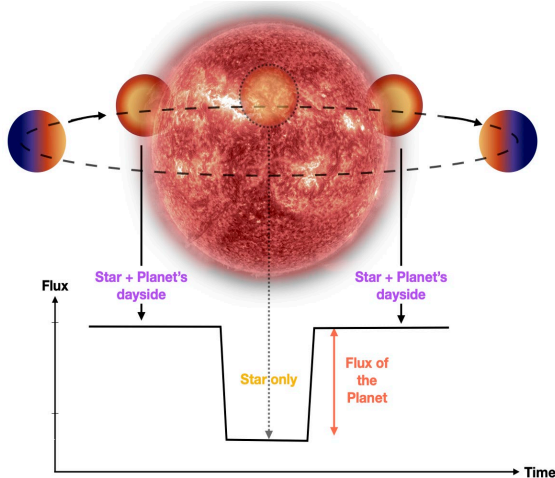


Figura 1: Ilustración observación de la estrella justo antes y durante la ocultación.

«Durante los dos primeros años de vida de JWST, la emisión se ha convertido rápidamente en el método preferido para estudiar exoplanetas rocosos en torno a enanas M», explica Pierre-Olivier Lagage, coautor del estudio y jefe del Departamento de Astrofísica del *Commissariat aux Énergies Atomiques* (CEA) de París (Francia). «En el caso de los planetas de **TRAPPIST-1**, los primeros datos proceden de las mediciones de las emisiones, ya que separar las señales atmosféricas de las estelares en tránsito sigue siendo un reto».

Como reflejo de este creciente interés, el STScl aprobó recientemente un programa de 500 horas de Tiempo Discrecional del Director (DDT) llamado «Mundos Rocosos» para investigar las atmósferas de exoplanetas terrestres alrededor de estrellas enanas de tipo M cercanas. Para ello, se utiliza exactamente el mismo enfoque que los autores, mediante observaciones de ocultación, pero sólo a 15 micras.

En el escenario de «superficie oscura desnuda» propuesto por Greene et al. (2023), la temperatura esperada a 12,8 micras era de unos 227°C. Sin embargo, la medición real mostró una temperatura inferior, de 150°C. Para explicar esta discrepancia, los autores exploraron varios modelos de superficie y atmosféricos. Descubrieron que una superficie desnuda de rocas *ultramáficas* (rocas volcánicas ricas en minerales) podría coincidir con las observaciones. Esto se debe a que las rocas ultramáficas emiten menos radiación térmica a 12,8 micras en comparación con una superficie oscura genérica, como se muestra en la figura 2.

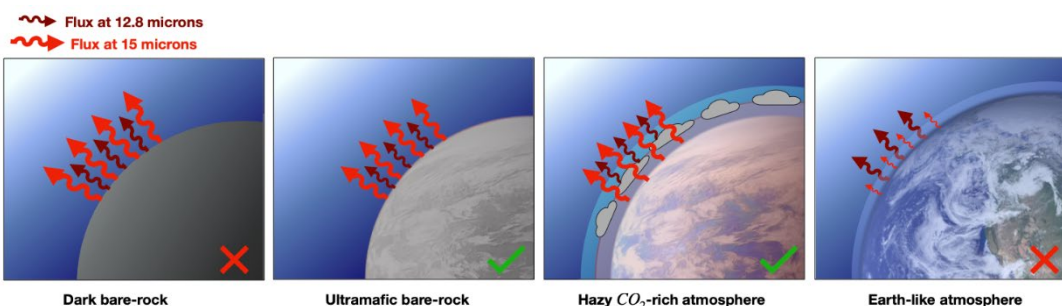


Figura 2: Ilustración del flujo emitido a 12,8 y 15 micras para varios escenarios de roca.

Los autores también descubrieron que una atmósfera con mucho CO₂ y brumas podría explicar las observaciones. Las brumas son pequeñas partículas o gotitas suspendidas en la atmósfera de un planeta, a menudo creadas por reacciones químicas, actividad volcánica o luz solar. Estas partículas pueden dispersar y absorber la luz, afectando al aspecto de la atmósfera y a su temperatura. Por ejemplo, se encuentran brumas en la atmósfera de Titán, la famosa luna de Saturno.

Es sorprendente que una atmósfera rica en CO₂ y brumosa coincida con los datos, porque se pensaba que el CO₂ no era coherente con la elevada emisión observada a 15 micras. Sin embargo, las brumas pueden cambiar las cosas. Reflejan mucha luz y pueden hacer que la atmósfera superior se caliente más que las capas inferiores, creando una inversión térmica como la estratosfera terrestre. Esto hace que el CO₂ emita radiación en lugar de absorberla, lo que conduce a un mayor flujo a 15 micras en comparación con 12,8 micras, un resultado inesperado en comparación con cómo se comporta el CO₂ en la Tierra o Venus.

«Estas inversiones térmicas son bastante comunes en las atmósferas de los cuerpos del Sistema Solar, siendo quizá el ejemplo más similar la brumosa atmósfera de Titán, la luna de Saturno. Sin embargo, se espera que la química de la atmósfera de **TRAPPIST-1b** sea muy diferente a la de Titán o a la de cualquiera

de los cuerpos rocosos del Sistema Solar y resulta fascinante pensar que podríamos estar ante un tipo de atmósfera que nunca antes habíamos visto», explica el Dr. Michiel Min, del Instituto Holandés de Investigación Espacial SRON.

Los autores señalan, sin embargo, que este modelo atmosférico, aunque concuerda con los datos, sigue siendo menos probable que la hipótesis de la roca desnuda. Su complejidad y los interrogantes sobre la formación de bruma y la estabilidad climática a largo plazo en **TRAPPIST-1 b** lo convierten en un ajuste difícil. En el futuro será necesario llevar a cabo investigaciones que incluyan modelos 3D avanzados para explorar estas cuestiones. En términos más generales, el equipo subraya la dificultad de determinar definitivamente la superficie o la composición atmosférica de un planeta utilizando únicamente mediciones de filtros de banda ancha, aunque señala dos hipótesis convincentes que se explorarán más a fondo con las próximas observaciones de la curva de fase de **TRAPPIST-1 b**, que es la variación en el brillo de un exoplaneta a medida que orbita su estrella, causada por cambios en la parte iluminada visible desde la Tierra. Proporciona información sobre la atmósfera del planeta, las propiedades de su superficie y la distribución de su temperatura.

¿Y ahora, qué?

Aunque ambas hipótesis siguen siendo viables, los autores explican que las recientes observaciones de la curva de fase de **TRAPPIST-1 b** -que rastrean el flujo del planeta a lo largo de su órbita- podrían ayudar a resolver el misterio. Analizando la eficacia con la que el calor se redistribuye por el planeta, los astrónomos pueden deducir si existe una atmósfera. «Nuestro programa JWST pretende medir la eficacia de la transferencia de calor desde el lado diurno al nocturno de los dos planetas interiores de **TRAPPIST-1**, lo que debería revelar la existencia o ausencia de atmósfera. Si existe una atmósfera, el calor debería distribuirse desde el lado diurno del planeta hacia su lado nocturno; sin atmósfera, la redistribución del calor sería mínima», explica el profesor Michaël Gillon, de la Universidad de Lieja, que codirige junto con la Dra. Elsa Ducrot esta próxima investigación para arrojar más luz sobre la atmósfera de **TRAPPIST-1 b**.

David Barrado, investigador del **Centro de Astrobiología (CAB)** y coautor de este estudio, resalta que: «El JWST y, en concreto, el instrumento MIRI, en cuyo desarrollo el **CAB** e **INTA** han invertido un esfuerzo considerable, se ha convertido muy rápidamente en la herramienta definitiva para caracterizar los exoplanetas con un nivel de detalle sorprendente. Estas capacidades se verán muy pronto complementadas con nuevos satélites en órbita, como es el caso de **PLATO**, en el que España también ha invertido una cantidad de recursos muy considerables. Sin duda, el futuro seguirá deparándonos muchas sorpresas».



Sobre el CAB

El [Centro de Astrobiología \(CAB\)](#) es un centro mixto de investigación del **INTA** y del CSIC. Creado en 1999, fue el primer centro del mundo dedicado específicamente a la investigación astrobiológica y el primer centro no estadounidense asociado al *NASA Astrobiology Institute (NAI)*, actualmente *NASA Astrobiology Program*. Se trata de un centro multidisciplinar cuyo principal objetivo es estudiar el origen, presencia e influencia de la vida en el universo mediante una aproximación transdisciplinar. El **CAB** fue distinguido en 2017 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** *colidera* 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](#).

Para más información, por favor, contacte con:
Área de Cultura Científica, Comunicación y
Relaciones Públicas del INTA.
Teléfono: +34 91 520 21 27
Correo electrónico: prensa@inta.es

Fuente:

Artículo científico en: <https://www.nature.com/articles/s41550-024-02428-z>

Contacto

Contacto 1 (EN, FR): Elsa Ducrot (elsa.ducrot@obspm.fr)

Contacto 2 (EN, ES): David Barrado (barrado@cab.inta-csic.es)

Investigadores del CAB: David Barrado y Luis Colina

FINANCIACIÓN

Proyecto PID2019-107061GB-C61 financiado por MCIN/ AEI /10.13039/501100011033/ y por FEDER Una manera de hacer Europa

