

DETECTANDO VIDA A AÑOS LUZ: LA NUEVA ERA DE LA ASTROBIOLOGÍA

Ignasi Ribas

Mi objetivo en esta conferencia es explicaros dónde nos encontramos actualmente en el intento de responder a una de las grandes preguntas de la ciencia y de la humanidad: ¿estamos solos en el universo?

En los últimos años hemos avanzado mucho. Mañana tendréis en este mismo escenario a Didier Queloz, pionero en la búsqueda de exoplanetas. De hecho, hace apenas unos días se cumplió el 31º aniversario del anuncio del descubrimiento de 51 Pegasi b, el primer planeta encontrado alrededor de una estrella similar al Sol.

Hoy sabemos que existen muchísimos planetas fuera de nuestro sistema solar. Algunos podrían tener condiciones adecuadas para que surgiera la vida. Pero ¿ha aparecido realmente la vida en alguno de ellos? ¿Están habitados? ¿Podremos algún día viajar hasta esos mundos y convertirnos en una civilización interestelar?

Creo que estamos viviendo un momento privilegiado. Hace unos cuatro siglos, la revolución copernicana nos enseñó que la Tierra no era el centro del universo, sino un planeta más que gira alrededor del Sol. Después descubrimos que el Sol es una estrella entre muchas otras y que nuestra galaxia es solo una entre miles de millones.

No ocupamos ningún lugar privilegiado en el universo. Sin embargo, todavía conservamos un privilegio: por ahora, la Tierra es el único lugar donde sabemos con certeza que existe vida.

Estamos empezando a disponer de las herramientas necesarias para investigar si eso es realmente así. ¿Somos únicos? ¿Qué lugar ocupa la humanidad en el universo? Todavía no lo sabemos. Y, aunque ojalá encontremos vida fuera de la Tierra, debemos reconocer que, por ahora, no tenemos ninguna evidencia confirmada de que exista.

La búsqueda de vida en nuestro sistema solar

Cuando queremos buscar vida fuera de la Tierra, lo más lógico es comenzar por nuestro propio sistema solar.

Marte es uno de los principales candidatos. Tenemos pruebas sólidas de que en el pasado tuvo agua líquida en su superficie, una circunstancia que podría haber favorecido el surgimiento de la vida. No sabemos si estuvo habitado, pero distintas misiones espaciales estudian el planeta y analizan sus materiales para intentar responder a esta pregunta.

También resultan muy interesantes algunas lunas heladas de los planetas gigantes.

Una de ellas es Europa, satélite de Júpiter. Disponemos de pruebas de que bajo su corteza de hielo, de varios kilómetros de espesor, existe un océano de agua líquida. Es posible que ese océano reúna condiciones adecuadas para la vida, aunque todavía no tenemos evidencias de que exista.

Otro caso fascinante es Encélado, una luna de Saturno. También podría albergar un océano subterráneo y presenta actividad criovolcánica, mediante la cual expulsa material al espacio. Esto permite estudiar muestras de su interior sin necesidad de perforar kilómetros de hielo. Las futuras misiones espaciales podrían ayudarnos a determinar si allí existen condiciones favorables para la vida o incluso indicios de actividad biológica.

Mientras tanto, podemos estudiar estos mundos desde la Tierra. Esa es precisamente una de las tareas de la astronomía, una ciencia fascinante que tiene una particularidad: no podemos manipular directamente los objetos que estudia. Debemos investigar la radiación, la luz y otras señales que nos llegan desde el espacio.

¿Cómo podemos descubrir planetas alrededor de otras estrellas?

Hagamos un ejercicio mental. Viajemos hasta Tau Ceti, una estrella que aparece en la novela y la película *Proyecto salvación* (*Project Hail Mary*). En la historia, el protagonista, interpretado por Ryan Gosling, viaja hasta allí para intentar salvar nuestro Sol.

Imaginemos que nos acercamos a Tau Ceti con un telescopio extraordinariamente potente. Si observáramos un sistema planetario como el nuestro desde esa distancia, nos encontraríamos con un problema: los planetas son extremadamente débiles en comparación con sus estrellas. La Tierra, por ejemplo, es aproximadamente mil millones de veces menos brillante que el Sol en luz visible.

Por eso resulta tan difícil observar directamente los planetas de otras estrellas. De hecho, solo se ha conseguido fotografiar directamente una pequeña parte de los exoplanetas conocidos, especialmente aquellos que son jóvenes, masivos y relativamente brillantes.

¿Cómo hemos conseguido descubrir entonces miles de planetas? Mediante técnicas indirectas, que permiten detectar el efecto que un planeta produce sobre su estrella.

Los dos métodos más importantes son las velocidades radiales y los tránsitos planetarios. También utilizamos la astrometría, que mide los pequeños cambios de posición de una estrella, y otras técnicas como las microlentes gravitatorias y el cronometraje de púlsares.

El método de las velocidades radiales

Aunque solemos imaginar que los planetas giran alrededor de estrellas inmóviles, en realidad ambos cuerpos orbitan alrededor de un centro de masas común.

Como consecuencia, la estrella también se mueve, aunque mucho menos que el planeta. Si conseguimos medir ese pequeño movimiento, podemos deducir la presencia de un planeta.

Para ello utilizamos el efecto Doppler. Cuando una fuente de luz se acerca a nosotros, su longitud de onda disminuye y la luz se desplaza hacia el azul. Cuando se aleja, la longitud de onda aumenta y la luz se desplaza hacia el rojo.

La estrella realiza un pequeño movimiento de vaivén debido a la presencia del planeta. Ese movimiento modifica ligeramente la posición de las líneas de su espectro y nos permite medir sus velocidades radiales.

En un espectro estelar encontramos miles de líneas oscuras producidas por la absorción de luz por los átomos y los iones de la atmósfera de la estrella. Si medimos con precisión la posición de esas líneas, podemos detectar variaciones minúsculas en su longitud de onda.

No nos basamos en una sola línea, sino en miles de ellas. Al combinar toda esa información, conseguimos mediciones extraordinariamente precisas, capaces de detectar cambios de velocidad de alrededor de un metro por segundo e incluso inferiores con algunos instrumentos y en condiciones favorables.

Es impresionante: podemos medir el movimiento de una estrella de aproximadamente un millón y medio de kilómetros de diámetro con una precisión comparable a la velocidad de una persona caminando.

La amplitud de ese movimiento depende, entre otros factores, de la masa del planeta. Sin embargo, las velocidades radiales no permiten determinar por sí solas su masa exacta, porque también interviene la inclinación de la órbita respecto a nuestra línea de visión. En general, obtenemos una masa mínima, salvo que dispongamos de información adicional.

51 Pegasi b: un descubrimiento que cambió la astronomía

El 6 de octubre de 1995, Michel Mayor y Didier Queloz anunciaron el descubrimiento de 51 Pegasi b. Aquel planeta tenía aproximadamente la mitad de la masa de Júpiter y completaba una órbita alrededor de su estrella en tan solo 4,2 días.

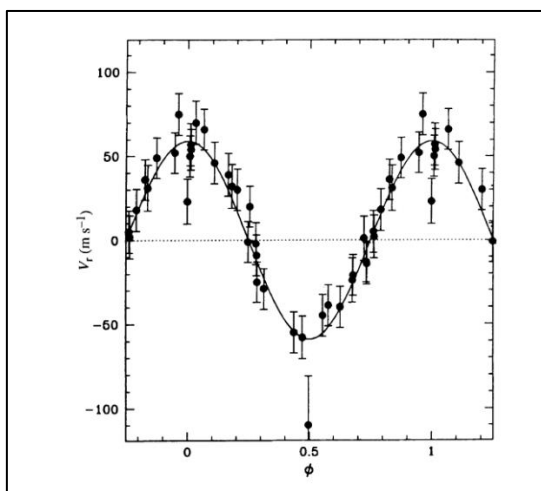


Figura 1. Curva de la velocidad radial de 51 Pegasi b

El descubrimiento fue revolucionario porque no se parecía a lo que esperábamos encontrar. Hasta entonces, los modelos de formación planetaria estaban muy influidos por nuestro sistema solar: planetas pequeños y rocosos cerca del Sol, y gigantes gaseosos mucho más alejados. Sin embargo, 51 Pegasi b era un gigante gaseoso extremadamente próximo a su estrella. Es lo que llamamos un *Júpiter caliente*.

El descubrimiento demostró que la naturaleza podía formar sistemas planetarios muy diferentes del nuestro. Los planetas pueden migrar desde las regiones exteriores de un sistema hasta acercarse mucho a su estrella.

La observación se adelantó a la teoría y obligó a los científicos a revisar sus modelos. Por este descubrimiento, Mayor y Queloz recibieron conjuntamente una parte del Premio Nobel de Física de 2019.

Lo extraordinario es que el resultado se apoyaba en una gráfica aparentemente sencilla: unas mediciones que mostraban el movimiento periódico de una estrella. A partir de esos datos se dedujo la existencia de un planeta que nadie había visto directamente.

La búsqueda de planetas con CARMENES

Actualmente participo en el trabajo científico del instrumento CARMENES, instalado en el telescopio de 3,5 metros del Observatorio de Calar Alto, en Almería.

Este instrumento utiliza dos canales espectroscópicos para medir velocidades radiales en un amplio intervalo de longitudes de onda. Nuestro objetivo es encontrar planetas alrededor de estrellas mucho menos masivas que el Sol.

Estas estrellas pequeñas son especialmente interesantes porque un planeta puede producir en ellas un movimiento relativamente más fácil de detectar. Además, algunos planetas rocosos pueden encontrarse en regiones donde las temperaturas permitan la existencia de agua líquida.

CARMENES ha contribuido al descubrimiento de numerosos exoplanetas. En el futuro, instrumentos como ANDES, previsto para el Extremely Large Telescope (ELT), permitirán llevar estas mediciones a un nivel de precisión todavía mayor.

Los tránsitos planetarios

El segundo gran método de detección es el de los tránsitos, especialmente interesante para la astronomía amateur.

Si la órbita de un planeta está alineada adecuadamente con nuestra línea de visión, el planeta pasa periódicamente por delante de su estrella y oculta una pequeña parte de su superficie.

Como consecuencia, el brillo de la estrella disminuye ligeramente. Cuando el planeta termina de pasar, el brillo recupera su valor habitual.

Si representamos el brillo de la estrella a lo largo del tiempo, obtenemos una curva de luz con una pequeña caída durante cada tránsito.

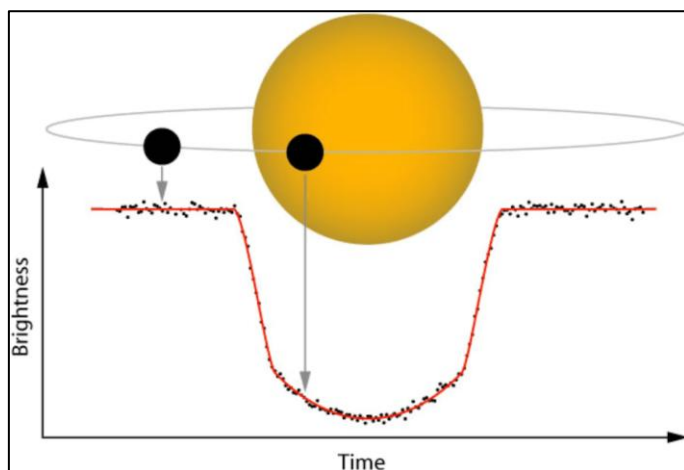


Figura 2. Curva de luz de un tránsito planetario

La profundidad de esa caída depende de la proporción de superficie estelar que queda oculta. Por tanto, si conocemos el tamaño de la estrella, podemos calcular el radio del planeta.

Además, si medimos también su masa mediante velocidades radiales, podemos determinar su densidad y obtener información sobre su composición.

Este método se desarrolló durante la década de 1990. En 1999, David Charbonneau y otros investigadores demostraron que era posible detectar tránsitos planetarios utilizando telescopios relativamente pequeños. Una variación del brillo de alrededor del 1,5 % podía medirse con instrumentos de categoría amateur.

Esto demuestra que la astronomía profesional y la amateur pueden complementarse. Los aficionados pueden observar tránsitos, confirmar predicciones y aportar datos útiles para el estudio de los exoplanetas.

Las misiones espaciales dedicadas a buscar exoplanetas

La búsqueda de tránsitos dio un gran salto con las misiones espaciales.

COROT fue una de las primeras misiones dedicadas a esta tarea. Después llegó Kepler, que descubrió miles de candidatos y confirmó la extraordinaria abundancia de planetas en nuestra galaxia. Posteriormente, la misión TESS de la NASA amplió considerablemente la búsqueda, observando grandes campos estelares.

También disponemos de CHEOPS, una misión europea cuyo objetivo principal no es buscar planetas a ciegas, sino estudiar con mayor precisión planetas que ya conocemos.

Estas misiones observan simultáneamente cientos de miles de estrellas durante largos periodos. Así aumentan las posibilidades de encontrar planetas cuyas órbitas estén alineadas de manera que produzcan tránsitos.

La principal limitación es geométrica: solo detectamos tránsitos cuando la órbita tiene una orientación adecuada respecto a nosotros. Por eso se nos escapan muchos planetas, aunque sus sistemas puedan ser perfectamente normales.

En el futuro, PLATO, una misión de la Agencia Espacial Europea cuyo lanzamiento está previsto para 2027, buscará planetas alrededor de estrellas brillantes, con especial atención a sistemas parecidos al Sol y a la Tierra. Su objetivo será detectar planetas con periodos orbitales más largos que los habituales en muchos de los descubrimientos actuales.

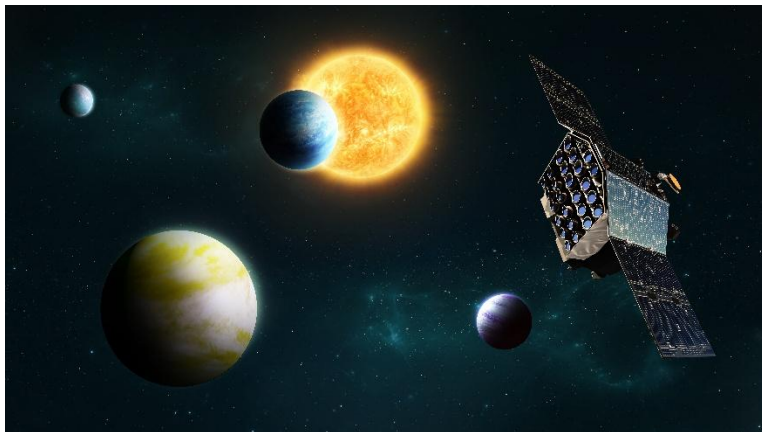


Figura 3. Futura misión PLATO

¿De qué están hechos los exoplanetas?

Una vez descubierto un planeta, queremos conocer sus características físicas. Si combinamos los tránsitos, que nos permiten medir su radio, con las velocidades radiales, que nos proporcionan información sobre su masa, podemos calcular su densidad media. Esto resulta fundamental para investigar su composición.

Un planeta muy denso podría estar formado principalmente por hierro y roca. Otro, de la misma masa, pero con un radio mucho mayor, podría contener una proporción importante de agua o de materiales volátiles, o estar rodeado por una envoltura de hidrógeno y helio.

Gracias a estos datos distinguimos diferentes familias de planetas: los rocosos, las supertierras, los subneptunos, los neptunos y los gigantes gaseosos.

Uno de los grandes problemas actuales consiste en comprender por qué planetas con masas parecidas pueden tener radios y densidades tan diferentes. Esto nos proporciona información sobre su formación, su evolución y la composición de sus interiores.

Mundos muy distintos de la Tierra

Uno de los ejemplos más interesantes es Kepler-10b, una supertierra muy próxima a su estrella.

Se encuentra tan cerca de ella que las fuerzas de marea probablemente han sincronizado su rotación con su periodo orbital. Eso significa que presenta siempre la misma cara hacia la estrella: un hemisferio permanece iluminado y el otro queda permanentemente en la oscuridad.

Las temperaturas del lado diurno pueden alcanzar valores del orden de los 2.000 °C. En esas condiciones, es posible que la superficie esté parcialmente fundida y presente regiones de roca líquida.

No tenemos imágenes directas de su superficie, por lo que las representaciones de océanos de lava son ilustraciones basadas en modelos físicos. Sin embargo, muestran hasta qué punto pueden existir mundos radicalmente distintos del nuestro.

En estos treinta años hemos descubierto gigantes gaseosos muy próximos a sus estrellas, planetas rocosos extremadamente calientes, sistemas con órbitas muy excéntricas y muchas otras configuraciones que no encontramos en nuestro sistema solar.

La naturaleza no produce únicamente sistemas como el nuestro: existe una enorme diversidad de mundos.

¿Cuántos planetas hay en la galaxia?

Esta es una de las preguntas cuya respuesta resulta más sorprendente. Los estudios estadísticos indican que una gran proporción de las estrellas tiene planetas. De hecho, es probable que la mayoría de las estrellas de la Vía Láctea alberguen sistemas planetarios.

Las estimaciones varían según el tipo de planeta y la población estelar estudiada, pero los planetas pequeños y medianos son muy abundantes. Los gigantes de gran tamaño son menos frecuentes. Por tanto, es muy probable que nuestra galaxia contenga más planetas que estrellas. Y debemos recordar que la Vía Láctea contiene del orden de cientos de miles de millones de estrellas. Si muchas de ellas tienen planetas, el número total de mundos debe ser extraordinario.

Cuando observéis el cielo en una noche oscura, pensad que muchas de las estrellas que veis podrían tener planetas orbitando a su alrededor.

Sin embargo, hay que tener cuidado con los gráficos que muestran los exoplanetas conocidos (figura 4). Los métodos de detección tienen sesgos importantes: resulta más fácil encontrar planetas grandes y próximos a sus estrellas que planetas pequeños situados a grandes distancias. Por eso, algunas regiones de los diagramas aparecen llenas de puntos y otras casi vacías. No significa necesariamente que esos planetas no existan, sino que todavía nos cuesta detectarlos.

La Tierra, por ejemplo, ocupa una región de los diagramas donde aún tenemos relativamente pocos descubrimientos comparables. Esto no significa que sea un planeta excepcional, sino que nuestras técnicas todavía tienen dificultades para encontrar mundos como el nuestro.

Las futuras misiones y los nuevos instrumentos ayudarán a completar estas regiones que hoy permanecen poco exploradas.

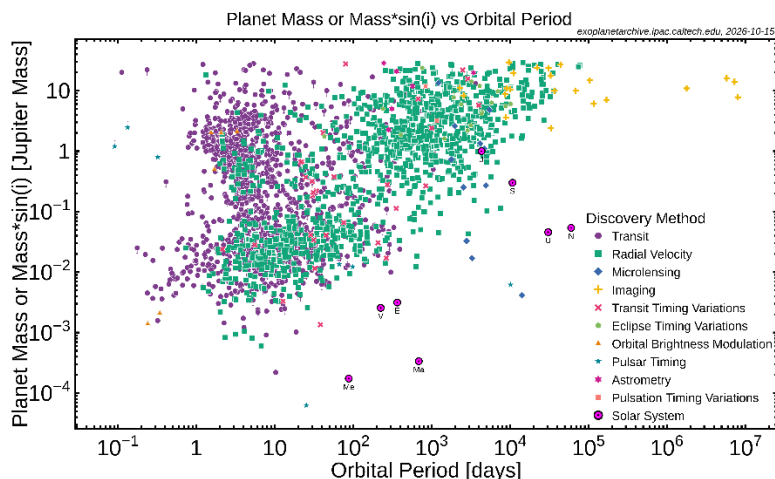


Figura 4. Gráfica masa-periodo orbital de los exoplanetas conocidos

¿Dónde están los exoplanetas conocidos?

La mayor parte de los exoplanetas que hemos descubierto se encuentran relativamente cerca de nosotros, a distancias de hasta unos miles de años luz, aunque algunos descubrimientos alcanzan regiones más lejanas de la galaxia.

La Vía Láctea tiene aproximadamente 100.000 años luz de diámetro, y el Sol se encuentra a unos 26.000 años luz del centro galáctico.

Por tanto, solo hemos explorado una pequeña parte de la galaxia en nuestra búsqueda de planetas.

Uno de los sistemas más cercanos e interesantes es el de Próxima Centauri, la estrella más próxima al Sol, situada a poco más de cuatro años luz. Sabemos que tiene al menos un planeta, Próxima Centauri b, y existen indicios de otros posibles compañeros.

Que una estrella tan cercana tenga planetas ilustra la frecuencia con la que se forman estos sistemas.

Pero una cosa es descubrir un planeta y otra muy distinta viajar hasta él. Con la tecnología espacial que hemos desarrollado hasta ahora, un viaje a Próxima Centauri duraría decenas de miles de años. Una estimación del orden de 75.000 años ilustra la magnitud del desafío si utilizáramos una sonda de velocidades comparables a las de nuestras naves más rápidas.

Por eso, aunque la ciencia ficción nos permita imaginar viajes interestelares rápidos, en la realidad estamos todavía muy lejos de conseguirlos.

Sistemas planetarios muy diferentes del nuestro

Cuando estudiamos sistemas con varios planetas, descubrimos una variedad extraordinaria de configuraciones orbitales.

Algunos tienen planetas muy próximos a su estrella que completan una órbita en pocos días. Otros presentan varios planetas en órbitas compactas, y algunos muestran relaciones orbitales particulares, conocidas como resonancias.

Estas configuraciones nos ayudan a comprender cómo se forman los sistemas planetarios y cómo evolucionan sus órbitas.

Nuestro sistema solar no es necesariamente el modelo típico. Hay sistemas mucho más compactos, con varios planetas muy próximos entre sí, y otros con gigantes gaseosos que ocupan posiciones muy diferentes de las que encontramos en el entorno del Sol.

Planetas con dos soles y la búsqueda de exolunas

¿Recordáis Tatooine, el planeta de *Star Wars* donde creció Luke Skywalker y desde el que se observan dos soles? Pues hemos descubierto planetas que orbitan alrededor de dos estrellas.

Son sistemas circumbinarios, y demuestran que algunos de los mundos imaginados por la ciencia ficción tienen equivalentes reales.

También se han propuesto planetas con superficies heladas, océanos globales o temperaturas extremas. No siempre podemos confirmar que sean exactamente como los que aparecen en las películas, pero los descubrimientos muestran que la realidad puede ser tan sorprendente como la imaginación.

En cambio, todavía no hemos confirmado de manera inequívoca ninguna exoluna, es decir, ninguna luna que orbite alrededor de un planeta situado fuera de nuestro sistema solar. Existen candidatos, pero detectarlos es extraordinariamente difícil porque son cuerpos pequeños que producen señales muy débiles.

Cómo estudiar las atmósferas de los exoplanetas

Descubrir un planeta es solo el primer paso. Si queremos saber si puede ser habitable, necesitamos estudiar sus características, especialmente su atmósfera.

Los tránsitos ofrecen una posibilidad extraordinaria para hacerlo.

Cuando un planeta sin atmósfera pasa por delante de una estrella, la profundidad del tránsito es prácticamente la misma en diferentes longitudes de onda, siempre que tengamos en cuenta los efectos instrumentales.

Pero si el planeta tiene atmósfera, una parte de la luz estelar atraviesa esa envoltura gaseosa antes de llegar a nosotros.

Los gases absorben determinadas longitudes de onda y dejan pasar otras. Por tanto, el tamaño aparente del planeta puede variar ligeramente según el color en el que lo observemos.

Si medimos cuidadosamente la profundidad del tránsito en diferentes longitudes de onda, obtenemos un espectro de transmisión. Este espectro contiene información sobre los compuestos químicos presentes en la atmósfera.

La técnica fue desarrollada teóricamente a finales de los años noventa por investigadores como Sara Seager, y desde entonces se ha convertido en una herramienta fundamental para la caracterización de exoplanetas.

Las variaciones que buscamos son muy pequeñas. Mientras que un tránsito puede reducir el brillo de una estrella alrededor de un 1 %, las variaciones asociadas a la absorción atmosférica pueden ser cien veces menores o incluso menos. Por eso necesitamos instrumentos muy precisos.

El telescopio James Webb

El telescopio espacial James Webb está permitiendo estudiar las atmósferas de exoplanetas con un nivel de detalle extraordinario.

Un ejemplo es WASP-39b, cuya atmósfera ha sido estudiada mediante espectroscopia. Las observaciones han permitido identificar dióxido de carbono y otros componentes químicos.

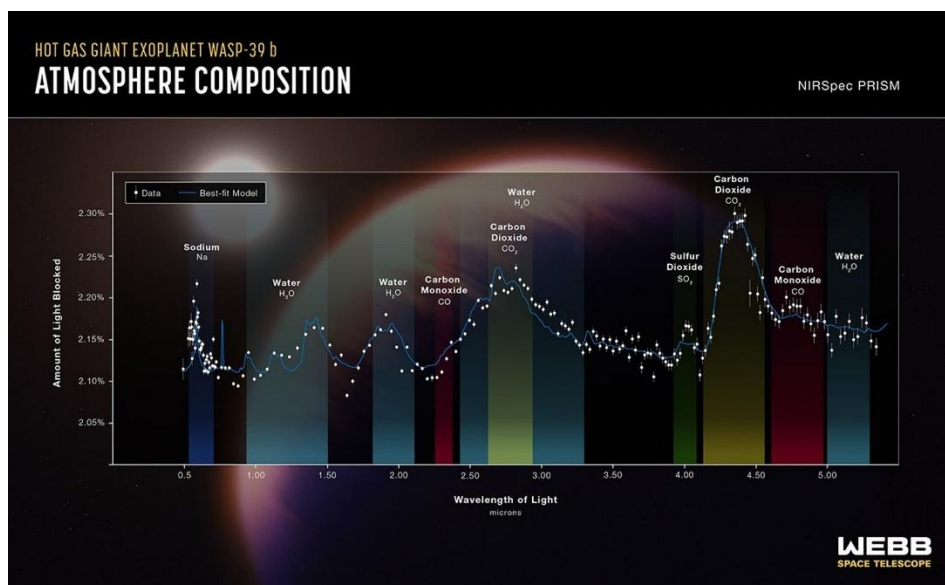


Figura 5. Espectro de la atmósfera de Wasp-39b

La idea es sencilla, aunque su ejecución es técnicamente compleja: medimos cómo cambia la profundidad del tránsito con la longitud de onda y comparamos el resultado con los patrones de absorción de diferentes moléculas.

De esta manera podemos investigar la presencia de agua, dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano y otros compuestos.

Estas observaciones no significan que hayamos detectado vida. Nos permiten conocer la composición atmosférica y comprender mejor las condiciones físicas y químicas de esos mundos.

En el futuro, la misión europea Ariel pretende estudiar sistemáticamente las atmósferas de un gran número de exoplanetas. Su objetivo será caracterizar su composición y estudiar cómo varía según el tipo de planeta y las condiciones de su sistema.

En este campo también es importante la colaboración entre profesionales y aficionados. Proyectos como ExoClock reúnen observaciones de tránsitos para mejorar las predicciones de cuándo ocurrirán. Así se consigue que telescopios espaciales costosos puedan programar sus observaciones con mayor precisión y aprovechar mejor el tiempo disponible.

Planetas potencialmente habitables

Llegamos a una de las cuestiones fundamentales: ¿qué significa que un planeta sea habitable?

Habitualmente, cuando hablamos de habitabilidad nos referimos a la posibilidad de que exista agua líquida en la superficie. Es una hipótesis de trabajo muy útil, aunque no podemos descartar otras formas de vida que no dependan de las mismas condiciones que conocemos en la Tierra.

La zona habitable es la región alrededor de una estrella en la que un planeta rocoso podría mantener agua líquida en su superficie, dependiendo de su atmósfera y de otras propiedades.

En nuestro sistema solar, la Tierra se encuentra en esa región. Marte estuvo en el pasado en condiciones que pudieron permitir la presencia de agua líquida superficial, mientras que otros cuerpos, como Europa y Encélado, podrían albergar océanos bajo el hielo.

Uno de los sistemas más conocidos en la búsqueda de mundos potencialmente habitables es TRAPPIST-1. Contiene siete planetas de tamaño parecido al terrestre, varios de los cuales se encuentran en la zona habitable de su estrella.

El sistema es muy interesante, pero estudiar sus atmósferas resulta difícil. La actividad de la estrella puede introducir señales que dificultan distinguir las características atmosféricas de los planetas.

En cualquier caso, debemos distinguir tres conceptos:

- Planeta potencialmente habitable: presenta características, como un tamaño rocoso y una órbita adecuada, que podrían permitir condiciones habitables.
- Planeta habitable: reúne realmente las condiciones necesarias para que pueda existir vida, algo que debemos comprobar.

- Planeta habitado: contiene vida, cuya existencia todavía tendríamos que demostrar.

Por tanto, que un planeta se encuentre en la zona habitable no significa que tenga agua líquida en su superficie, y mucho menos que esté habitado.

¿Cómo podemos detectar vida en otros planetas?

La disciplina que estudia estas cuestiones es la astrobiología, que investiga el origen, la evolución y la posible distribución de la vida en el universo.

Una de las ideas fundamentales es que la vida puede modificar las condiciones de su planeta, especialmente la composición química de su atmósfera.

En la Tierra, por ejemplo, el oxígeno atmosférico tiene un origen principalmente biológico. Su acumulación está relacionada con la actividad de organismos fotosintéticos, que transformaron profundamente la química del planeta.

El metano atmosférico también puede tener un origen biológico, aunque existen procesos geológicos capaces de producirlo.

La presencia simultánea de ciertos gases puede resultar especialmente interesante cuando esos compuestos reaccionan entre sí y deberían desaparecer si no existiera algún proceso que los repusiera continuamente.

Estas combinaciones se conocen como posibles biofirmas o bioindicadores. No son pruebas automáticas de vida, porque también pueden existir procesos no biológicos capaces de producir señales parecidas. Para interpretarlas correctamente necesitamos estudiar el planeta en su conjunto y descartar explicaciones alternativas.

Carl Sagan y la Tierra vista desde lejos

Un precedente importante fue el trabajo de Carl Sagan y sus colaboradores con la sonda Galileo.

Durante sus sobrevuelos de la Tierra, en 1990 y 1992, la nave tomó datos de nuestro planeta desde una gran distancia. Los investigadores analizaron esas observaciones para comprobar si podían identificar señales compatibles con la presencia de vida.

El resultado mostró que era posible encontrar indicios de actividad biológica estudiando la luz y la composición de la atmósfera terrestre sin observar directamente a los organismos.

Esta idea es fundamental para la búsqueda de vida en exoplanetas. No necesitamos ver árboles, animales o microorganismos. Podemos intentar detectar las alteraciones químicas que una biosfera produce en su entorno.

Sin embargo, una biofirma debe interpretarse con prudencia. Ninguna molécula aislada garantiza que exista vida. La clave está en combinar distintas observaciones, comprender el

contexto planetario y comprobar si los procesos conocidos sin vida pueden explicar los resultados.

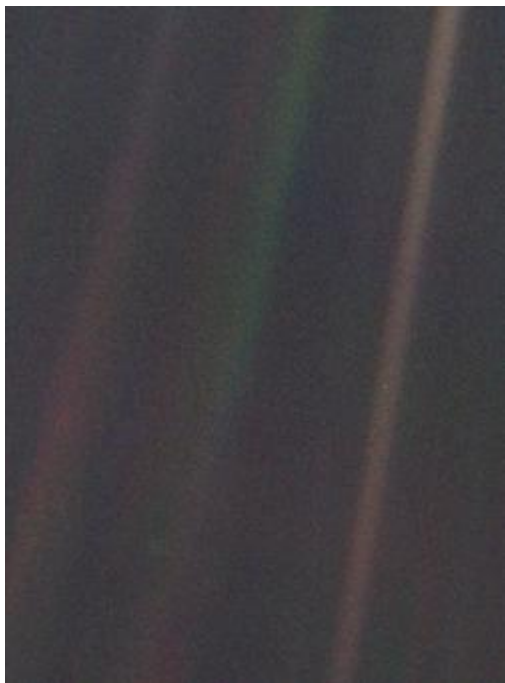


Figura 6. La Tierra vista desde la sonda Voyager 1

Las futuras misiones para buscar vida

En las próximas décadas podrían desarrollarse misiones capaces de obtener imágenes directas de planetas rocosos y estudiar sus atmósferas con gran detalle.

Entre los proyectos relevantes se encuentran el *Habitable Worlds Observatory*, impulsado por la NASA, y la iniciativa europea LIFE, dedicada al estudio de exoplanetas mediante técnicas de imagen e interferometría.

El objetivo sería separar la luz de una estrella de la de sus planetas, analizar esa luz y buscar combinaciones químicas compatibles con la existencia de una biosfera.

Se trata de un desafío tecnológico enorme. Aunque conocemos los principios físicos necesarios para realizar estas mediciones, todavía necesitamos telescopios e instrumentos capaces de alcanzar la sensibilidad requerida.

También se investiga la posibilidad de estudiar algunos de estos procesos desde tierra con el ELT, el telescopio extremadamente grande que se está construyendo en Chile. Instrumentos como ANDES podrían contribuir a estudiar atmósferas planetarias y buscar señales químicas de interés.

¿Qué sabemos realmente sobre la existencia de vida extraterrestre?

Después de más de treinta años de búsqueda de exoplanetas, hemos aprendido que los planetas son extraordinariamente abundantes y que existe una gran diversidad de mundos.

Sabemos detectar planetas, medir sus masas y radios y estudiar, en algunos casos, la composición química de sus atmósferas. También hemos identificado numerosos candidatos que podrían presentar condiciones adecuadas para la existencia de agua líquida.

Sin embargo, todavía no hemos confirmado la existencia de vida fuera de la Tierra.

Una de las imágenes más emblemáticas de la exploración espacial es la del *punto azul pálido*, tomada por la sonda Voyager 1 en 1990 a unos 6.000 millones de kilómetros de distancia. En ella, la Tierra aparece como un pequeño punto en medio de la inmensidad del espacio.

Nuestro planeta es un mundo diminuto dentro de una galaxia gigantesca, que a su vez forma parte de un universo con miles de millones de galaxias.

Lo que queremos conseguir en las próximas décadas es encontrar otros puntos azules pálidos y estudiar sus características. Quizá algún día podamos identificar un planeta cuya atmósfera contenga señales convincentes de una biosfera.

Si lo conseguimos, el descubrimiento no transformará únicamente la ciencia. Cambiará también nuestra manera de comprender el lugar de la humanidad en el universo.

Preguntas

¿Podemos detectar exoplanetas mediante ondas de radio?

Sí. Existe una línea de investigación que estudia las interacciones entre las estrellas y sus planetas. El viento estelar puede interactuar con el campo magnético de un planeta y producir emisiones de radio relacionadas con procesos aurorales.

Se han identificado algunas señales que podrían estar asociadas a estas interacciones, aunque todavía es necesario confirmar su origen y descartar otras explicaciones.

También existen programas que utilizan radiotelescopios para buscar tecnofirmas: señales que pudieran indicar la presencia de tecnología extraterrestre. Iniciativas como SETI y Breakthrough Listen investigan esta posibilidad. Hasta ahora no se ha confirmado ninguna señal de origen tecnológico extraterrestre.

¿En qué consiste el método de cronometraje de púlsares?

Los púlsares son estrellas de neutrones que giran rápidamente y emiten pulsos de radiación con una regularidad extraordinaria. Podemos utilizarlos como relojes cósmicos.

Si un planeta orbita alrededor de un púlsar, el movimiento del sistema produce pequeñas variaciones en los tiempos de llegada de los pulsos. Midiendo esos cambios podemos deducir la presencia de planetas.

Este método permitió descubrir los primeros planetas extrasolares confirmados, anunciados en 1992 por Aleksander Wolszczan y Dale Frail. Sin embargo, aquellos planetas orbitaban alrededor de un púlsar, no de una estrella similar al Sol.

El descubrimiento de 51 Pegasi b tuvo una importancia especial porque demostró la existencia de planetas alrededor de estrellas comparables al Sol.

¿Por qué se descubrieron tan pocos planetas en las primeras investigaciones?

Michel Mayor y Didier Queloz trabajaron con una muestra relativamente limitada de estrellas cuidadosamente seleccionadas. Su instrumento estaba diseñado para medir velocidades radiales con una precisión elevada.

Otros equipos, especialmente los investigadores estadounidenses Jeff Marcy y Paul Butler, también habían observado muchas estrellas. Sin embargo, no habían identificado los planetas de periodo tan corto que resultaron decisivos en el descubrimiento de 51 Pegasi b.

Cuando se anunció el resultado, otros investigadores revisaron sus propios datos y encontraron señales similares que no habían interpretado previamente como planetas.

Esto demuestra que, además de disponer de buenos instrumentos, es fundamental saber qué buscar y estar abiertos a resultados que contradigan las expectativas.

¿Es más difícil encontrar planetas alrededor de estrellas muy masivas?

Sí. Las técnicas actuales presentan dificultades importantes cuando se aplican a estrellas muy calientes y masivas.

En las mediciones de velocidades radiales, estas estrellas suelen presentar menos líneas espectrales útiles y sus movimientos pueden ser más difíciles de medir con precisión. En los tránsitos, una estrella de gran tamaño puede producir una disminución relativa del brillo muy pequeña cuando un planeta pasa por delante.

Por eso conocemos muchos más planetas alrededor de estrellas de tipos F, G, K y M que alrededor de las estrellas más calientes de tipos O, B y A.

Esto no significa que las estrellas masivas no tengan planetas, sino que resulta más complicado encontrarlos con nuestros métodos actuales. Además, las estrellas muy masivas tienen vidas relativamente cortas, lo que podría limitar el tiempo disponible para el desarrollo de una biosfera compleja.

¿Es posible que la Tierra sea el único planeta con vida del universo?

Un asistente planteó que la historia de la vida terrestre ha dependido de una sucesión extraordinaria de acontecimientos geológicos, climáticos y biológicos. Según esta interpretación, sería extremadamente improbable que otro planeta hubiera experimentado exactamente la misma historia y desarrollada vida.

La respuesta es que no necesitamos que otro planeta haya seguido el mismo camino que la Tierra. La vida que pudiera surgir en otro mundo no tendría por qué ser idéntica a la nuestra ni haber evolucionado mediante los mismos acontecimientos.

Como científicos, no podemos afirmar que la vida sea única ni que esté extendida por el universo sin disponer de pruebas suficientes.

Uno de los grandes interrogantes es la abiogénesis: el proceso por el cual la vida surge a partir de materia no viva. Sabemos que la vida apareció en la Tierra hace al menos unos 3.500-3.800 millones de años, pero todavía no conocemos con precisión la probabilidad de que ese proceso ocurra cuando se dan las condiciones adecuadas.

¿Es un proceso relativamente frecuente o extraordinariamente improbable? No lo sabemos.

Para responder a esa pregunta debemos estudiar muchos mundos, buscar condiciones adecuadas y comprobar si la vida ha surgido en alguno de ellos.

Ese es el método científico: observar la naturaleza, contrastar las hipótesis con los datos y aceptar lo que las pruebas nos permitan concluir.

Y esa es, precisamente, la gran aventura que tenemos por delante.

¿Estamos buscando exoplanetas que tengan la misma edad que la Tierra?

Sí, aunque determinar la edad de una estrella es muy difícil. La misión PLATO, además de buscar exoplanetas, estudiará las estrellas que los albergan y permitirá estimar sus edades con una precisión de alrededor del 10 %. Sin embargo, no es necesario buscar planetas idénticos a la Tierra en tamaño y edad. La vida podría haber evolucionado más rápido o más lentamente en otros mundos, o haber seguido caminos distintos. Por eso, es importante explorar una gran variedad de planetas sin limitar la búsqueda a aquellos que se parezcan a la Tierra.

¿Son estables las órbitas de los planetas en sistemas con dos o tres estrellas?

La estabilidad orbital es un requisito importante para aceptar un sistema planetario como válido. La mayoría de los sistemas múltiples descubiertos son estables, especialmente aquellos cuyos planetas mantienen órbitas resonantes, es decir, con periodos orbitales relacionados entre sí mediante proporciones sencillas. Sin embargo, incluso nuestro sistema solar podría experimentar inestabilidades a escalas de miles de millones de años, como la posible expulsión de Mercurio. Estudiar estas dinámicas ayuda a comprender cómo se forman y evolucionan los sistemas planetarios.

Se ha anunciado el descubrimiento de un exoplaneta muy joven que parece no encajar con los modelos actuales de formación planetaria. ¿Qué importancia tiene este hallazgo?

Los planetas jóvenes son especialmente interesantes porque durante sus primeros millones de años ocurren muchos procesos relacionados con su formación. Algunos descubrimientos recientes sugieren que los planetas pueden formarse más rápidamente de lo que predecían los modelos teóricos. Estos casos permiten poner a prueba las teorías actuales y mejorarlas. Aunque todavía hay aspectos que no comprendemos, cada nuevo descubrimiento contribuye a explicar cómo se forman los sistemas planetarios.

¿Existen proyectos para obtener imágenes directas de exoplanetas mediante telescopios espaciales y ocultadores estelares?

Sí. Una de las propuestas consiste en utilizar un dispositivo con forma de flor, llamado starshade, situado a gran distancia del telescopio espacial para bloquear la luz de la estrella y permitir observar sus planetas. Sin embargo, esta tecnología presenta grandes dificultades técnicas y económicas.

Otra opción es utilizar un coronógrafo, un instrumento que bloquea la luz de la estrella desde el interior del propio telescopio. Misiones como el telescopio espacial Roman probarán tecnologías de este tipo, que también serán importantes para futuros observatorios, como el Habitable Worlds Observatory, cuyo objetivo es detectar planetas mucho menos brillantes que sus estrellas.

¿Tienen interés científico los exoplanetas que no poseen atmósfera?

Sí. La parte sólida y el interior de un planeta también aportan información muy valiosa. Su estudio permite comprender su estructura interna y los procesos que han provocado la pérdida de su atmósfera. Además, los gases del interior pueden liberarse progresivamente mediante procesos como la desgasificación. Mercurio, por ejemplo, posee una exosfera muy tenue, originada en parte por materiales que escapan de su superficie. La Tierra también muestra una estrecha interacción entre el interior y la atmósfera a través del vulcanismo y la liberación de gases. Por tanto, los planetas rocosos son interesantes tanto si tienen atmósfera como si carecen de ella.

¿Se pueden detectar planetas muy pequeños estudiando las variaciones en el movimiento o el brillo de sus estrellas?

Sí, aunque depende de la técnica utilizada y del comportamiento de la estrella. El método de los tránsitos permite detectar planetas muy pequeños, incluso de tamaño inferior al de la Tierra. En cambio, las variaciones propias de la estrella dificultan las mediciones de velocidad radial basadas en el efecto Doppler.

También es posible detectar planetas mediante pequeñas variaciones en los tiempos de fenómenos periódicos de una estrella, como los púlsares o algunas estrellas variables. Los adelantos o retrasos respecto al ritmo esperado pueden revelar la presencia de un planeta. Parte de la investigación actual se centra en reducir la influencia de la actividad estelar para detectar planetas cada vez más pequeños.

¿Se puede estudiar la superficie de una estrella utilizando el tránsito de un exoplaneta?

Sí. Cuando un planeta pasa por delante de una estrella, puede utilizarse como una sonda para estudiar su superficie. Esta técnica ya se está aplicando con datos del telescopio espacial James Webb. En el caso de TRAPPIST-1, una estrella pequeña que alberga siete planetas de tamaño similar al de la Tierra, se ha observado una superficie con numerosas pequeñas regiones oscuras, como si estuviera cubierta de motas. Esta técnica ofrece nuevas posibilidades para estudiar la estructura y la actividad de las superficies estelares.