



Sesión de dedicada a los exoplanetas dentro del Curso de Astronomía y Astrofísica «Del Planetario al Cosmos» del Planetario de Madrid.

Jueves 9 de abril de 2026. 18:00 H.

Rodrigo González Peinado



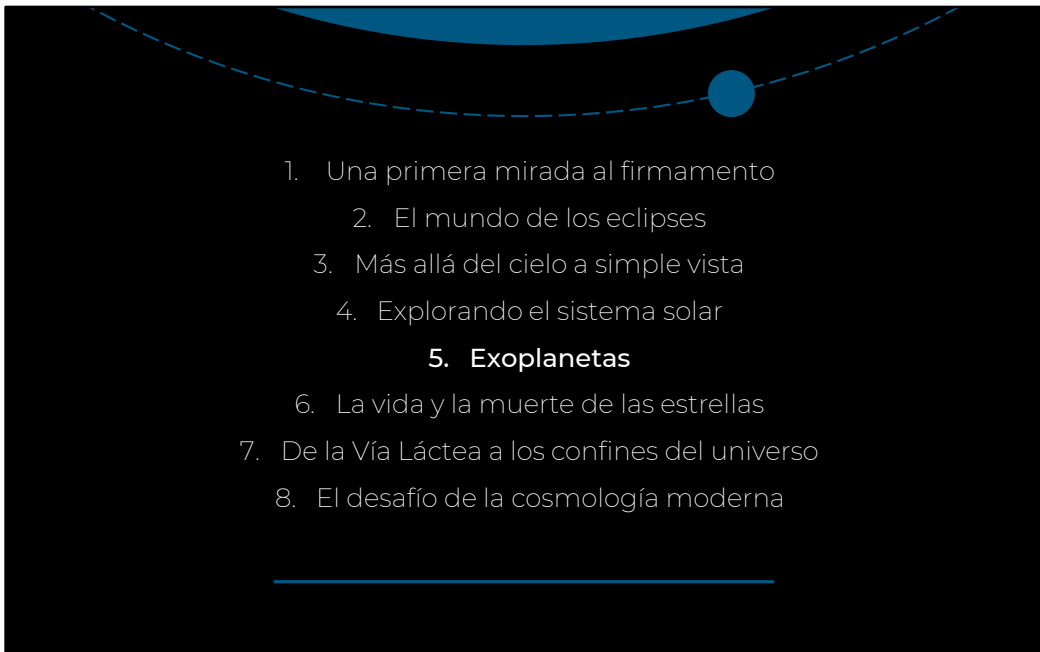
<https://www.nasa.gov/image-detail/amf-art002e009287/>



<https://www.nasa.gov/image-detail/amf-art002e009281/>



<https://www.nasa.gov/image-detail/amf-art002e009301/>



La sesión de exoplanetas es la número 5 del curso. Uno de los objetivos de esta sesión es que sirva como puente entre la sesión 4 (Explorando el sistema solar, Jorge Plá García) y la 6 (La vida y la muerte de las estrellas, Benjamín Montesinos y Telmo Fernández), recordando puntos y temas tratados en la sesión 4 e introduciendo a los asistentes en algunos conceptos importantes que se verán en la sesión 6.



ÍNDICE

1. Introducción
 2. Métodos de detección
 3. Clasificación
 4. Formación y evolución
 5. Habitabilidad
 6. Vía Láctea y más allá
 7. Futuro
-

Estos son los puntos que vamos a tratar en esta sesión. A mi juicio, los más importantes son el punto 2, Métodos de detección; el 3, Clasificación; y el 4, Formación y evolución.



1

INTRODUCCIÓN

Preguntas a
responder

- ¿Qué es un exoplaneta?
- ¿Cómo los detectamos?
- ¿Cuántos conocemos y cómo son?
- ¿Cómo se forman y evolucionan?
- ¿Qué nos pueden enseñar?

1. Introducción Exoplanetas 1


La exoplanetología, como campo científico de estudio dedicado a la detección y análisis de exoplanetas, es una ciencia relativamente joven, de no más de 40 años de existencia. Esto la convierte en una ciencia que aún le falta un largo recorrido para de asentar su campo, algo que veremos a lo largo de esta sesión. Aun así, estos 40 años de estudio de exoplanetas nos han servido para configurar una imagen de ellos relativamente completa y rigurosa, y promete ser una de las astrociencias más exitosas de los próximos años.

En esta sesión intentaremos dar respuesta a estas preguntas: ¿cómo se define astrofísicamente un exoplaneta? ¿Cuáles son los diferentes métodos que tenemos para detectarlos? Una vez detectados, ¿cómo se clasifican y cuáles son sus características? ¿Cómo se forman y evolucionan?, y, quizás la más interesante, ¿qué podemos aprender de ellos?

Para responderlas, tenemos que iniciar nuestro viaje en el sureste de Francia, en 1995, de la mano de dos astrofísicos suizos que estaban observando en el Observatorio de la Alta Provenza, cerca de Marsella.



Estos dos astrofísicos son Michel Mayor, profesor de la Universidad de Ginebra, y Didier Queloz, que entonces era su alumno de doctorado. Son considerados los «padres» de la exoplanetología (si bien existe polémica con respecto a esto, como veremos luego).



Observatorio
Haute-Provence

Latitud $43^{\circ} 55' 51''$ N
Longitud $5^{\circ} 42' 48''$ E
Telescopio 1,93 metros
Espectrógrafo ELODIE
Campaña 1994/1995

1. Introducción Exoplanetas 3

The image shows a slide for the Haute-Provence Observatory. On the left, there is a photograph of the observatory's dome at night, illuminated from within, with a telescope visible through the opening. The dome is surrounded by a circular blue dashed line with a small blue dot at the top left. To the right of the image, the text 'Observatorio Haute-Provence' is displayed in white. Below this, technical details are listed: 'Latitud 43° 55' 51" N', 'Longitud 5° 42' 48" E', 'Telescopio 1,93 metros', 'Espectrógrafo ELODIE', and 'Campaña 1994/1995'. At the bottom of the slide, there is a blue bar containing the text '1. Introducción' on the left, 'Exoplanetas' in the center, and a small blue circle with the number '3' on the right.

Ambos estaban estudiando una recopilación de 142 estrellas de tipo solar buscando pequeñas variaciones en sus movimientos desde el Observatorio de la Alta Provenza (Francia), en una campaña de observación iniciada en 1994. Para ello, utilizaron el espectrógrafo ELODIE (un espectrógrafo echelle instalado en el telescopio de 1,93 metros), diseñado precisamente para la detección de exoplanetas.

Observatorio de la Alta Provenza:
[Observatoire de Haute Provence](#)

Helvetios

51 Pegasi

RA 22h 57min 27,98"
DE +20° 46' 07,79"
Paralaje 64,40 mas
Tipo espectral G2V

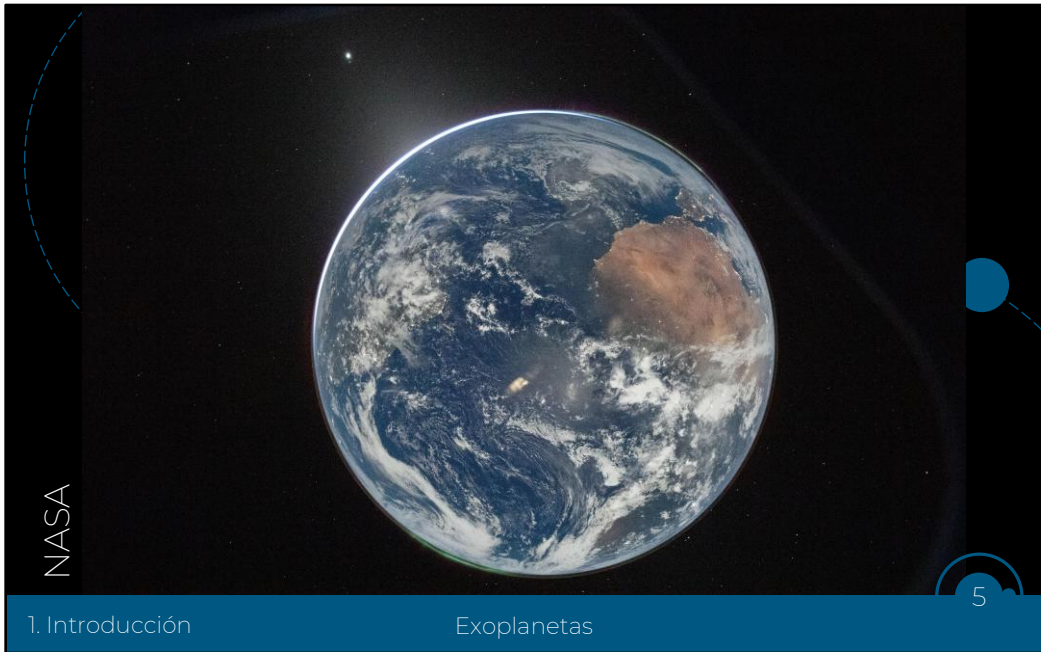
51 Peg Sol

1. Introducción Exoplanetas 4

Una de esas 142 estrellas fue 51 Pegasi, una estrella similar al Sol (tipo espectral G2V) situada en la constelación de Pegasus, cerca de la mediatriz que forman las estrellas Markab y Scheat del cuadrado de Pegaso. 51 Pegasi se encuentra a 15,5 pc de distancia, lo que equivale a unos 50 años luz.

Más información de la estrella:

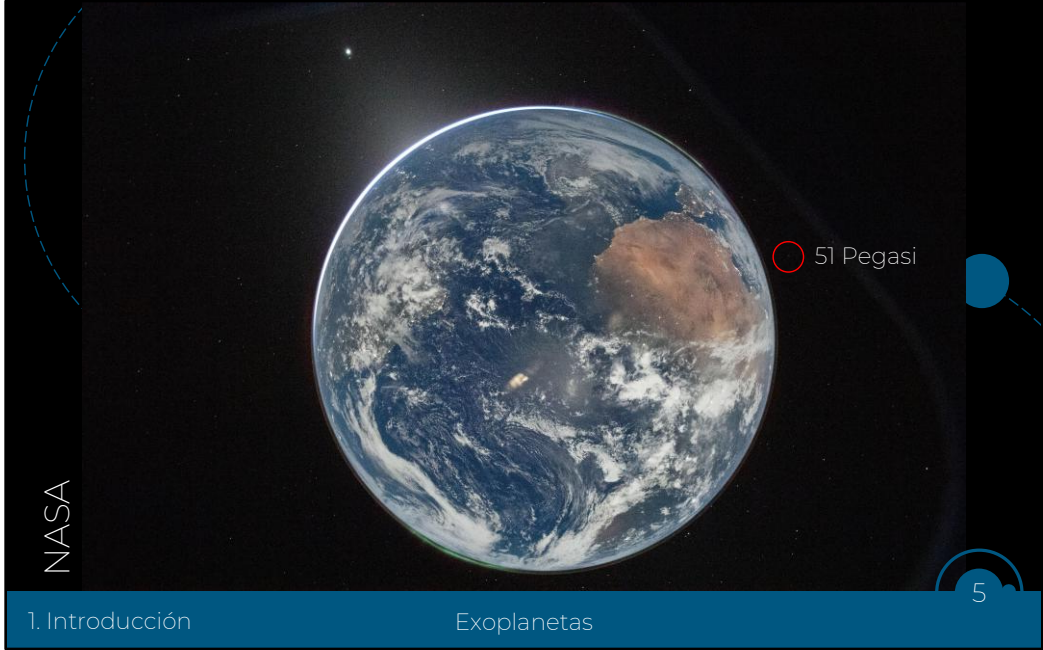
[51 Pegasi](#)



De hecho, y a modo de curiosidad, 51 Pegasi aparece en la reciente imagen de la Tierra tomada por la misión Artemis II de camino a la Luna.

Imagen:

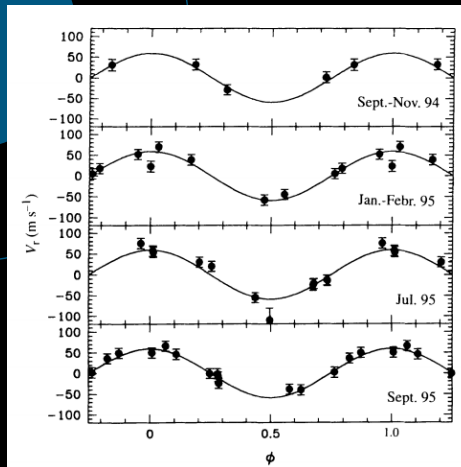
[Hello, World - NASA](#)



51 Pegasi se encuentra a la derecha de la Tierra en esta foto, al límite con el borde de la ventana de la cápsula Orion.

A Jupiter-mass companion to a solar type star

(Mayor, M. & Queloz, D., 1995)



nature

1. Introducción

Exoplanetas

6

Lo que Mayor y Queloz obtuvieron observando la estrella 51 Pegasi fue lo que se llama su curva de velocidad radial. Se trata de una medida indirecta sobre el movimiento radial de una estrella, en donde esta se acerca y aleja de nosotros debido a que está orbitando el centro común de masas con otro objeto: el exoplaneta que la orbita. Así, la curva de velocidad radial es una manera de detectar exoplanetas a partir del movimiento (Doppler) de su estrella huésped. Luego profundizaremos en la ciencia detrás de este método.

Artículo original:

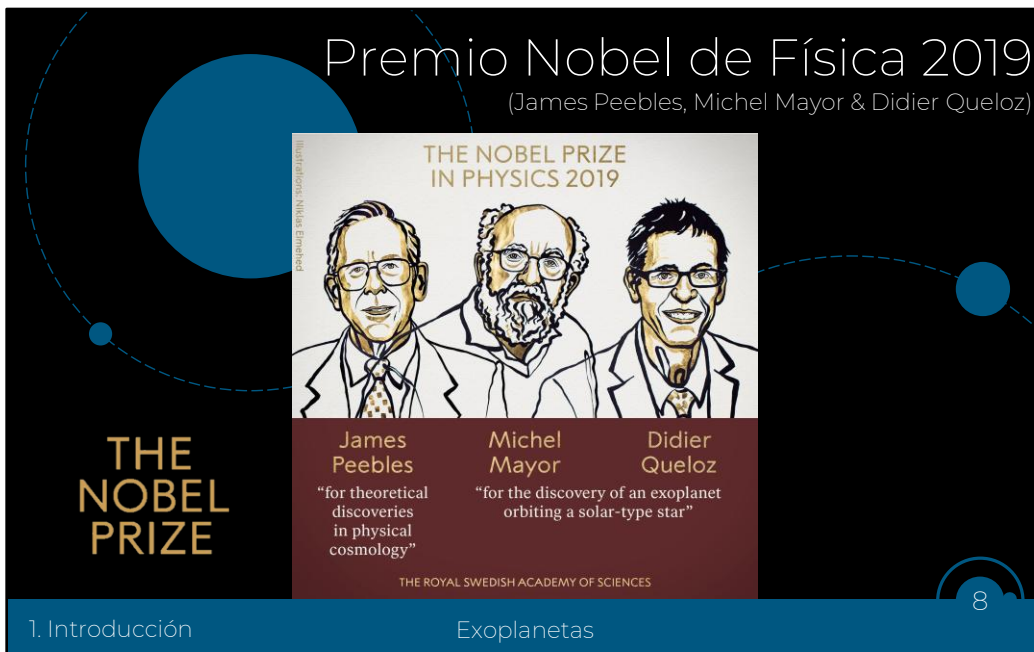
<https://web.pa.msu.edu/courses/2011spring/AST208/mayorQueloz.pdf>



Efectivamente, alrededor de 51 Pegasi orbita un exoplaneta al que se le bautizó como 51 Pegasi b o Dimidio (se eligió este nombre porque la masa del exoplaneta es aproximadamente la mitad de la masa de Júpiter). Uno de los objetivos de esta sesión es saber interpretar toda la información que aparece en esta diapositiva.

Más información sobre 51 Pegasi b:

[Planet 51 Peg b](#)



Por este descubrimiento, se les fue otorgado en 2019 el Premio Nobel de Física a Mayor y Queloz: "por el descubrimiento de un exoplaneta orbitando en torno a una estrella de tipo solar". La tercera parte del premio correspondió al cosmólogo James Peebles por su trabajo en cosmología física (sobre todo por su trabajo con la radiación cósmica de microondas, formación de estructuras y nucleosíntesis primordial).

Conferencia de Michel Mayor:

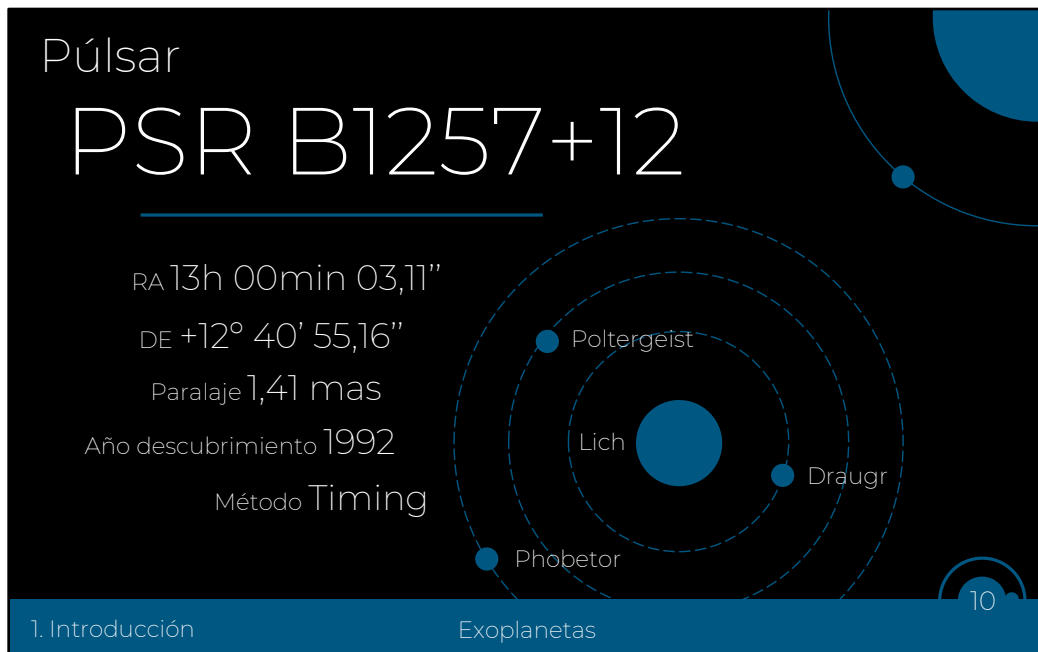
<https://www.youtube.com/watch?v=Vgt88xw6iG0>



Desde el descubrimiento de Dimidio en 1995, se han descubierto más exoplanetas. Este video muestra todos los exoplanetas descubiertos hasta 2022, sonificado y coloreado a método de detección. Es importante fijarnos en dos años: el año en el que se descubre el primer exoplaneta (no es 1995) y el año de explosión del descubrimiento de exoplanetas.

Vídeo:

<https://www.youtube.com/watch?v=yv4DbU1CWAY>



Y es que, aunque se considera 1995 como el año de inicio de la exoplanetología, los primeros tres exoplanetas descubiertos se hallaron en 1992. Se tratan de Poltergeist, Draugr y Phobetor, tres exoplanetas que orbitan alrededor del púlsar Lich. Los autores de este descubrimiento fueron Aleksander Wolszczan y Dale Frail. El hecho de que se descubriesen exoplanetas orbitando alrededor de un púlsar fue una sorpresa para la comunidad astrofísica, pues se pensaba que era imposible. Por ello, no es considerado como el inicio de la exoplanetología como ciencia.

Esta polémica resurgió cuando se les entregó el Nobel a Mayor y Queloz por el descubrimiento de 51 Pegasi b, obviando el descubrimiento previo de estos tres exoplanetas.

Artículo original:

[A planetary system around the millisecond pulsar PSR1257 + 12 - Astrophysics Data System](#)



2

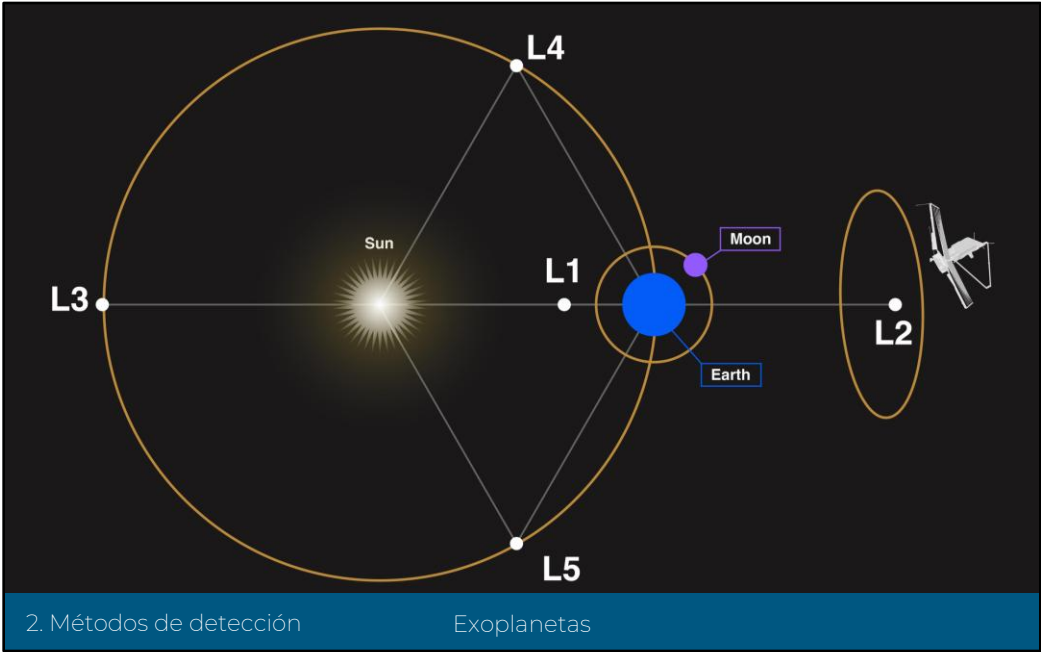
MÉTODOS DE DETECCIÓN

Hasta ahora solo nos hemos adentrado un poco en cómo se inició la exoplanetología como ciencia. El punto 2 está dedicado a los métodos de detección de exoplanetas, una de las cuestiones más importantes en este campo.

- Objeto celeste con **masa verdadera** por debajo del límite de masa para la **fusión de deuterio** (13 masas de Júpiter para objetos con metalicidad solar) que orbitan en torno a **estrellas, enanas marrones o remanentes estelares** que tienen una **relación de masas** con el objeto central por debajo de la inestabilidad L_4/L_5 ($M/M_{\text{central}} < 2/(25+\sqrt{621}) \approx 1/25$).

Lo primero es definir formalmente qué es un exoplaneta. Esta de aquí es la definición de trabajo de la UAI según la comisión F2. Nótese que se parece mucho a la de planeta (como no puede ser de otra manera), con el añadido de la inestabilidad L4-L5. Esta inestabilidad indica que, para que un exoplaneta sea considerado como tal, debe tener, como máximo, 0,4 veces la masa de su estrella, de tal forma que los puntos L4 y L5 sean estables. Por encima de esas 0,4 masas estelares, los puntos L4 y L5 dejan de ser estables, impidiendo que al exoplaneta se le pueda considerar como tal (se le llamará enana marrón, objeto subestelar u otros).

Definición de trabajo de exoplaneta según la Comisión F2:
<https://arxiv.org/abs/2203.09520>





Infografía con los cuatro métodos más exitosos en la búsqueda de exoplanetas: velocidad radial, tránsitos, microlente gravitatoria e imagen directa.

Velocidad radial

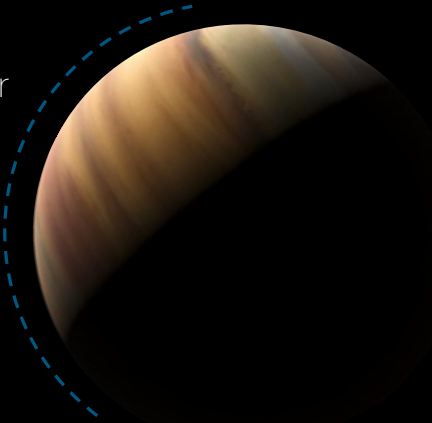


Fundamento Efecto Doppler

Ventajas Masa y parámetros orbitales

Desventajas Planetas grandes y en órbita cercana

Detectados 1182



Si una estrella posee un exoplaneta que la orbita, ambos se mueven alrededor de su centro de masas común. Se mide el desplazamiento Doppler de las líneas espectrales de la estrella a medida que esta se acerca y aleja de nosotros, y con ello se calcula la velocidad radial de la estrella. A partir de este método se puede hallar la masa y los parámetros orbitales del planeta.

Más información sobre el método de velocidades radiales:

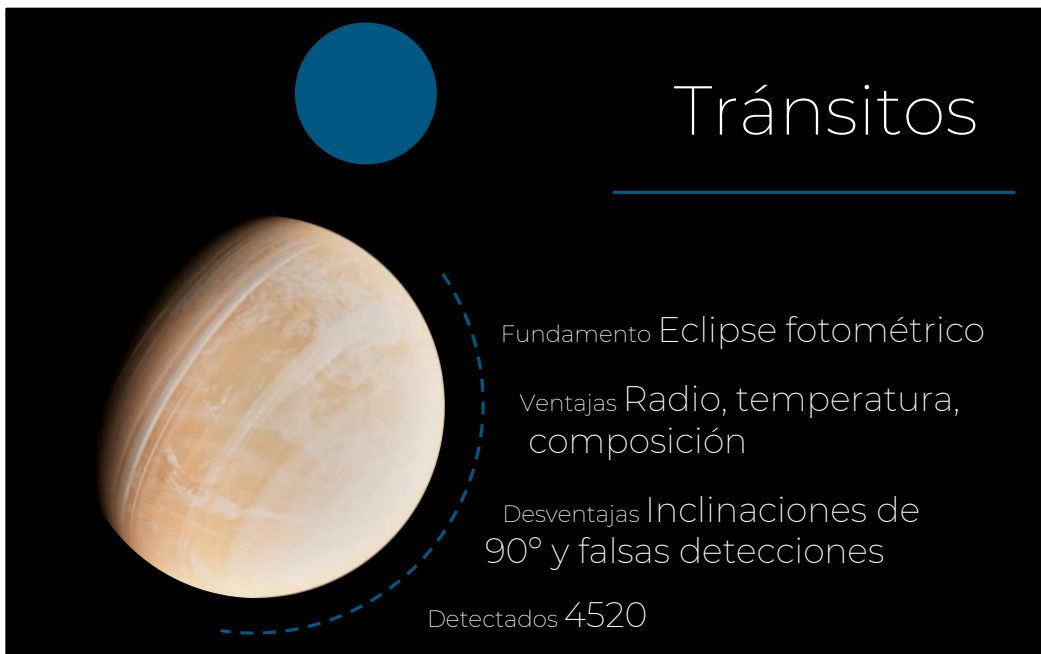
[How We Find and Characterize - NASA Science](#)

Cálculo de la masa del exoplaneta a partir de la medida de la velocidad radial:

<https://www.danfleich.com/sgmoa/supplemental/FindExtrasolarPlanetMass.pdf>

Formalismo matemático:

http://www.relativitycalculator.com/pdfs/RV_Derivation.pdf



Es el método indirecto más simple conceptualmente, pues lo que se observa es la disminución del brillo de la estrella cuando el exoplaneta pasa por delante de ella. Con este método se puede obtener el radio del exoplaneta, su temperatura (a partir de una relación que involucra el radio del planeta, el semieje mayor de la órbita y el albedo de Bond) y composición.

Más información sobre el método de tránsitos:

[How We Find and Characterize - NASA Science](#)

Cálculo del radio de un exoplaneta a partir de la disminución del brillo de la estrella:

<https://astro.unl.edu/newRTs/Transits/background/Transit1.html>

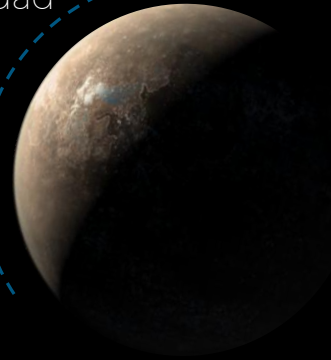
Microlente

Fundamento T^a Gral. Relatividad

Ventajas Relación de masas
y distancia angular

Desventajas Improbable

Detectados 275



Amplificación de la luz de una estrella lejana por parte de una cercana que posee un exoplaneta orbitándola (que produce una segunda magnificación).

Más información:

<https://exoplanets.nasa.gov/alien-worlds/ways-to-find-a-planet/#/4>

● ○

Imagen directa



Fundamento Cronógrafo

Ventajas Evidencia directa

Desventajas Muy difícil y sesgado a planetas grandes y lejanos

Detectados 94

Es ver realmente al exoplaneta, utilizando un cronógrafo para tapar a la estrella y que no deslumbre.

Más información:

<https://exoplanets.nasa.gov/alien-worlds/ways-to-find-a-planet/#/3>



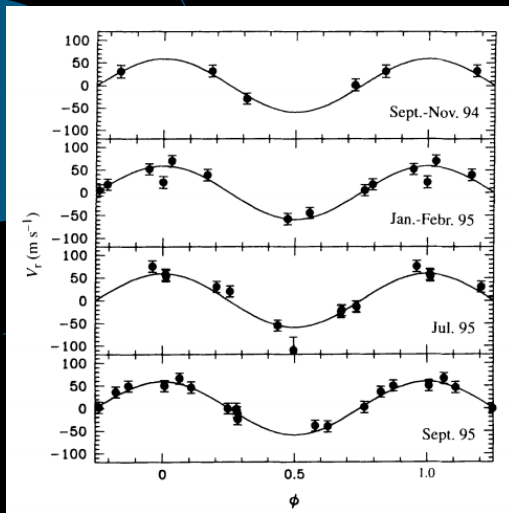
De todos ellos, el método más efectivo hasta ahora es el de los tránsitos, con un 74,3% del total de exoplanetas descubiertos. Le sigue el de velocidades radiales, con un 18,9%.

A su vez, existen otros métodos de detección, aunque mucho menos efectivos: pulsar timing, astrometría, variación de duración del tránsito...

Pulsar timing: se basa en medir las pequeñísimas variaciones en los tiempos de llegada de los pulsos de radio emitidos por púlsares a medida que estos se ven influenciados por la gravedad de los exoplanetas que los orbitan (debido a que orbitan el centro común de masas, haciendo que el púlsar se acerque y aleje de nosotros, adelantando o retrasando la llegada del pulso de luz).

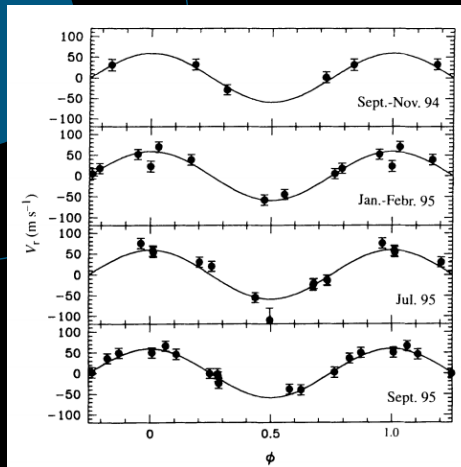
Astrometría: mide el bamboleo de una estrella debido a su exoplaneta compañero en su movimiento por el firmamento.

Más información sobre otros métodos de detección:
[1210.2471](https://doi.org/10.2471/1210.2471)



A Jupiter-mass companion to a solar type star

(Mayor, M. & Queloz, D., 1995)



nature

51 Pegasi b

13

2. Métodos de detección

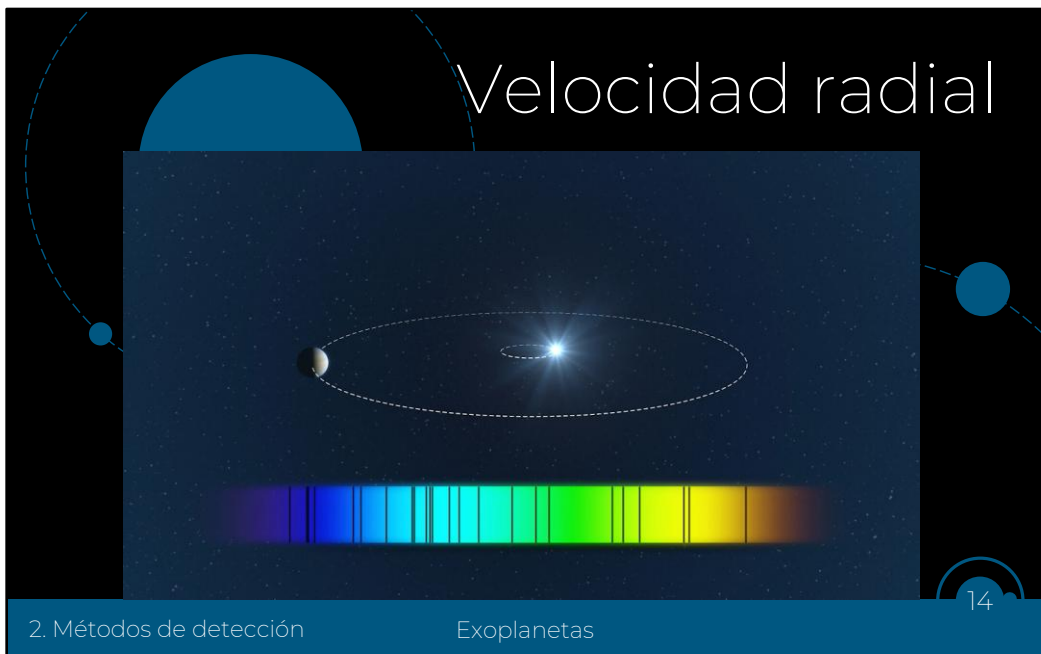
Exoplanetas

Ejemplo de espectro obtenido por la técnica de velocidad radial.

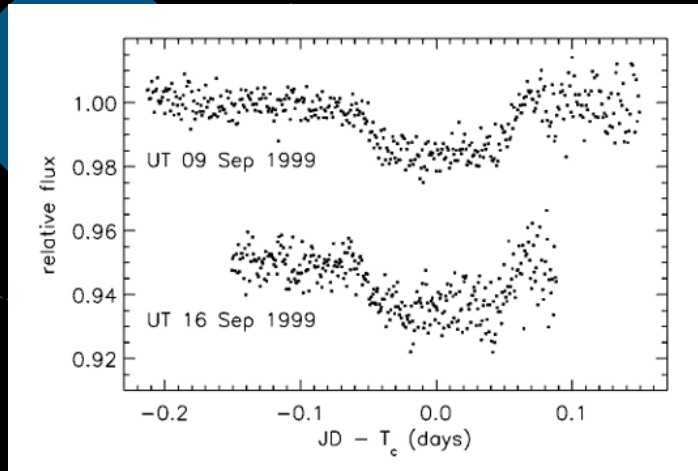
Artículo original:

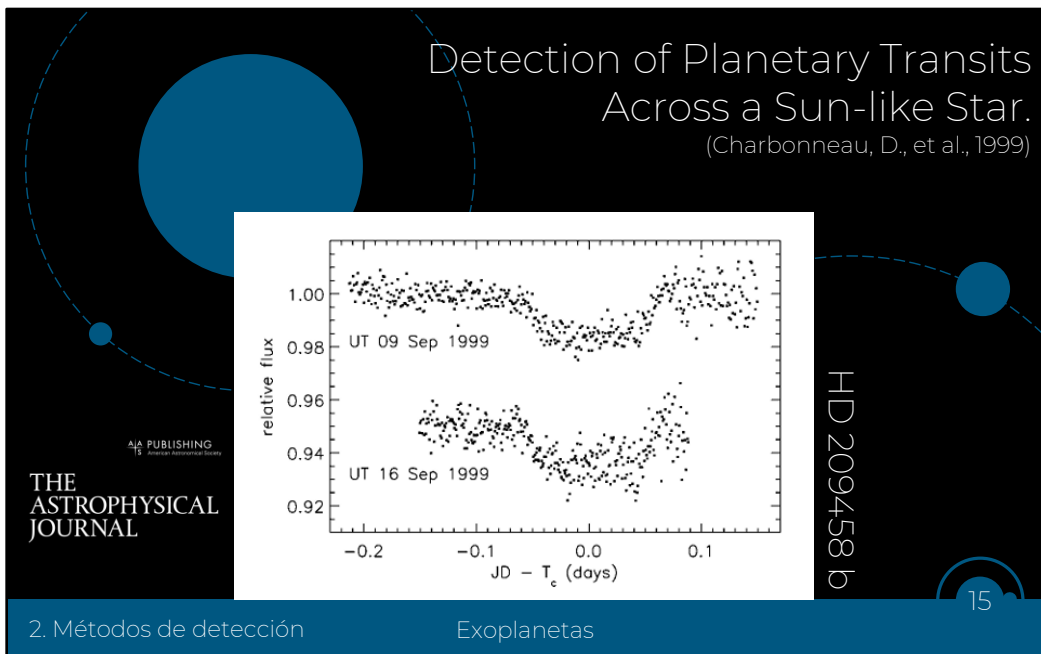
<https://www.nature.com/articles/378355a0>

<https://web.pa.msu.edu/courses/2011spring/AST208/mayorQueloz.pdf>



A medida que la estrella orbita el centro de masas común con el exoplaneta, esta se aleja y acerca de nosotros. Esto hace que su espectro se mueva, de tal forma que, al acercarse, se desplaza hacia el azul y al alejarse, se desplaza hacia el rojo. De esta variación del espectro podemos medir la velocidad radial de la estrella y, junto con su periodo (analizado de la curva de velocidad radial), el semieje mayor y la masa del exoplaneta a partir de la tercera ley de Kepler.

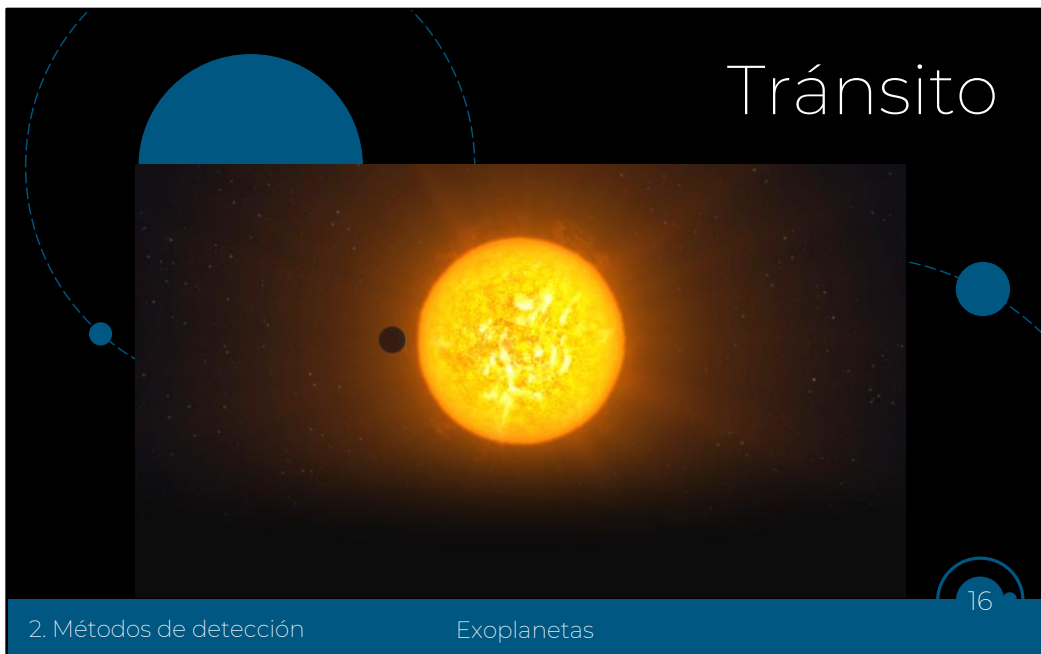




Ejemplo de espectro obtenido por la técnica de los tránsitos.

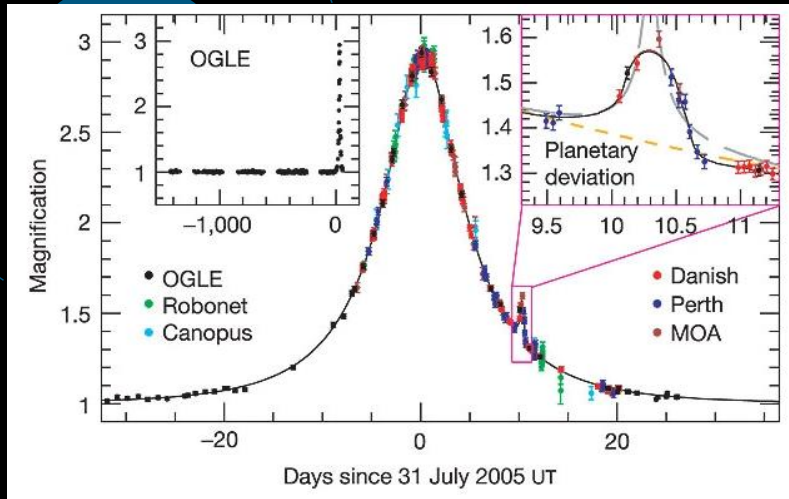
Artículo original:

<https://iopscience.iop.org/article/10.1086/312457>



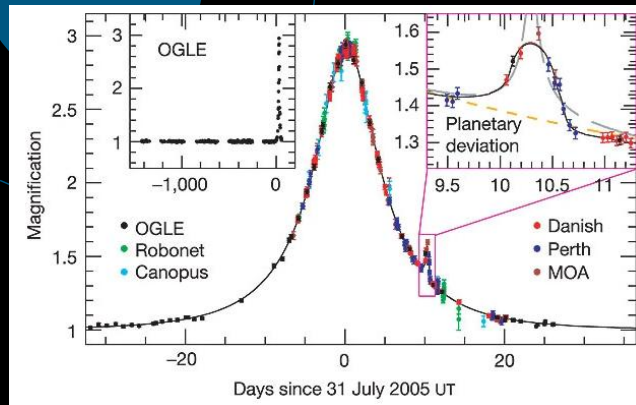
Cuando el exoplaneta pasa por delante de la estrella, se produce una bajada en su brillo. Al eclipsar a la estrella, y a partir de la fracción de luz bloqueada, se obtiene el radio del exoplaneta. También se puede obtener su temperatura y composición mediante otras técnicas.

Una vez que tenemos masa y radio, podemos saber la densidad del exoplaneta y así si es rocoso, helado o gaseoso.



Discovery of a cool planet of 5.5 Earth masses through gravitational microlensing

(Beaulieu, J. P., et al., 2006)



2. Métodos de detección

Exoplanetas

17

Ejemplo de espectro obtenido mediante microlente gravitatoria.

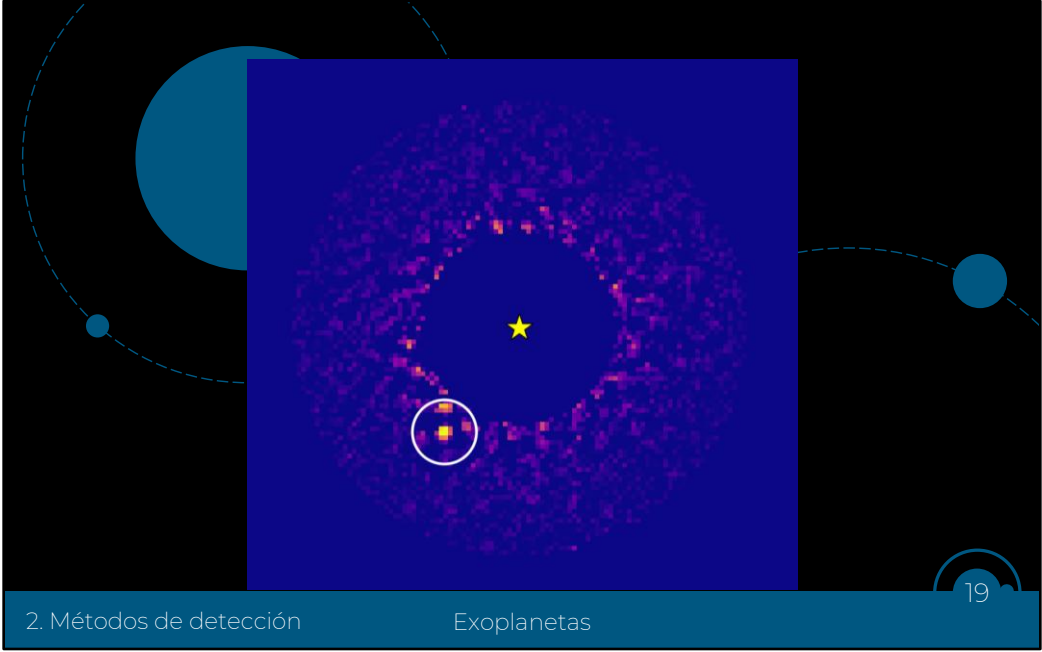
Artículo original: <https://www.nature.com/articles/nature04441>

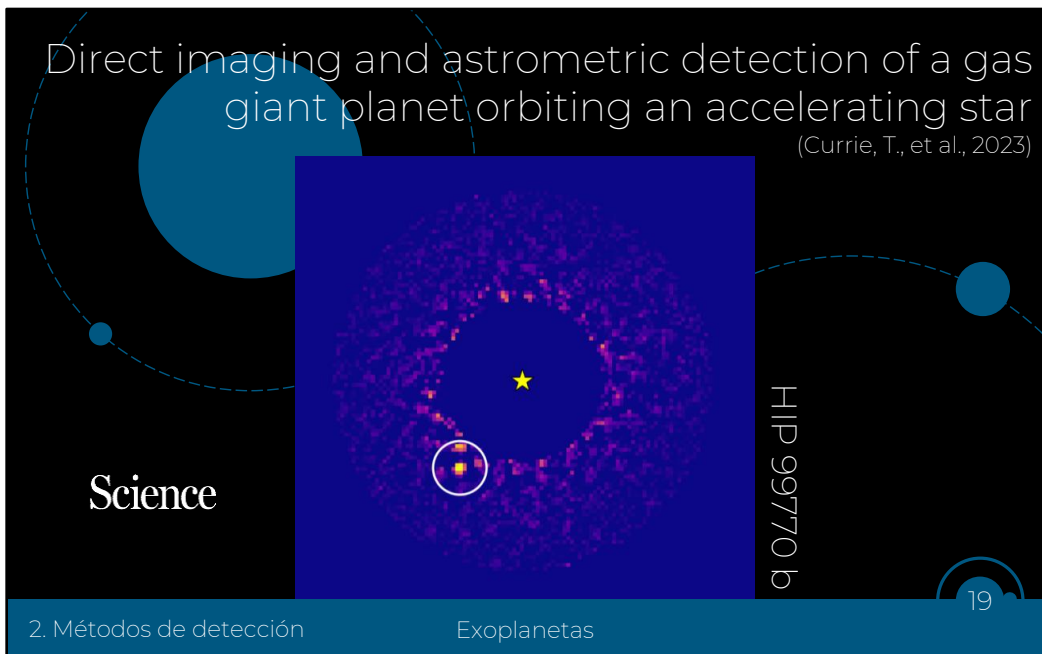
Microlente
gravitatoria

2. Métodos de detección Exoplanetas 18

Cuando una estrella cercana con exoplaneta pasa por delante de una lejana, la cercana hace de lente gravitatoria, amplificando la luz de la lejana. El planeta que orbita la cercana hace lo mismo, y se ve como un aumento momentáneo del brillo de la estrella lejana.

Es una consecuencia directa de la teoría general de la relatividad de Albert Einstein, en virtud de la cual un objeto lo suficientemente masivo puede curvar tanto el espaciotiempo como para que la luz viaje por ese espaciotiempo curvado. La diferencia entre este método y el de tránsitos es que en este, la estrella "objetivo" está mucho más lejos y el exoplaneta muy cerca en comparación, haciendo de campo gravitatorio curvo.





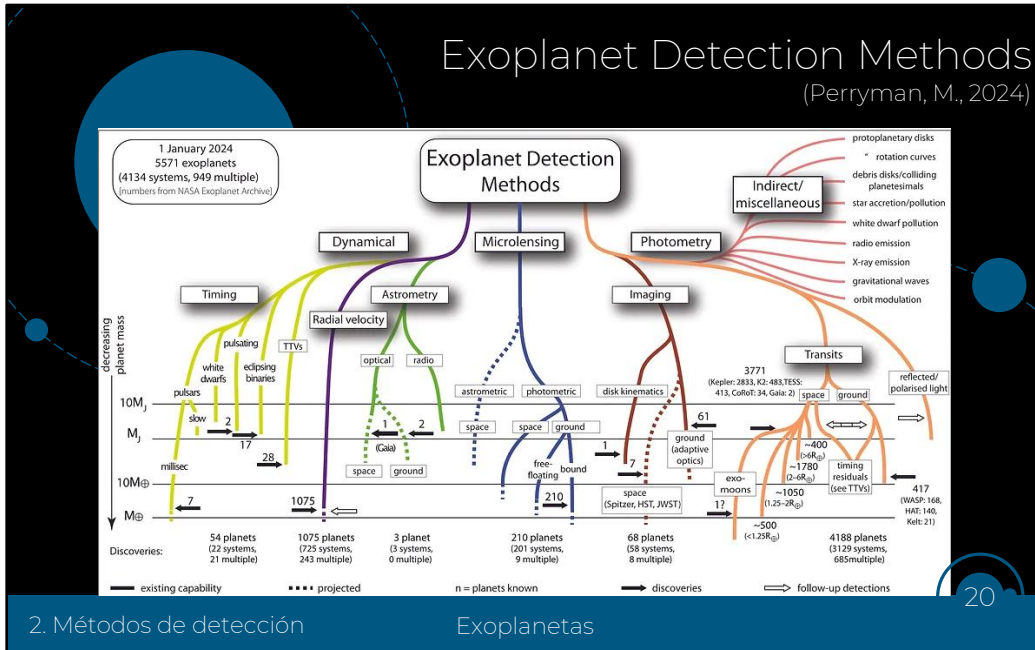
Ejemplo de exoplaneta detectado con imagen directa.

Artículo original:

<https://www.science.org/doi/10.1126/science.abo6192>

Exoplanet Detection Methods

(Perryman, M., 2024)



2. Métodos de detección

Exoplanetas

La clave de estos y otros métodos es que no se realizan de forma aislada. La unión de varios métodos independientes es la clave para una detección fuerte y rigurosa de un exoplaneta.

Resumen de métodos de detección:

https://www.researchgate.net/publication/232063462_Exoplanet_Detection_Methods

<https://www2.mpia-hd.mpg.de/homes/ppvi/chapter/fischer.pdf>

Imagen:

c

Criterios de selección de estrellas

Estrellas tipo solar (FGK) o más frías (M)

Estrellas cercanas y de baja masa

Estrellas estables y poco activas

Estrellas de edad intermedia

2. Métodos de detección

Exoplanetas

21

Para seleccionar las estrellas más potenciales a la hora de detectar exoplanetas, los diferentes grupos de investigación dan preferencia a unas características sobre otras, motivados en muchas ocasiones por su financiación, la competitividad, los intereses académicos y científicos...

Las estrellas tipo solar (FGK) poseen la ventaja de que poseen vidas lo suficientemente largas y estables para favorecer la aparición de exoplanetas. Además, no son demasiado brillantes (a diferencia de las estrellas O, B y A) de forma que no deslumbra a los aparatos. Por último, encontrar exoplanetas con las características más similares a la Tierra (análogos terrestres) es el objetivo principal de la exoplanetología.

Por otro lado, las estrellas M, al ser de baja masa, favorecen la detección por el método de la velocidad radial y son las más abundantes en el universo (el 70% de las estrellas de la Vía Láctea son enanas M). Aun así, son estrellas con una actividad estelar alta debido a su estructura totalmente convectiva, por lo que hay que tener cuidado con el ruido y los falsos positivos. Esta actividad también afecta al propio exoplaneta, convirtiéndolo en no habitable y disminuyendo el interés en ellos.

Retracciones públicas
y falsos positivos (FPP)

Comunes en tránsitos (9-10%)

Variabilidad estelar, artefactos...

Análisis de la curva de luz, monitoreo...

Casos famosos: Gliese 581g, Alfa Centauri Bb

22

2. Métodos de detección Exoplanetas

Aun así, no todas las señales prometedoras significan el descubrimiento de un nuevo exoplaneta. Existen los falsos positivos (señales que originalmente se pensaba que podían corresponder a exoplanetas, pero estudios subsiguientes demostraron que no) y las retractaciones públicas, en donde grupos de investigación desmienten la existencia de exoplanetas anteriormente considerados como reales, obligando al equipo original a retractarse.

El estudio de la veracidad del descubrimiento de un exoplaneta se hace mediante un constante monitoreo de la señal, modelado, etc.

Desmentido de Gliese 581-g:

[Stellar activity masquerading as planets in the habitable zone of the M dwarf Gliese 581 | Science](#)

Desmentido de Alfa Centauri Bb:

[\[1510.05598\] Ghost in the time series: no planet for Alpha Cen B](#)



3

CLASIFICACIÓN

Una vez conocemos los diferentes métodos que tenemos para detectar exoplanetas, podemos pasar a hacer algo de estadística con ellos.



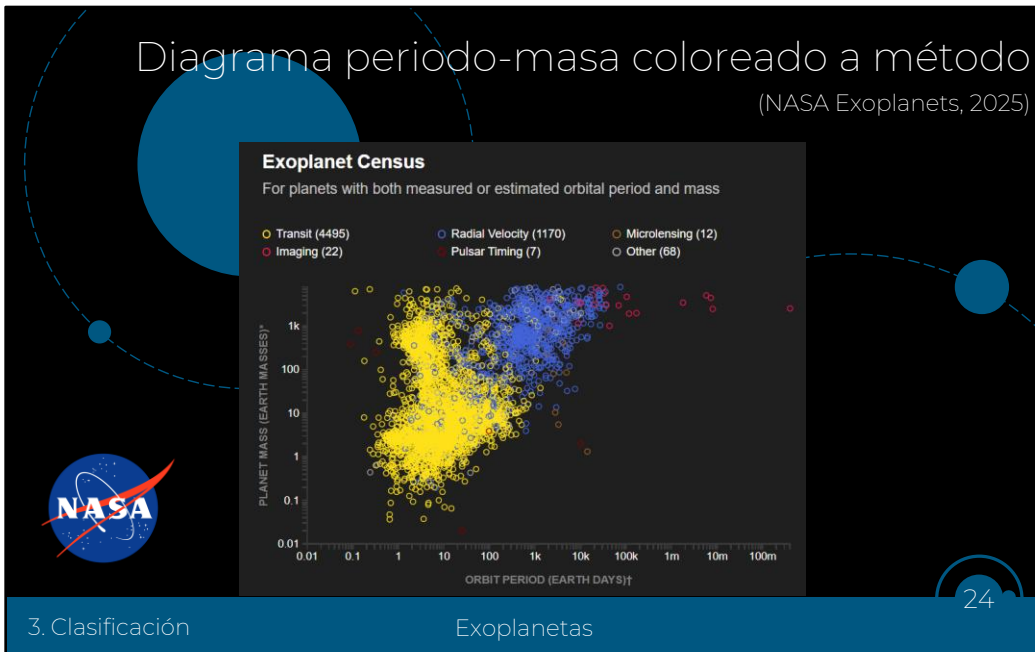
Se comprueba que tránsito es el método más eficiente hasta ahora para detectar exoplanetas, con mucha diferencia sobre velocidad radial.

Datos:

[Discoveries Dashboard - NASA Science](#)

Diagrama periodo-masa coloreado a método

(NASA Exoplanets, 2025)



3. Clasificación

Exoplanetas

24

Censo de exoplanetas coloreado a método de descubrimiento. Luego estudiaremos más en detenimiento este diagrama, porque posee mucha información científica interesante.



a misión Kepler ha sido la más efectiva a la hora de detectar exoplanetas, seguida de TESS y WASP. CARMENES, que lo veremos al final de la sesión, se sitúa en el Top 5.

Telescopio Espacial Kepler (+K2)

Método Tránsitos

Lanzamiento 06 marzo 2009

Periodo de actividad 9,5 años

Exoplanetas confirmados 3.377

FOV 115 deg²



3. Clasificación Exoplanetas

26

El Telescopio Espacial Kepler ha representado un antes y un después en la exoplanetología, con más de 3.300 exoplanetas descubiertos en la región Cygnus-Lyra. Se eligió esta zona por varios motivos: está relativamente lejana de la eclíptica, por lo que Kepler está protegido de la luz solar; las estrellas allí están más o menos a la misma distancia del centro galáctico que la Tierra.

Más información sobre la misión:

[Kepler / K2 - NASA Science](#)

TESS Transiting Exoplanet Survey System

Método Tránsitos
Lanzamiento 18 abril 2018
Periodo de actividad 4 años
Exoplanetas confirmados 765
FOV All-sky

3. Clasificación Exoplanetas

27


El observatorio TESS, sucesor de Kepler, ya ha conseguido monitorear más de 200.000 estrellas preseleccionadas y detectar 440 exoplanetas (con más de 7.000 candidatos).

Más información:

<https://tess.mit.edu/>

<https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/>

<https://www.nasa.gov/tess-transiting-exoplanet-survey-satellite>

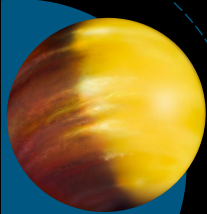


Nomenclatura de exoplanetas

Dos elementos: (1) Nombre propio o abreviación más (2) una letra minúscula, comenzando por la b.

El primer elemento puede ser: el nombre propio de la estrella, su nombre de catálogo, nombre de la misión...

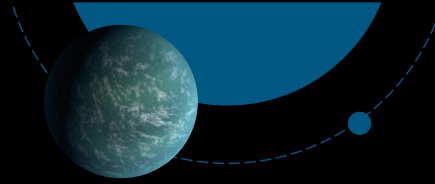
El segundo elemento corresponde al orden de descubrimiento del exoplaneta (b, c, d...).



3. Clasificación Exoplanetas 28

Los exoplanetas se nombran siguiendo unas normas universales entre la comunidad científica.

Nomenclatura de exoplanetas:
[Naming of exoplanets | IAU](#)



En ocasiones, el exoplaneta posee nombre propio, además del científico (Dimidio, Quijote, Galileo, Hypatia, Osiris, Poltergeist...).

Existen campañas públicas de nombramiento de exoplanetas (NameExoWorlds).

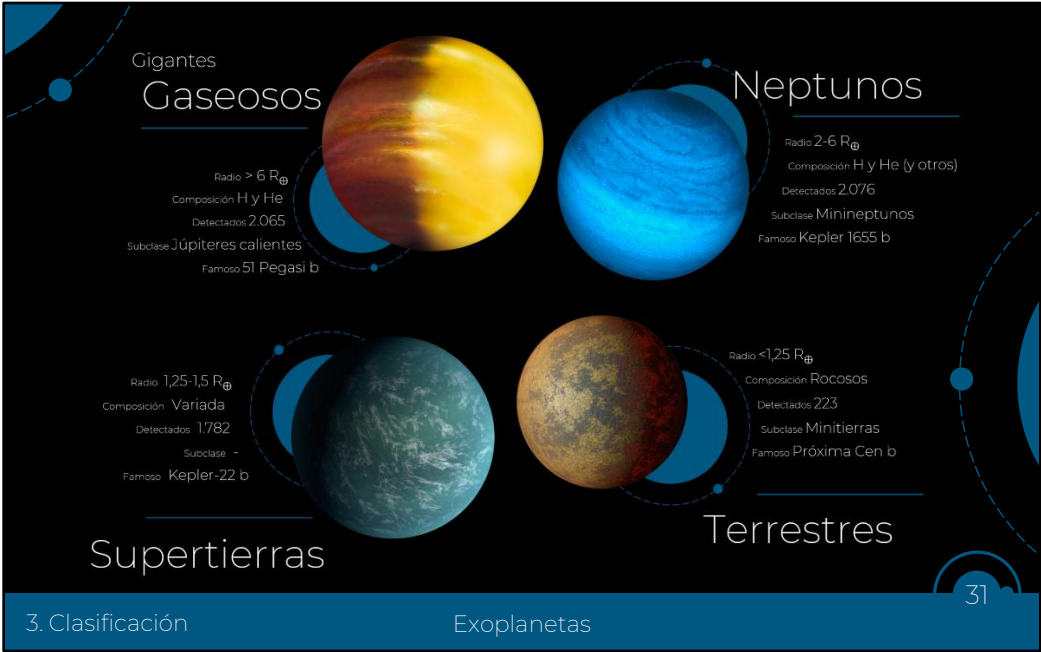
Una palabra, menos de 16 caracteres, pronunciable y no ofensiva.

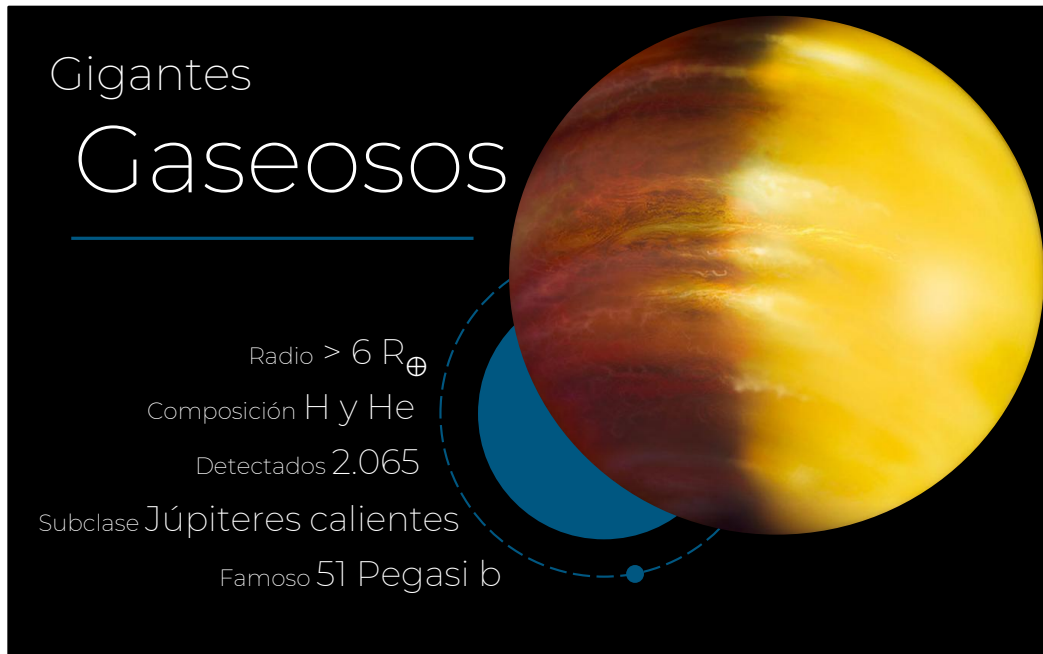
Nomenclatura de exoplanetas



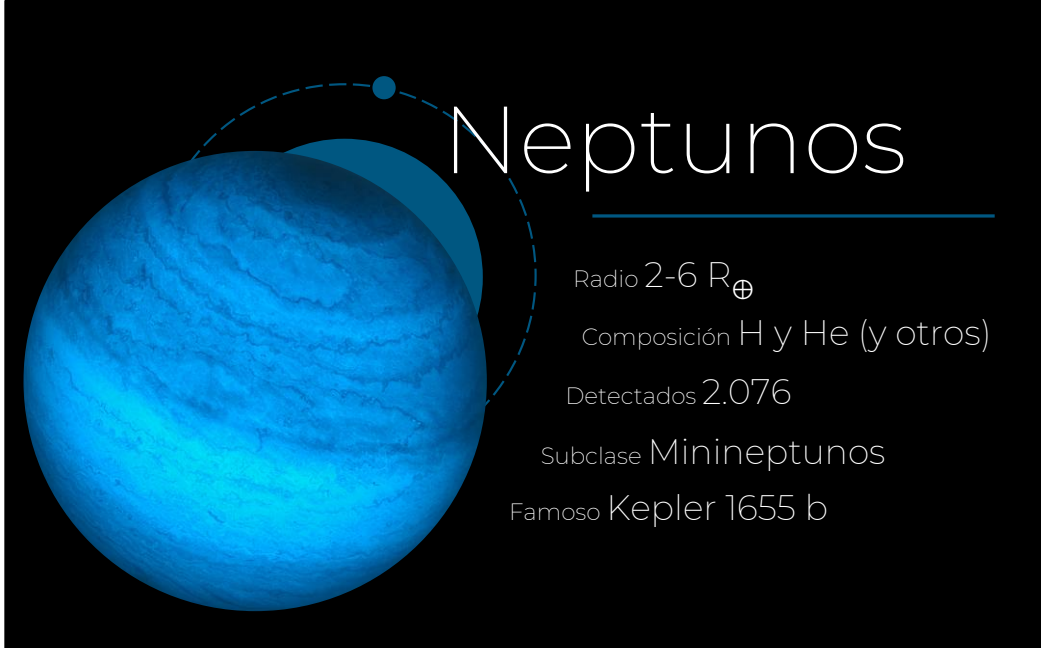
En función de su tamaño, clasificamos los planetas en cuatro tipos mayoritarios: gigantes gaseosos, neptunos, supertierras y terrestres. Los planetas del sistema solar también deben incluirse en alguno de estos tipos.

A su vez, existen otras categorías con sus respectivos nombres, como, por ejemplo, clasificación por composición.



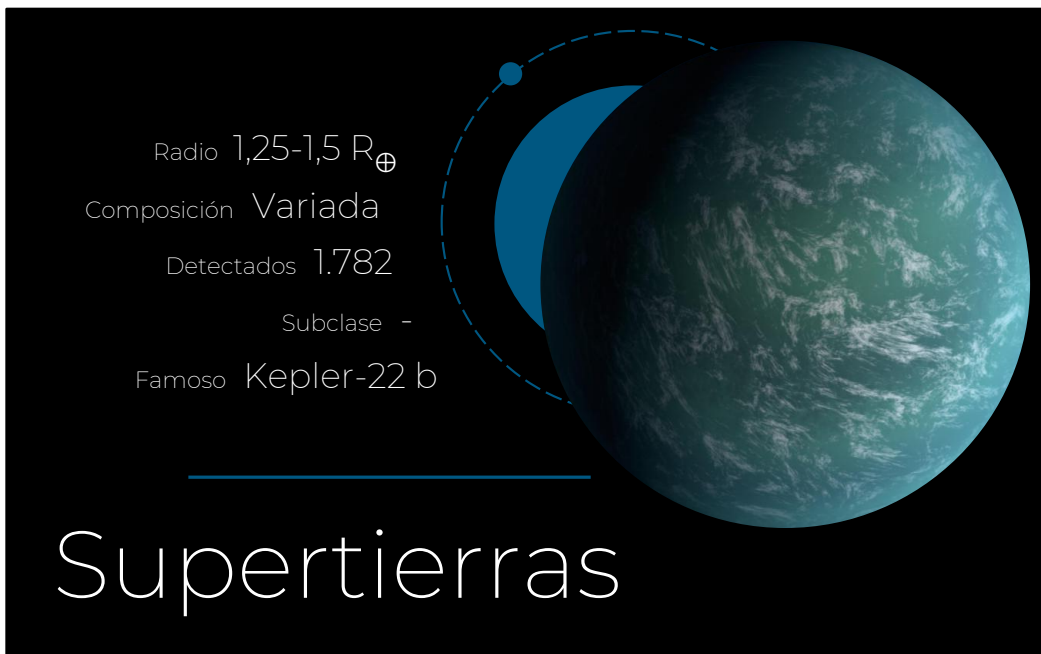


Los gigantes gaseosos son los exoplanetas más grandes. Poseen radios superiores a seis veces el radio de la Tierra y están compuestos casi en su totalidad de hidrógeno y helio. Júpiter y Saturno serían gigantes gaseosos.



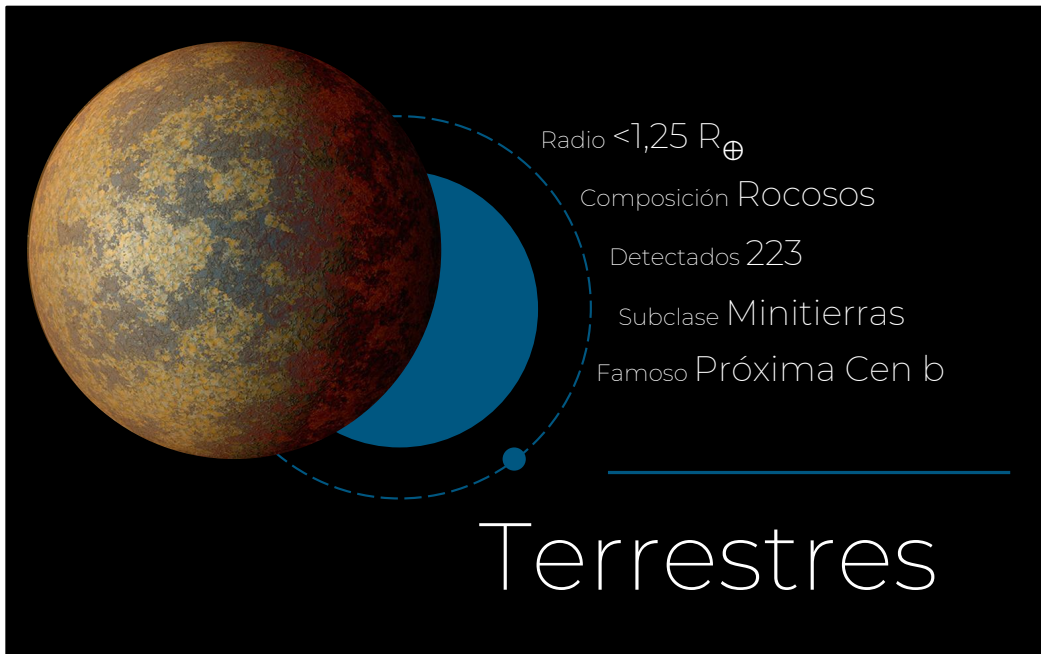
Los siguientes en orden de tamaños son los neptunos, con radios entre dos y seis veces el radio de la Tierra. Además de H y He poseen cantidades importantes de amoníaco, metano... Son los más abundantes descubiertos hasta ahora.

Urano y Neptuno serían neptunos.



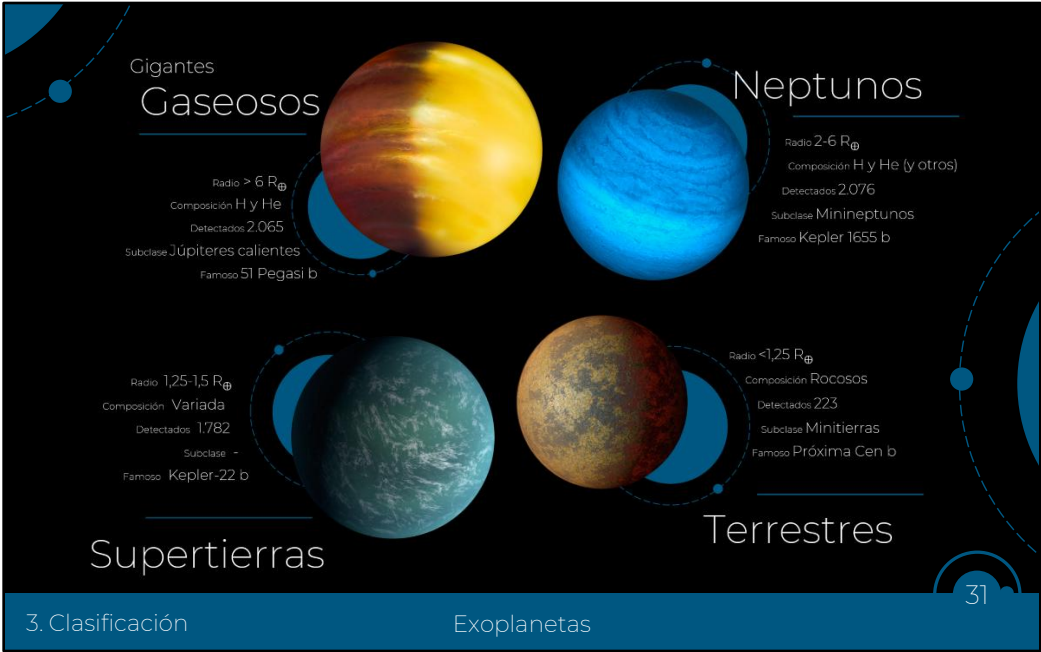
Las supertierras varían entre 1,25 y 1,5 veces el radio de la Tierra. No tienen por qué ser rocosos, por lo que el nombre de supertierra quizás no sea el más conveniente.

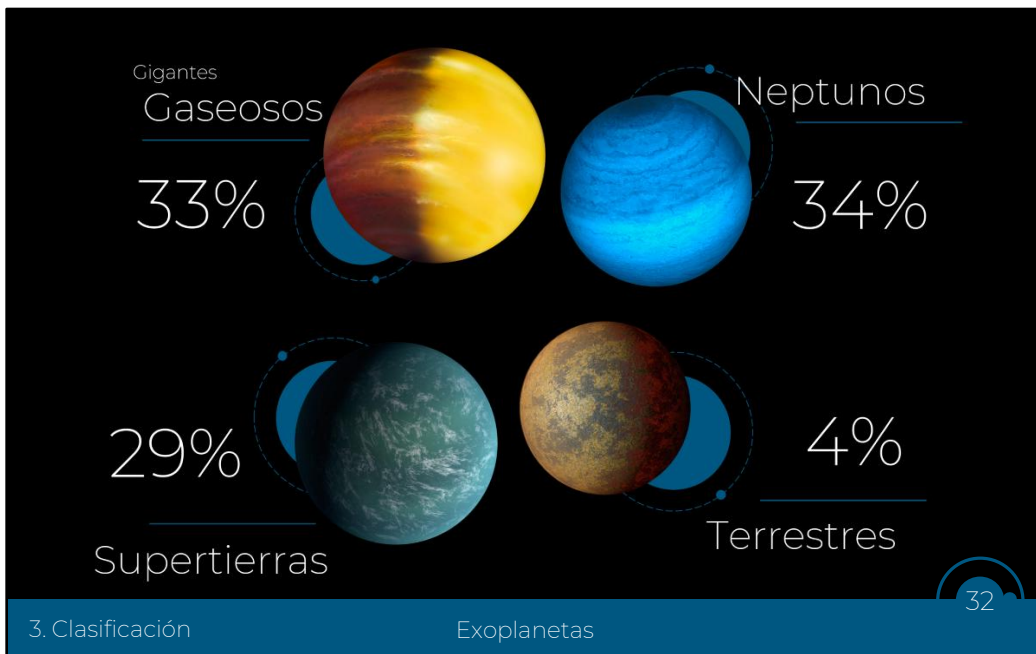
No existen de este tipo de objetos en el sistema solar, que sepamos.



Los más pequeños de todos son los exoplanetas terrestres, con radios inferiores a 1,25 veces el radio de la Tierra y una composición rocosa.

Mercurio, Venus, Tierra y Marte serían terrestres.





Los neptunos son los exoplanetas más descubiertos hasta la fecha, aunque estadísticamente no distan mucho de los gaseosos y las supertierras. Los terrestres solo representan un 4% de los exoplanetas descubiertos, lo que indica que nuestras técnicas de detección están todavía bastante sesgadas hacia exoplanetas grandes.

Estadísticas:

[Discoveries Dashboard - NASA Science](https://science.nasa.gov/exoplanets/discoveries-dashboard/)

Estadísticas:

<https://science.nasa.gov/exoplanets/discoveries-dashboard/>



Aun así, varios grupos de investigación buscan nuevas nomenclaturas que representen mejor el exoplaneta. Aquí se citan varias de ellas.

Planeta hyceano: son exoplanetas con gran cantidad de agua en superficie, rodeados de una extensa atmósfera de hidrógeno, de ahí su nombre.

[What are Hycean Worlds? - Hycean Worlds](#)

Planeta enano gaseoso: de composición similar a los gigantes gaseosos o de hielo, pero con una masa y radio significativamente menores. El término es intercambiable con el de mini neptuno. Tienden a perder sus atmósferas y dejar el núcleo rocoso desnudo (planeta chthoniano). Son el eslabón que unirían las supertierras con los neptunos.

Planeta de vapor: se trata de supertierras o mini neptunos con atmósferas pobladas por vapor de agua.

[Exoplanets engulfed in steam are taking center stage in the search for life in our galaxy | Space](#)

Planeta chthoniano: son exoplanetas hipotéticos, sobre todo júpiteres calientes, que

han perdido su atmósfera de hidrógeno y helio, dejando a la vista su núcleo rocoso.
[\[astro-ph/0312384\] Evaporation rate of hot Jupiters and formation of Chthonian planets](#)

Planeta oceánico o de agua: planetas terrestres o supertierras cubiertos completamente por agua en su superficie.



Con los datos obtenidos de masas, radios... a partir de las diferentes técnicas, podemos construir diagramas interesantes en donde se revelan los diferentes tipos de exoplanetas.

Diagrama periodo vs. masa: júpiteres calientes y desierto neptuniano. Aparece también el valle de detección, una diagonal que separa los júpiteres calientes de los fríos (debida posiblemente a sesgos de aparatos o procesos de migración más rápidos de lo que se pensaba).

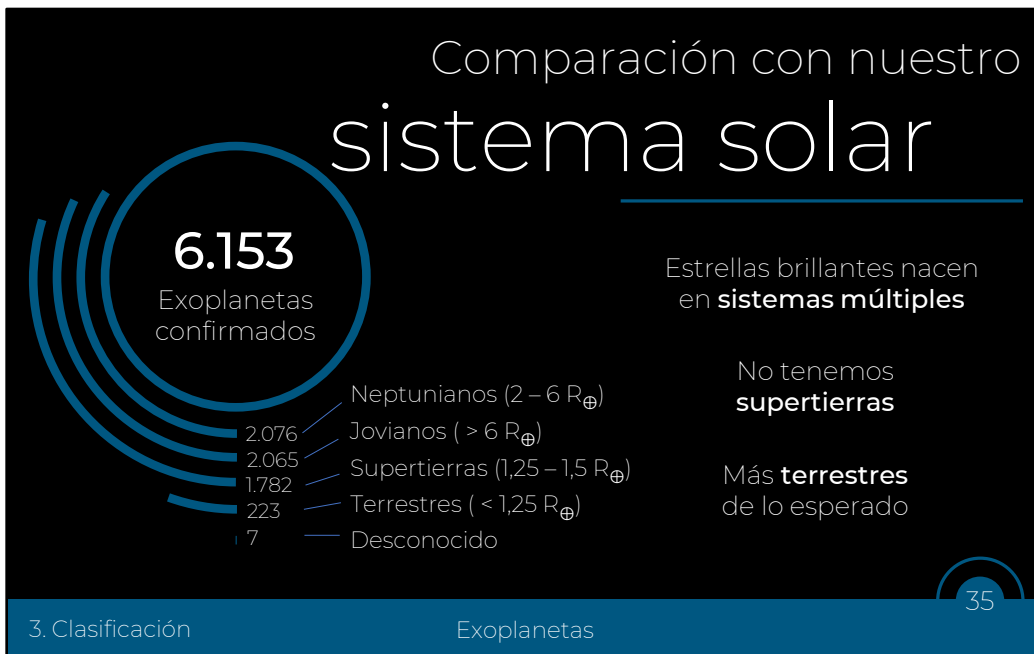
Histograma radio vs. número de planetas: hueco de Fulton o valle de fotoevaporación

Enlaces:

NASA: [NASA Exoplanet Archive](#)

The Extrasolar Planet Encyclopaedia: [Plots](#)

Open Exoplanet Catalogue: [Open Exoplanet Catalogue - Correlation Plots](#)



Con estos datos podemos decir que nuestro sistema solar es bastante particular, si bien es posible que nuestros sesgos observacionales sean el causante de este problema.

Artículo: <https://www.forbes.com/sites/jamiecartereurope/2023/03/06/our-solar-system-is-the-rarest-kind-in-the-milky-way-say-scientists/>



4

FORMACIÓN Y EVOLUCIÓN



Formación de
(exo)planetas

La formación de exosistemas planetarios es una extrapolación del modelo de formación de nuestro sistema solar.

Sus orígenes se rastrean hasta los trabajos de Emanuel Swedenborg (1688-1772), Immanuel Kant (1724-1804) y Pierre-Simon Laplace (1749-1827).

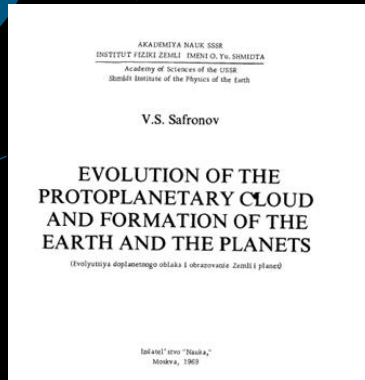
Modelo Estándar de Disco Solar Nebular (SNDM) con modificaciones (**Modelo de Niza**).

4. Formación y evolución Exoplanetas 36

Entendemos la formación de exoplanetas del mismo modo que entendemos la formación de los planetas del sistema solar: modelo estándar de disco solar nebuloso (con posibles modificaciones, como el modelo de Niza).

Evolution of the protoplanetary cloud and formation of the Earth and the planets

(Safronov, V., 1969)



4. Formación y evolución

Exoplanetas

37

Fuente:

https://ia600208.us.archive.org/21/items/nasa_techdoc_19720019068/19720019068.pdf

Explicación de:

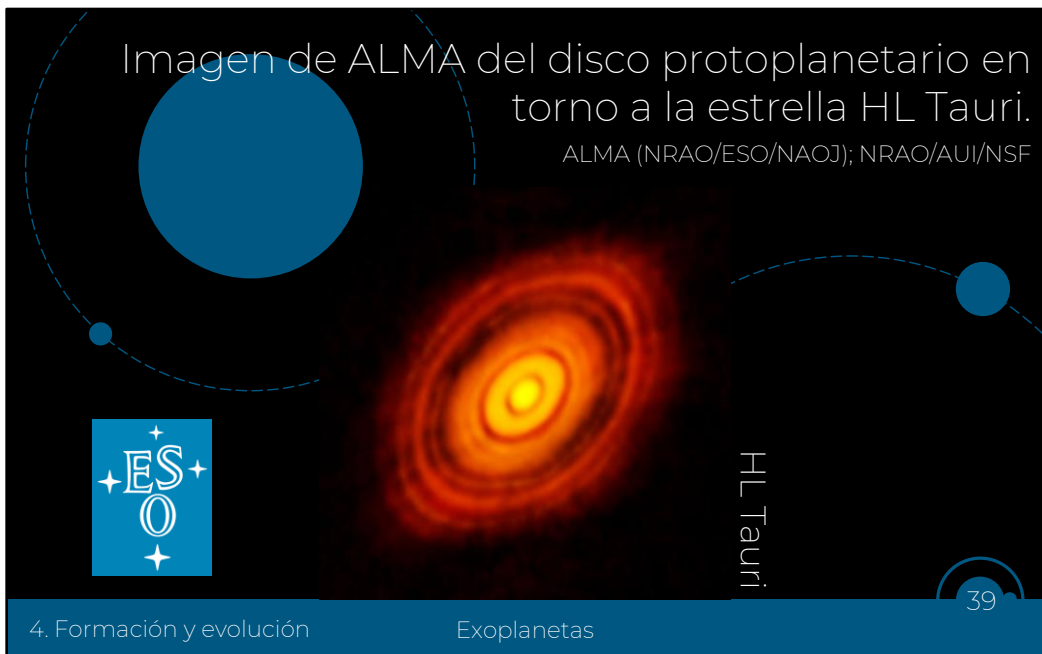
- Movimientos orbitales
- Edades y abundancias
- Diferenciación planetaria
- Existencia de otros objetos

A partir de:

- Estructura presente
- Meteoritos y cometas
- Sistemas en formación

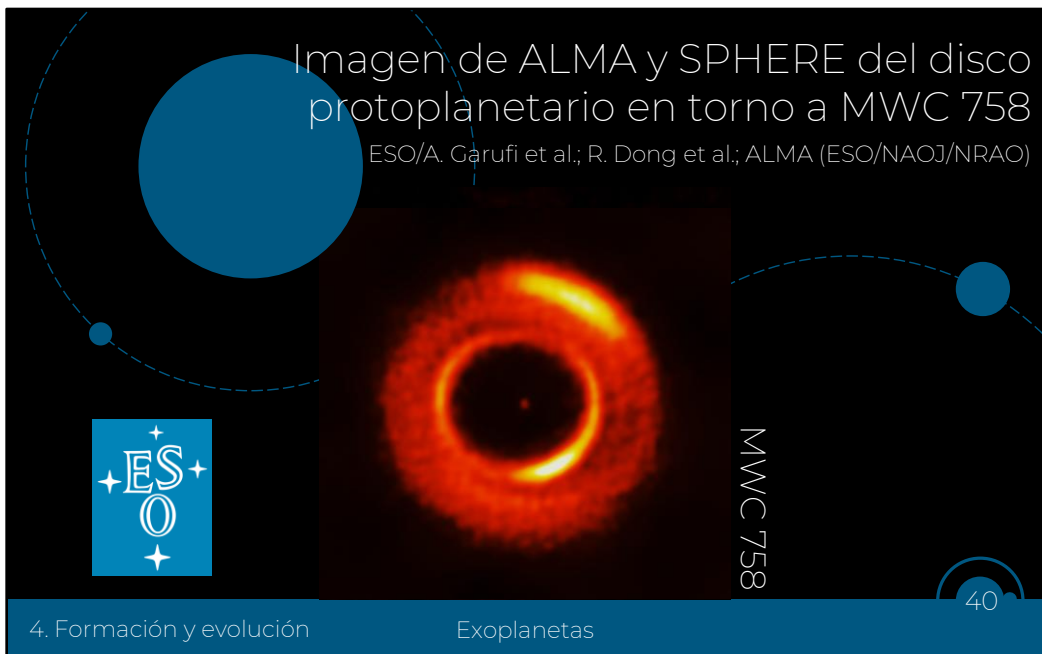
4. Formación y evolución Exoplanetas 38

Todo modelo de formación de exoplanetas parte del estudio del sistema solar, pues también tiene que poder explicar la formación de nuestro sistema.



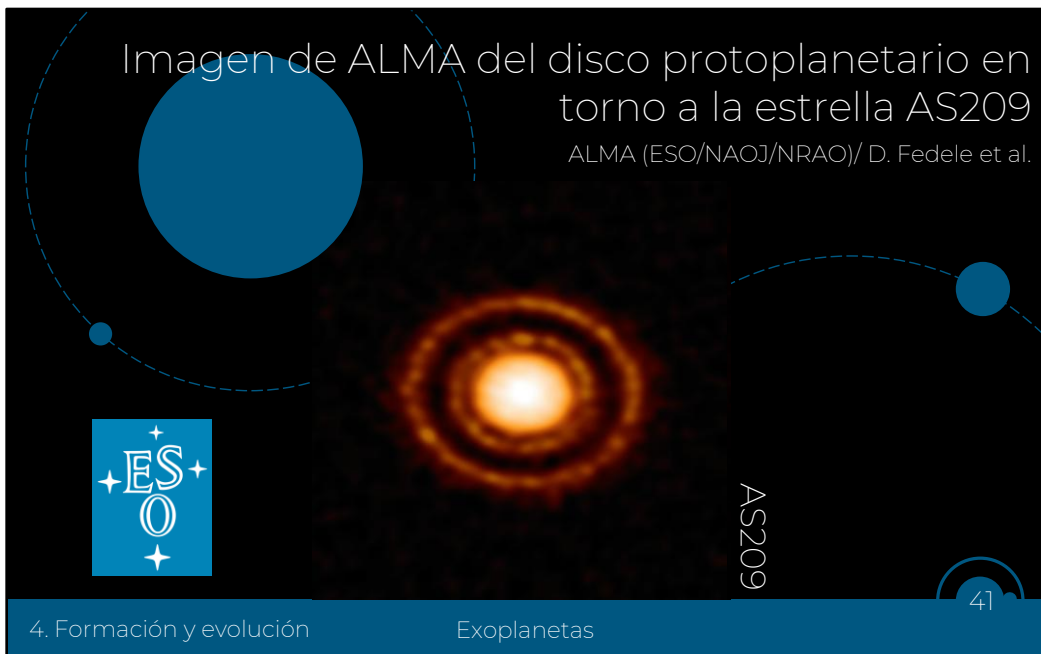
Fuente:

<https://www.eso.org/public/unitedkingdom/images/eso1436a/>



Fuente:

<https://www.eso.org/public/unitedkingdom/images/eso2405e/>



Fuente:

<https://www.almaobservatory.org/es/comunicados-de-prensa/alma-obtiene-la-mejor-imagen-de-un-disco-protoplanetario/>

Modelo de formación del sistema solar

1. **Colapso** de nube molecular fría y densa al superar la **masa de Jeans**.
2. Formación de **protoestrella** y disco protoplanetario (*proplyd*).
3. Comienzo de la **fusión nuclear** en la estrella.
4. Formación de **planetas gigantes** y **planetesimales**.
5. **Limpieza** del medio y posibles **migraciones**.

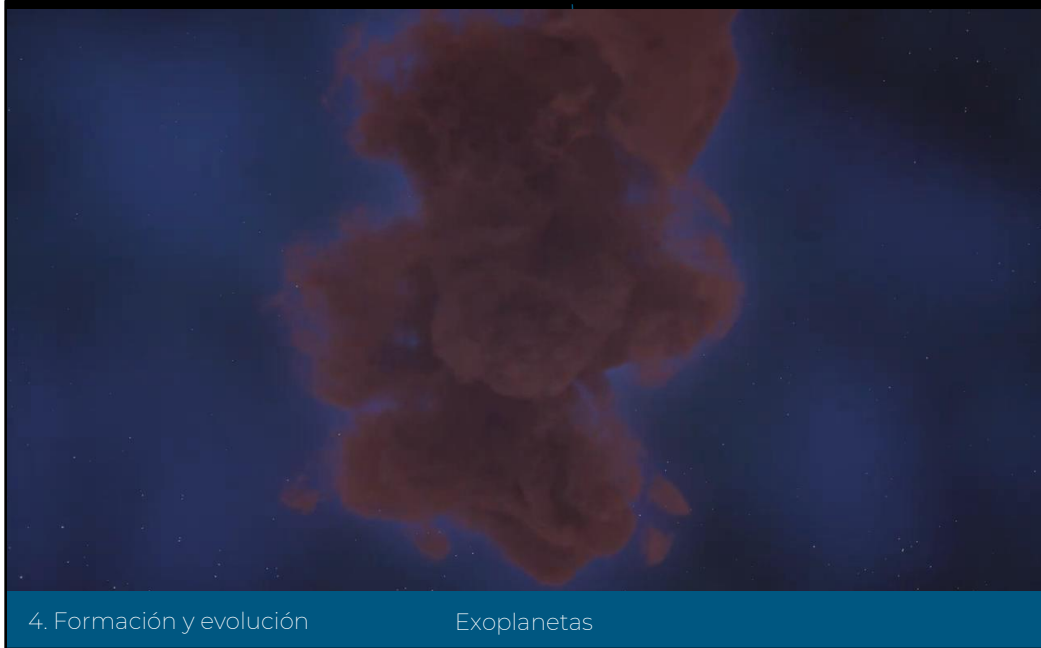
4. Formación y evolución

Exoplanetas

42

Vídeo:

<https://www.youtube.com/watch?v=PF8NQ9llaT0>



Vídeo:
<https://www.youtube.com/watch?v=PF8NQ9IlaT0>

Diferenciación
(exo)planetaria

Dos tipos de materiales (en función de su T_{cond}): **refractarios** y **volátiles**.
Los volátiles se clasifican en **hielos** ($T_{\text{cond}} > 80 \text{ K}$) y **gases** ($T_{\text{cond}} < 80 \text{ K}$).
Esta clasificación es **independiente de la fase** y determina la posición del (exo)planeta: **gradiente térmico del *proplyd***
Cerca de la estrella, solo se condensan los refractarios (**planetas rocosos**), mientras que los volátiles lo hacen tras la línea de hielo (**planetas gaseosos y helados**)

4. Formación y evolución Exoplanetas 43

Los (exo)planetas no se distribuyen al azar, sino que ocupan su posición en función del material del que están hechos. Originalmente, este material se concentra en el disco protoplanetario.

Las zonas cercanas a la protoestrella, donde la temperatura es mayor, favorecen la condensación (en este contexto, paso de gas a sólido) de los materiales refractarios (metales), pues estos tienen temperaturas de condensación altas. Por eso, cerca de la estrella, se sitúan los planetas rocosos.

Por el contrario, los materiales volátiles (hielos y gases) necesitan temperaturas muy bajas para condensarse (formar granos sólidos). Así, los planetas gaseosos y helados son los más lejanos de la estrella. Estos son más grandes que los rocosos porque disponen de más material para crecer (volátiles más granos de polvo de la nube molecular).

La línea que separa los planetas refractarios de los volátiles se denomina línea de hielo o Frost line.



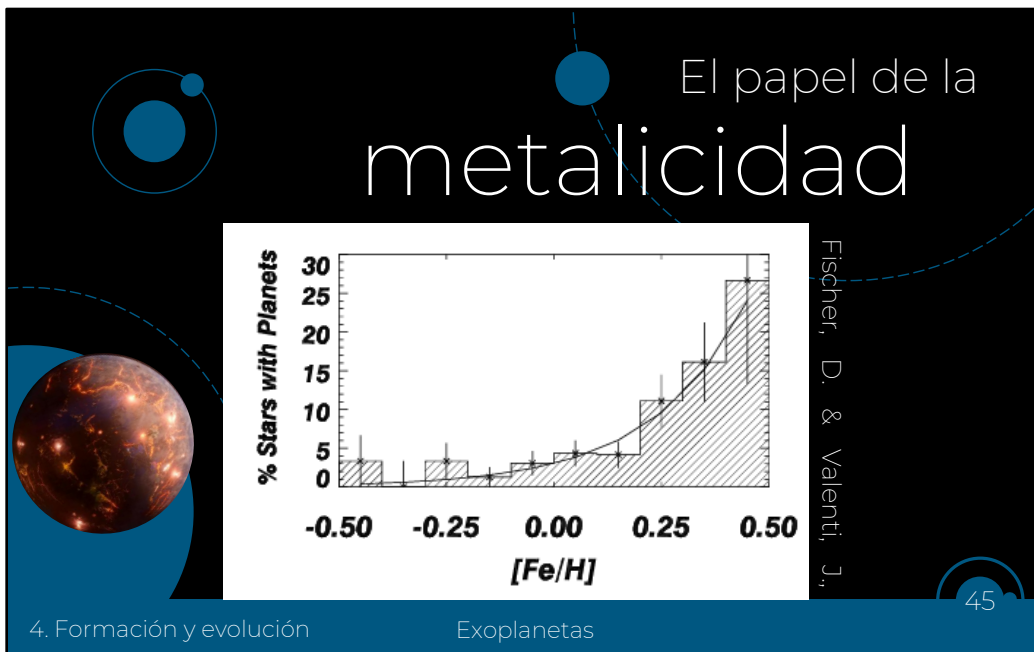
El papel de la metalicidad

La **metalicidad** es un parámetro que indica la cantidad de metales (elementos que no son H ni He) de un objeto astronómico.

El número de planetas gigantes gaseosos aumenta con la metalicidad de la estrella FGK huésped (2005).
¿Extensible a otro tipo de estrellas y planetas? Rama muy interesante de estudio.

4. Formación y evolución Exoplanetas 44

La metalicidad es un parámetro muy interesante para la formación de exoplanetas ya que determina la cantidad de refractarios y hielos disponibles para formar planetas. A mayor metalicidad, mayor probabilidad de formar gigantes gaseosos (porque se dispone de más material).



El número de planetas gigantes aumenta con la metalicidad en estrellas de tipo solar. ¿Es extrapolable a otros tipos de planetas y estrellas?

Artículo original:

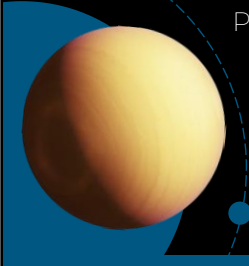
<https://iopscience.iop.org/article/10.1086/428383>

Problema de los Júpiteres calientes

Se denominan **júpiteres calientes** a aquellos gigantes gaseosos que están situados muy cerca de su estrella huésped.

Poseen periodos < 10 días y sus órbitas presentan semiejes mayores entre 0,01-0,1 UA.

Posible explicación: **migraciones planetarias** (modelo de Niza para el sistema solar*).



4. Formación y evolución

Exoplanetas

46

“Desierto” de Neptunos

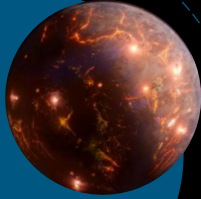
Zona alrededor de una estrella en la que no se encuentran exoplanetas tipo Neptuno.

Al estar teóricamente próximos a la estrella, esta barre su atmósfera, dejando el **núcleo desnudo** del exoplaneta.

NGTS-4 b fue el primer exoplaneta descubierto en esta zona (2019). ¿Fin del concepto?

Valle de la fotoevaporación

El valle de la fotoevaporación (o **hueco de Fulton**) es la aparente “escasez” de exoplanetas con radios entre 1,5 y 2 veces el radio de la Tierra.



Posible explicación: **fotoevaporación de atmósferas**, sesgo observacional...

Exoplanetas errantes

Objetos de **masa planetaria** que no orbitan en torno a ninguna estrella ni enana marrón.

Según la definición de la UAI, no son propiamente exoplanetas, por lo que también se les llama **FFP** o **iPMO**.

Actualmente se conocen cientos de ellos, con varias hipótesis sobre su **formación**.

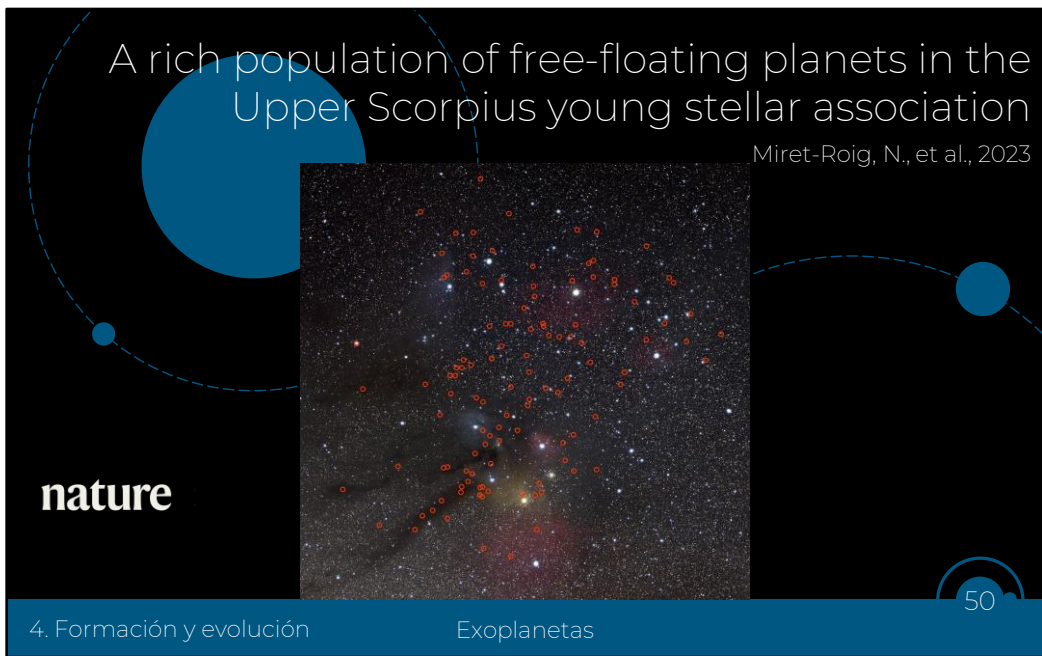
4. Formación y evolución

Exoplanetas

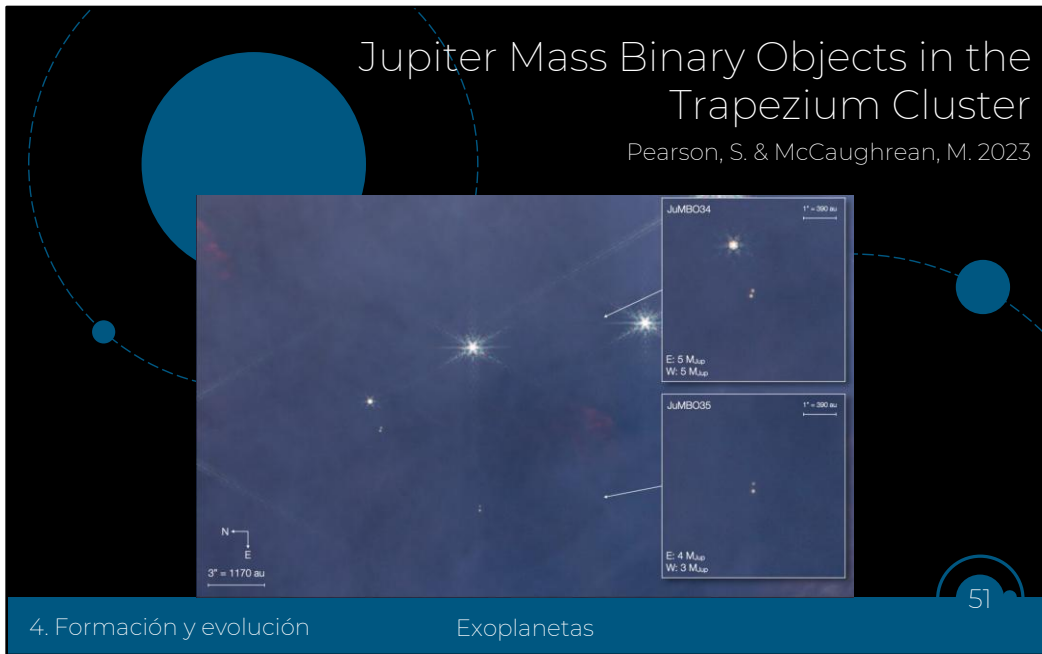
49

FFP=Free Floating Planetas

Impo=interstellar Planetary Mass Objects



Artículo original: <https://www.nature.com/articles/s41550-021-01513-x>



Artículo original: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023arXiv231001231P/abstract>

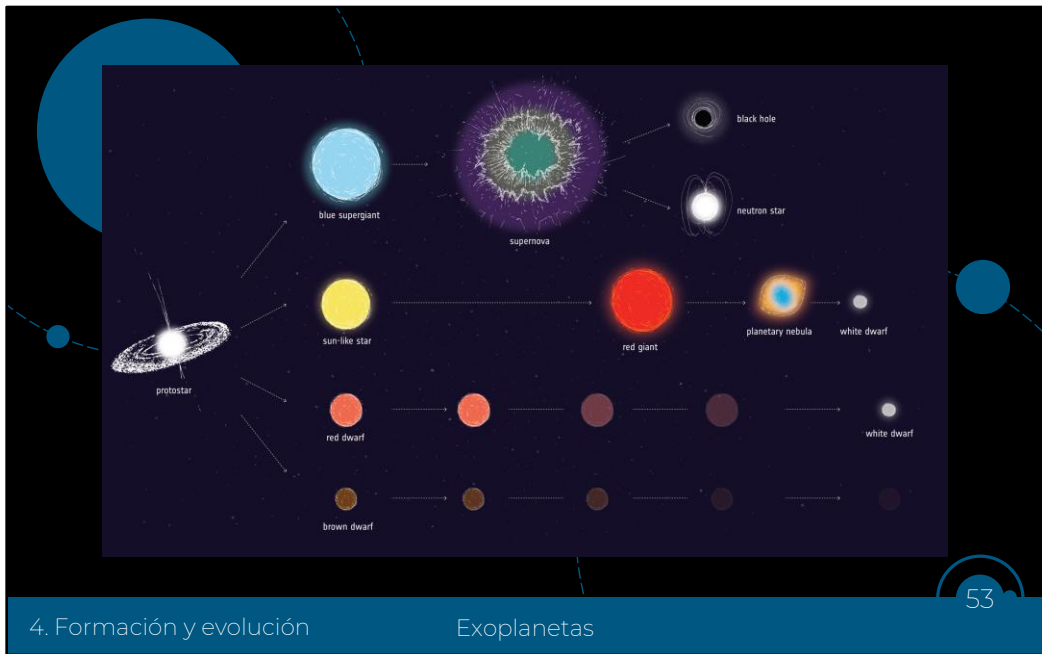
(Exo)planetas y su evolución



La evolución de cualquier (exo)planeta está ligada al futuro y tipo de su **estrella huésped**.

Los (exo)planetas interiores pueden ser engullidos al pasar la estrella por sus diferentes **fases de evolución** (GR, AGB...)

Los exteriores pueden sobrevivir a condiciones extremas (SN II) y orbitar los **remanentes estelares** (EB, EN, AN...)



https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2018/03/Stellar_evolution



5 HABITABILIDAD

Uno de los temas más apasionantes relacionados con la exoplanetología es el de la habitabilidad de estos mundos. Es, quizás, el argumento social más poderoso para su investigación.

Zona de
habitabilidad

Región alrededor de la estrella en la que es posible
la existencia de **agua en estado líquido** en superficie.

Depende de varios **factores**: temperatura de la estrella
huésped, actividad cromosférica, condiciones planetarias...

Exoplanetas en HZ 36^{*}

5. Habitabilidad Exoplanetas 54

El primer concepto importante es el de zona de habitabilidad. El asterisco en el número indica solo los exoplanetas en la HZ descubiertos por Kepler.

Más información sobre habitabilidad:

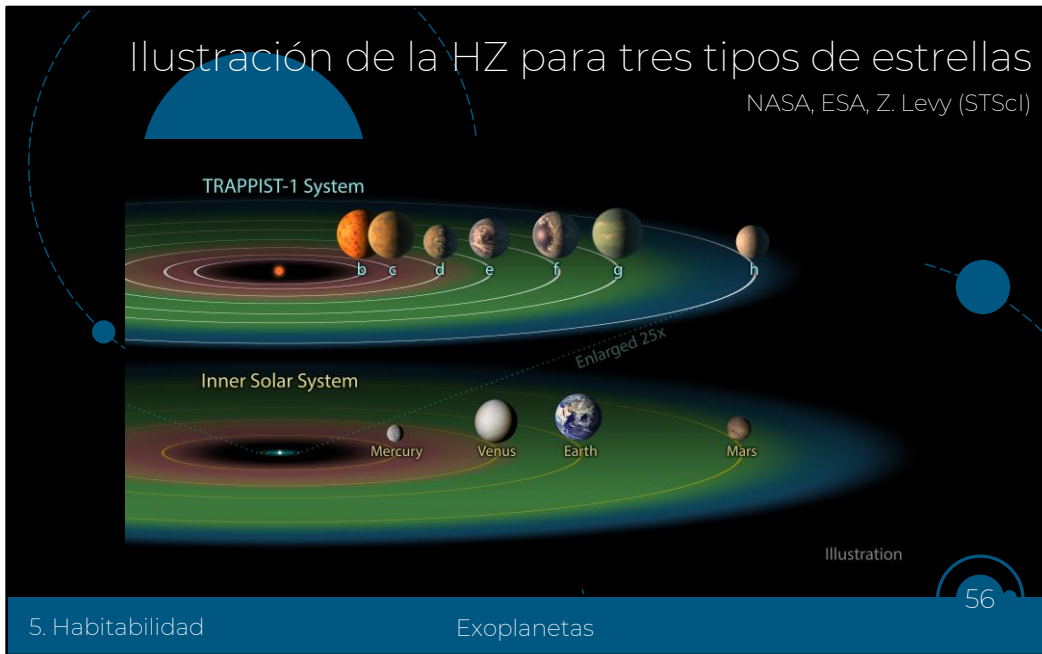
[What is the habitable zone or “Goldilocks zone”? - NASA Science](#)

Ilustración de la HZ para tres tipos de estrellas

NASA, ESA, Z. Levy (STScI)



Fuente:
<https://science.nasa.gov/exoplanets/habitable-zone/>



Fuente:

[Largest Batch of Earth-size Habitable Zone Planets Found Orbiting TRAPPIST-1 - NASA Science](#)

Estudiables mediante **espectroscopía**
La luz atraviesa la exoatmósfera durante el **tránsito**
Mayormente en gigantes gaseosos y neptunos
Posible existencia de **biofirmas**

Exoatmósferas analizadas 307
Moléculas diferentes detectadas 68

Atmósferas exoplanetarias

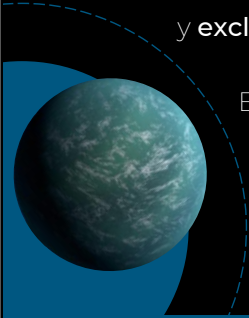
5. Habitabilidad Exoplanetas 57

Catálogo de exoatmósferas:

<https://research.iac.es/proyecto/exoatmospheres/index.php>

Biofirmas

Se conoce como **biofirma** a la marca, señal o actividad que **inequívoca** y **exclusivamente** se asocia a **procesos biológicos**.



Es más fácil decir qué moléculas no son biofirmas (CO_2 , O_3 , CH_4 , DMS, CH_3Cl ...) que las que sí (ninguna aislada).

Ningún gas aislado es una biofirma definitiva. Es necesaria confirmación, contexto completo y combinaciones.

58



Vídeo:
<https://www.youtube.com/watch?v=Ppc1N3k8pYY>

Índice de similitud con la Tierra

Número que indica lo parecido que es un exoplaneta con respecto a la Tierra.

Se basa en el radio del exoplaneta y la radiación que este recibe de su estrella.

Exoplanetas con $0,9 < ESI < 1$: 7

$$ESI(S, R) = 1 - \left\{ \frac{1}{2} \left[\left(\frac{S - S_{\oplus}}{S + S_{\oplus}} \right)^2 + \left(\frac{R - R_{\oplus}}{R + R_{\oplus}} \right)^2 \right] \right\}^{1/2}$$

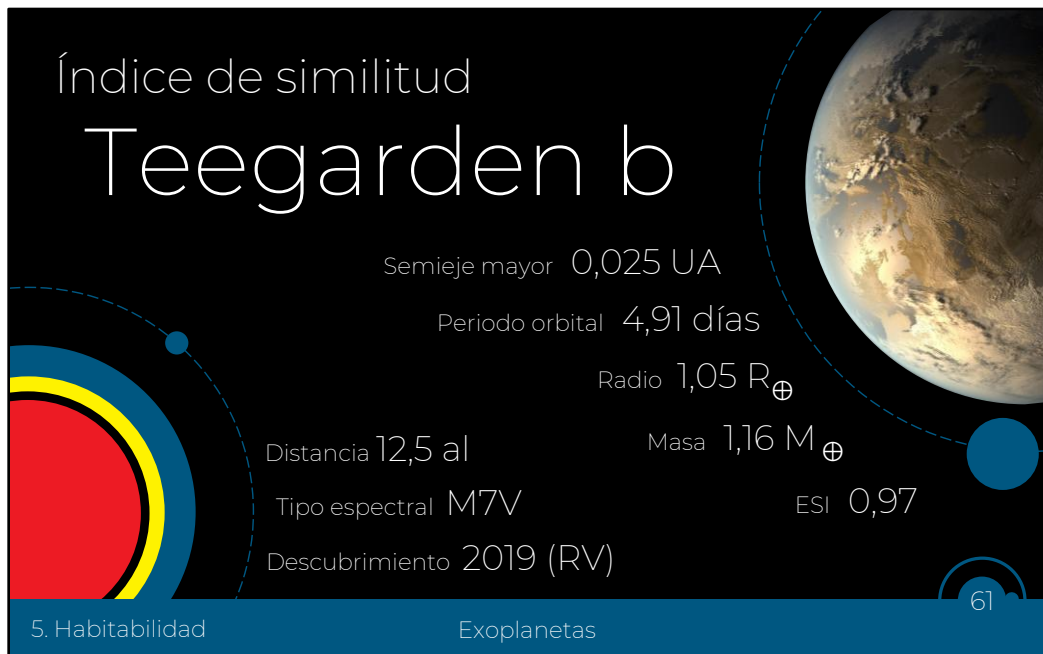
5. Habitabilidad

Exoplanetas

60

Más información sobre el ESI:

<https://phl.upr.edu/projects/earth-similarity-index-esi>



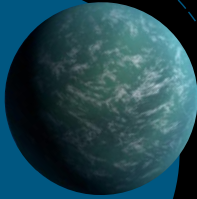
Artículo original: <https://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2019/07/aa35460-19.pdf>

Análogos terrestres

Los **análogos terrestres** son exoplanetas cuyas condiciones físicas (masa, temperatura, radio, composición...) son similares a las de la Tierra. Los más parecidos son los **gemelos terrestres**.

Relacionado con la **paradoja de Fermi** y la **ecuación de Drake**.

Importancia de la estrella huésped (**análogo/gemelo solar**).



5. Habitabilidad

Exoplanetas

62

Existencia por **extrapolación** del sistema solar

Ninguna evidencia directa, pero sí **candidatas**

Muy difíciles de detectar actualmente

Posibles mundos **habitables**

¿Existen las
exolunas?

HD 189733 b I*

Kepler 1625 b I*

Kepler 1078 b I*

WASP 76 b I*

5. Habitabilidad

Exoplanetas

63

Debate sobre la existencia de exolunas:

<https://www.space.com/exomoon-discovery-scientists-debate-kepler-hubble-study>



6

VÍA LÁCTEA Y MÁS ALLÁ

¿Qué conocemos de la posición y frecuencia de planetas en nuestro entorno? ¿Y en nuestra galaxia? ¿Y más allá? Este punto se dedica a poner en perspectiva hasta dónde hemos sido capaces de observar y de establecer, de forma más o menos rigurosa, cuántos exoplanetas nos rodean.



Es la misma diapositiva que la vista en el punto 3 y nos permite establecer que, hasta donde sabemos, nuestro sistema solar es bastante peculiar (estrella brillante única, sin supertierras y con más planetas terrestres de los observados), posiblemente relacionado aún con problemas de sesgos observacionales.

Artículo: <https://www.forbes.com/sites/jamiecartereurope/2023/03/06/our-solar-system-is-the-rarest-kind-in-the-milky-way-say-scientists/>



Extrapolación a la Vía Láctea

Asumiendo que nuestra galaxia cuenta con entre 200.000 y 400.000 millones de estrellas, una estimación **conservadora** sería considerar un exoplaneta por estrella y que, de ellos, el 10% se sitúe en su HZ, de los cuales el 4% serían rocosos.

6. Vía Láctea y más allá

Exoplanetas

65

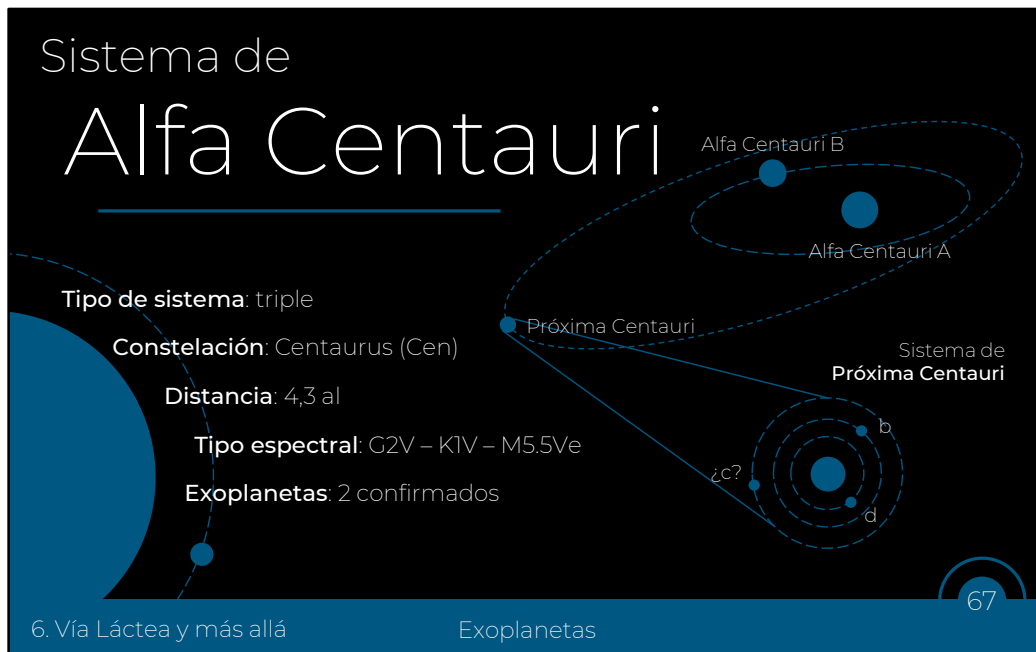
Si extrapolamos los datos al conjunto de la galaxia, nos encontramos con números muy prometedores. Asumiendo 200.000 millones de estrellas en nuestra galaxia, los estudios muestran que mínimo existe un exoplaneta por estrella, por lo que, de pronto, ya nos encontraríamos con 200.000 millones de exoplanetas en la Vía Láctea (en el caso más conservador).

La estadística muestra que, del total de exoplanetas, el 10% se sitúa en la zona de habitabilidad de su estrella, lo que nos llevaría a tener 20.000 millones de exoplanetas en la HZ de su estrella en la Vía Láctea. De ellos, el 4% es de tipo rocoso como la Tierra, lo que nos lleva a un número total de 800 millones de exoplanetas rocosos en la zona de habitabilidad de sus estrellas en la Vía Láctea.



Aun así, la zona que hemos estudiado hasta ahora de nuestra galaxia es muy limitada. El triángulo verde corresponde a la zona estudiada por la misión Kepler, mientras que los puntos amarillos indican detecciones por microlente gravitatoria.

Las detecciones por microlentes se realizan en dirección del centro galáctico porque es donde la densidad de estrellas es mayor y, en consecuencia, la probabilidad de un evento de microlente gravitatoria, aumenta.



La diapositiva anterior implica que, obviamente, la mayoría de exoplanetas que conocemos son cercanos, en términos galácticos, al sistema solar. De hecho, el exoplaneta más cercano conocido orbita a la estrella más cercana al Sol, Próxima Centauri, que forma parte de un sistema triple: el sistema de Alfa Centauri.

Próxima Centauri es el hogar de dos exoplanetas confirmados, los dos más cercanos a la Tierra. El primero de ellos, Proxima Centauri b, lo descubrió en 2016 el astrofísico español Guillem Anglada-Escudé: <https://www.nature.com/articles/nature19106>

Próxima Cen
Próxima Cen b

Descubrimiento 2016
Método VR
Distancia 4,3 al
Periodo 11 días
Radio 1,3 R_{\oplus}
Masa 1,07 M_{\oplus}

6. Vía Láctea y más allá Exoplanetas 68

The infographic features a large, textured 3D rendering of the planet Próxima Centauri b on the left. To its right, a dashed blue circle represents its orbit around a central blue dot representing the star. A smaller blue circle is positioned further to the right, representing the star's position relative to Earth. The background is black, and the text is in white and blue. A blue bar at the bottom contains the text '6. Vía Láctea y más allá', 'Exoplanetas', and a small circular icon with the number '68'.

Más información sobre Próxima Centauri b:
https://exoplanet.eu/catalog/proxima_centauri_b--4042/

Próxima Cen
Próxima Cen d

Descubrimiento 2022
Método VR
Distancia 4,3 al
Periodo 5 días
Radio $0,8 R_{\oplus}$
Masa $0,3 M_{\oplus}$

6. Vía Láctea y más allá Exoplanetas 69

Más información sobre Próxima Centauri b:
https://exoplanet.eu/catalog/proxima_centauri_d--7409/

Sistema de Barnard

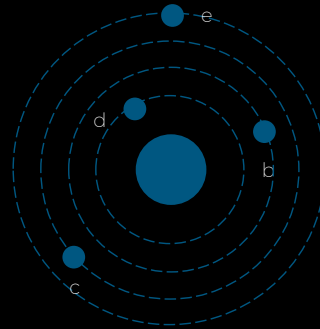
Tipo de sistema: simple

Constelación: Ophiuchus (Oph)

Distancia: 6 al

Tipo espectral: M4V

Exoplanetas: 4 confirmados



6. Vía Láctea y más allá

Exoplanetas

70

El sistema exoplanetario alrededor de una única estrella (a diferencia del sistema de Alfa Centauri) es el que orbita en torno a la estrella de Barnard, la estrella con el movimiento propio más alto conocido.

Sistema exoplanetario de la estrella de Barnard:

<https://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/adb8d5>

HD 160691

Mu Arae

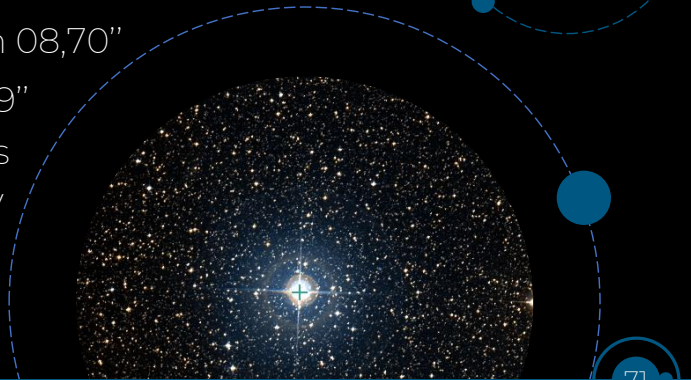
RA 17h 44min 08,70"

DE -51° 50' 02,59"

Paralaje 64,09 mas

Tipo espectral G3IV-V

Planetas 4 (2001, VR)



6. Vía Láctea y más allá

Exoplanetas

71

El sistema Mu Área (conocida como estrella Cervantes) es famoso por llevar el nombre de personajes de la obra Don Quijote de la Mancha.

Sistema Mu Arae

Sancho (e)

Rocinante (d)

Cervantes

Dulcinea (c)

Quijote (b)

PLANETARIO PAMPLONA / IRUÑA

SEA Instituto Cervantes

6. Vía Láctea y más allá Exoplanetas 72

Más información sobre el sistema:
https://exoplanet.eu/catalog/mu_ara_b--115/ y sucesivos

Kepler-22
Kepler-22 b

Descubrimiento 2011
Método Tránsitos
Distancia 638 al
Período 290 días
Radio $2,4 R_{\oplus}$
Masa $<0,11 M_J$

6. Vía Láctea y más allá Exoplanetas 73

The infographic features a large, detailed image of the planet Kepler-22 b on the right, showing a blue and white atmosphere. To its left, a dashed blue line represents its orbit around a central point. Further left, a smaller blue circle represents the host star, Kepler-22. The background is black, and the text is in white and blue. A blue bar at the bottom contains the text '6. Vía Láctea y más allá', 'Exoplanetas', and the number '73' inside a small blue circle.

Kepler-22b es el primer exoplaneta descubierto dentro de la zona de habitabilidad.

Más información de Kepler-22 b:
http://exoplanet.eu/catalog/kepler-22_b/



Zona de habitabilidad ¿galáctica?

Región de la galaxia en donde se **debería** favorecer la existencia de **vida**.

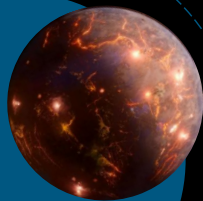
Depende de factores como la **distribución química** de la galaxia, su **morfología** o la ratio de **eventos extremos**.

6. Vía Láctea y más allá Exoplanetas 74

De la misma forma que existe una zona de habitabilidad en torno a una estrella, algunos astrofísicos han intentado definir una zona de habitabilidad galáctica, que correspondería a la zona de la galaxia donde sería más favorable la existencia de vida. Si bien es un concepto relativamente nuevo y poco estudiado, dependería de factores como la distribución química de la galaxia, la proporción de eventos extremos...

Artículo: <https://www.universetoday.com/articles/the-galactic-habitable-zone>

¿Exoplanetas extragalácticos?



Consecuencia de extrapolación.

Muy difíciles e improbables de detectar.

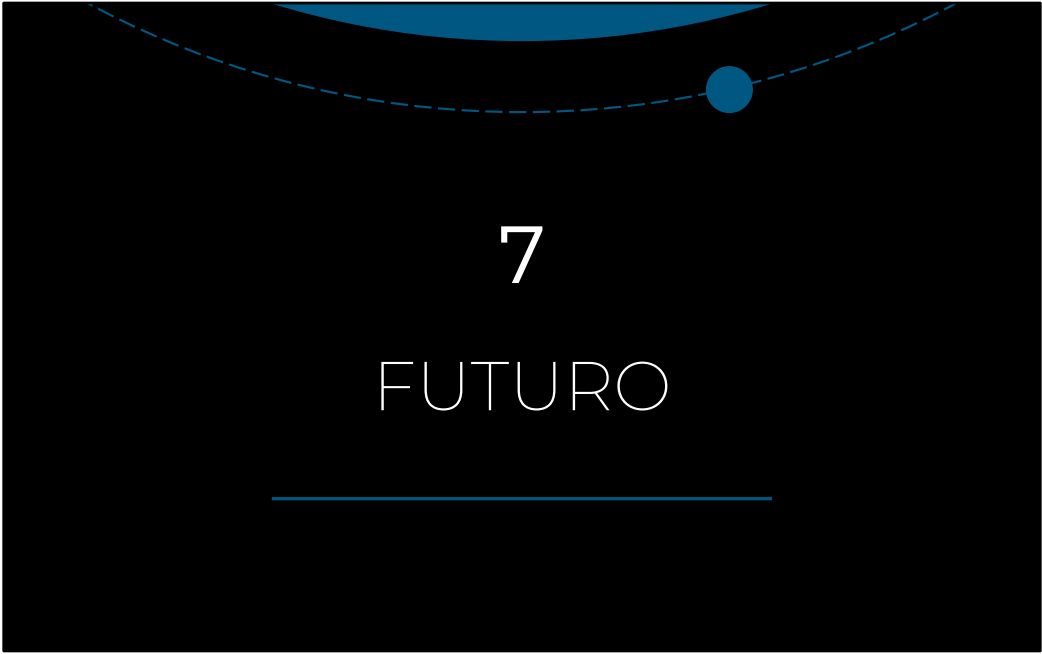
Todavía ninguno confirmado directamente y varios refutados, aunque existen varios candidatos y evidencias.

6. Vía Láctea y más allá

Exoplanetas

75

En cuanto a exoplanetas fuera de la Vía Láctea (extragalácticos) todavía no se ha descubierto ninguno, pero deben existir por extrapolación. Al estar tan lejos, son muy difíciles de detectar. Si bien hay varios candidatos, todavía no hay ninguno confirmado y varios han sido refutados.





CHEOPS Characterizing
ExoPlanets Satellite

Método Tránsitos (caracterización)
Lanzamiento 2019
Órbita Geocéntrica
Operador ESA
Periodo de actividad Hasta 2026

7. Futuro Exoplanetas 76

The image shows a detailed rendering of the CHEOPS satellite, a small satellite with a large telescope-like instrument. It is set against a dark background with a blue circular graphic element. The text provides key mission details: the method used (transits), the launch year (2019), the orbit type (geocentric), the operator (ESA), and the mission duration (until 2026). The slide is part of a presentation, indicated by the '7. Futuro' and 'Exoplanetas' labels and the number '76' in a circle.

La misión CHEOPS es la iniciativa actual de la ESA en la caracterización de exoplanetas (obtención de sus parámetros) ya conocidos.

Más información sobre CHEOPS:

https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Cheops

Telescopio Espacial James Webb

Método Tránsitos + Imagen

Lanzamiento 25 diciembre 2021

Periodo de actividad 20 años

Espejo primario 6,5 m

Rango Rojo-Infrarrojo

7. Futuro Exoplanetas 77

El Telescopio Espacial James Webb es un observatorio espacial operado por NASA, ESA y CSA situado en el punto de Lagrange L2 que opera en el régimen visible rojo e infrarrojo. Actualmente es el telescopio espacial con el espejo primario más grande (6,5 m, el triple de su predecesor, el Telescopio Espacial Hubble). Del JWST se espera que revolucione las concepciones actuales de astrofísica y cosmología, haciendo descubrimientos asombrosos.

Más información:

<https://www.jwst.nasa.gov/>

<https://cab.inta-csic.es/proyectos/telescopio-espacial-james-webb-jwst/>



PLATO Planetary Transits
and Oscillations of stars

Método Tránsitos
Lanzamiento 2027
Órbita Punto L_2
Operador ESA
Rango Visible

7. Futuro Exoplanetas 78

The image shows a detailed illustration of the PLATO satellite, a large rectangular spacecraft with two large solar panel wings extended. The top surface of the satellite is covered with a grid of numerous small, dark, circular instruments. The satellite is set against a dark blue circular background with a dashed white orbital path and a small blue dot representing a star. The overall design is clean and futuristic.

La misión PLATO es la gran apuesta de futuro de la ESA en cuanto a exoplanetas se refiere. Buscará exoplanetas en estrellas brillantes por el método de los tránsitos, centrándose en planetas habitables en torno a estrellas de tipo solar, así como exolunas y anillos exoplanetarios.

Más información sobre PLATO:

https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Plato

Telescopio Espacial Ariel

Método Tránsitos (caracterización)
Lanzamiento ¿2029?
Órbita Punto L₂
Operador ESA
Rango Visible + NIR



7. Futuro Exoplanetas 79

The image is a promotional graphic for the Ariel space telescope. It features a central 3D model of the telescope's instrument package, which is a complex assembly of mirrors and lenses mounted on a hexagonal base. The background is black with a large blue circle representing the planet being observed. The text is in white and blue, providing key mission details. The bottom of the graphic has a blue bar with the text '7. Futuro Exoplanetas' and a small circular icon containing the number '79'.

Por su parte, la misión ARIEL (**A**tmospheric **R**emote-sensing **I**nfrared **E**xoplanet **L**arge-survey) se centrará en la caracterización de 1.000 exoplanetas ya conocidos para estudiar su atmósfera y composición.

Más información: <https://arielmission.space/>



NGRST Nancy Grace Roman Space Telescope

Método ML, ID y tránsitos
Lanzamiento 2027
Órbita Punto L₂
Operador NASA
Rango IR

7. Futuro Exoplanetas 80

Por su parte, la próxima gran apuesta de la NASA en cuanto a telescopios espaciales es el Nancy Grace Roman Space Telescope (NGRST). Si bien no estará totalmente dedicado al estudio de exoplanetas, parte de su tiempo de observación garantizado se centrará en el descubrimiento de exoplanetas utilizando microlente, imagen directa y tránsitos.

Más información: <https://science.nasa.gov/mission/roman-space-telescope/>

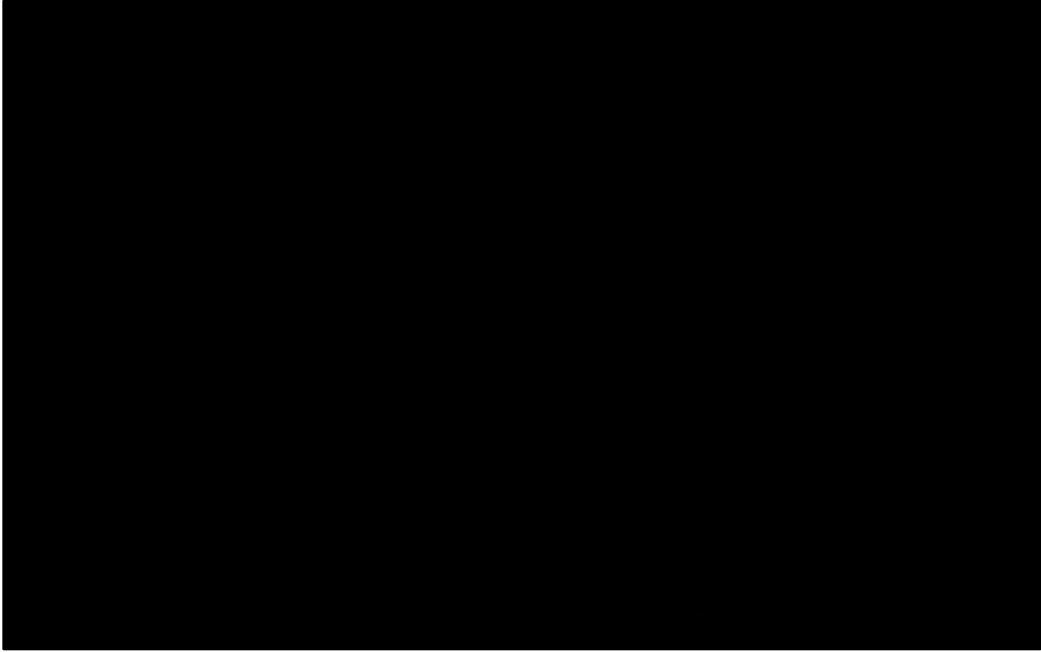


Tras el JWST y el NGRST, el próximo gran telescopio de la NASA será el HWO u Observatorio de Mundos Habitables. Aún en fase muy temprana de diseño, su objetivo será el estudio de exoplanetas similares a la Tierra en su zona de habitabilidad por el método de la imagen directa. Este proyecto, pensado para la década de 2040, es una fusión entre dos proyectos anteriores: LUVOIR y HABEX.

Más información sobre HWO:

<https://habitableworldsobservatory.org/home>

<https://danielmarin.naukas.com/2024/04/21/definiendo-el-observatorio-de-mundos-habitables-un-telescopio-espacial-para-buscar-la-tierra-2-0/>



El proyecto HABEX, de donde nace HWO.

Vídeos:

<https://exoplanets.nasa.gov/resources/1058/blocking-light-to-see-planets-beyond-the-solar-system/>

https://www.youtube.com/watch?v=i_Mt8MVb1sU



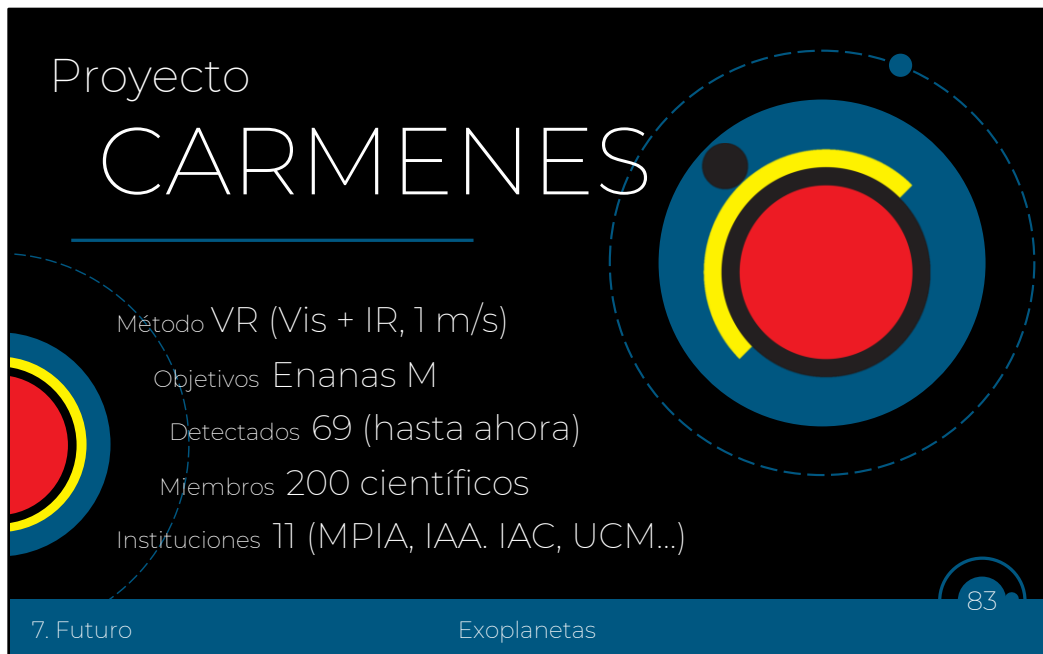
Centro Astronómico Hispano en Andalucía CAHA

Observatorio Calar Alto

Latitud $37^{\circ} 13' 25''$ N
Longitud $2^{\circ} 32' 46''$ O
Altitud 2168 msnm
Telescopios 4 (3,5 metros)
Espectrógrafo CARMENES
Operador IAA-CSIC

7. Futuro Exoplanetas 82

En España también tenemos observatorios dedicados al estudio y descubrimiento de exoplanetas. El más importante se sitúa en el Centro Astronómico Hispano en Andalucía (CAHA), en Almería. El proyecto se denomina CARMENES.

The infographic features a dark blue background with stylized celestial diagrams. On the right, a large diagram shows a red central star surrounded by a yellow ring, a blue ring, and a dashed blue orbital path with a small blue planet. On the left, a smaller version of this diagram is partially visible. The text is white and blue, providing key project statistics.

Proyecto
CARMENES

Método VR (Vis + IR, 1 m/s)

Objetivos Enanas M

Detectados 69 (hasta ahora)

Miembros 200 científicos

Instituciones 11 (MPIA, IAA, IAC, UCM...)

7. Futuro Exoplanetas 83

CARMENES es un consorcio hispano-alemán que opera el espectrógrafo del mismo nombre situado en el telescopio de 3,5 metros del Observatorio de Calar Alto. Su objetivo es el estudio y descubrimientos de exoplanetas en torno a enanas M debido a sus claras ventajas. Hasta ahora ha logrado detectar 69 exoplanetas, algunos muy importantes como Teegarden b o Barnard b.

Más información sobre el proyecto CARMENES:
<https://carmenes.caha.es/ext/science/index.html>



Destacados de CARMENES

Dos exoplanetas del **sistema Teegarden**
(Teegarden b posee el ESI más alto) (2019)

Exoplaneta **potencialmente habitable**
a 31 años luz (2023)

Dos **exoplanetas rocosos** a 10 pc (2023)

7. Futuro Exoplanetas 84

Los exoplanetas de CARMENES:
<https://carmenes.caha.es/ext/science/index.html#anchor:planets>



Recursos sobre exoplanetas y visualización de datos astronómicos:

Catálogo de la NASA: <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/>
Catálogo Extrasolar Planet Encyclopaedia: <http://www.exoplanet.eu/>
Catálogo Open Exoplanet Catalogue: <https://www.openexoplanetcatalogue.com/>
Catálogo Habitable Worlds Catalogue: <https://phl.upr.edu/hwc>
Catálogo ExoAtmospheres Database:
<https://research.iac.es/proyecto/exoatmospheres/index.php>

Base de datos Simbad: <https://simbad.cds.unistra.fr/simbad/>
Catálogos Vizier: <https://vizier.unistra.fr/>
Visualización Aladin: <https://aladin.cds.unistra.fr/>
Artículos: <https://ui.adsabs.harvard.edu/>



Más información sobre Cosmos: Possible Worlds:
<https://www.imdb.com/es-es/title/tt11170862/>



Más información sobre Alien Worlds:
<https://www.imdb.com/title/tt13464340/>



Tertulia sobre exoplanetas el martes 14 de abril con Michel Mayor, Rosa María Zapatero Osorio y José Antonio Caballero en Conde Duque.

<https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Cultura-ocio-y-deporte/Actividades-y-eventos/Planetas-extrasolares-la-busqueda-y-caracterizacion-de-otras-Tierras/?vgnextfmt=default&vgnextoid=fe57b4d724339910VgnVCM200000f921e388RCRD&vgnnextchannel=6381f073808fe410VgnVCM2000000c205a0aRCRD>

Contacto



rodrigogpeinado



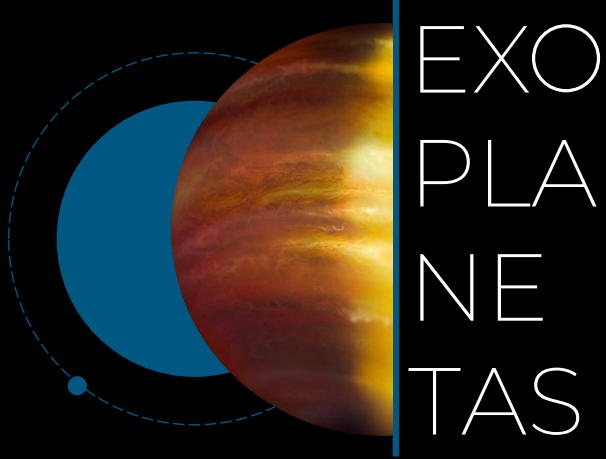
rodrigogpeinado



rodriguezpeinado@gmail.com



RODRIGO GONZÁLEZ PEINADO



9 DE ABRIL DE 2026 | DEL PLANETARIO AL COSMOS | PLANETARIO DE MADRID