



Curso de astronomía y astrofísica “Del Planetario al Cosmos 2024”.

Sesión 4: Exoplanetas. 25 de abril.

Rodrigo González Peinado.

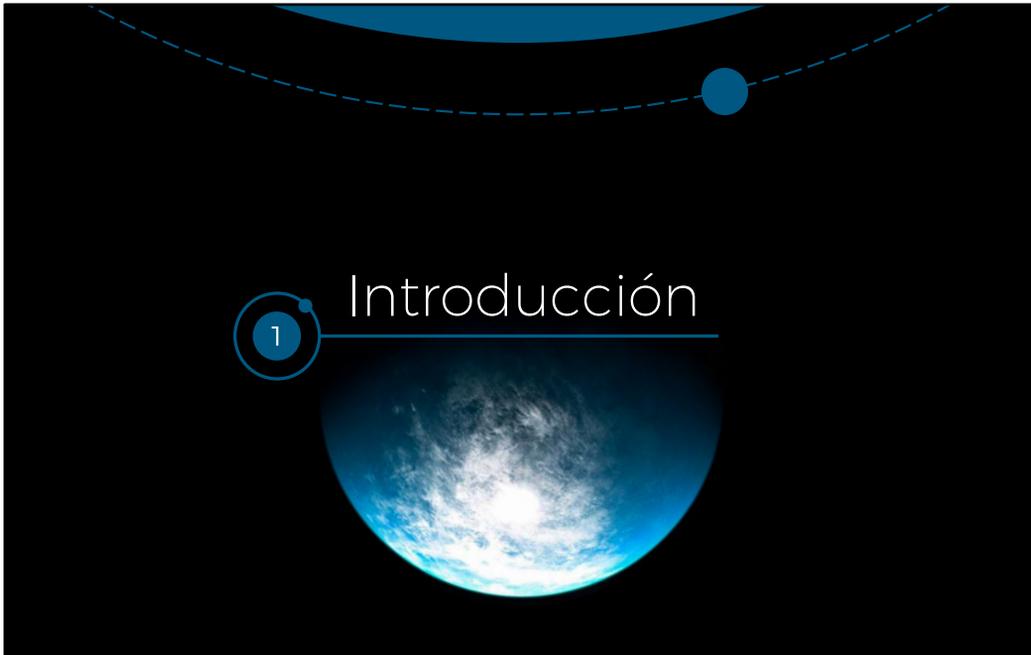
ÍNDICE



1. Introducción
2. Definición y métodos de detección
3. Características y clasificación
4. Formación y evolución
5. Habitabilidad
6. Exoplanetas reseñables
7. Últimas noticias y futuro



Índice de la sesión. Puntos más importantes: 2, 3 y 4.



La exoplanetaología es una ciencia relativamente reciente, que incluye en su génesis y evolución varias de las ciencias más potentes históricamente: astrofísica, astroquímica, astrobiología, astrogeología...

El comienzo de la exoplanetología puede remontarse a 1984, cuando se descubrió el primer disco planetario alrededor de la estrella beta Pictoris.



Sin embargo, el nacimiento de la exoplanetología como ciencia suele fecharse en 1995 con el descubrimiento del primer exoplaneta alrededor de una estrella similar al Sol, realizado por los astrofísicos Michel Mayor y Didier Queloz.



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 2

The image shows a large, white, dome-shaped observatory with its central telescope opening illuminated from within. The dome is set against a dark blue night sky. A dashed white circle highlights the observatory. The text to the right provides technical details about the observatory and the discovery campaign. At the bottom, there is a navigation bar with '1. Introducción' on the left and 'Exoplanetas 2' on the right.

El descubrimiento se produjo en la campaña de observación 1994-1995 desde el Observatorio de la Alta Provenza utilizando el espectrógrafo ELODIE, situado en el telescopio de 1,93 m de diámetro.

Observatorio de la Alta Provenza:
<http://www.obs-hp.fr/welcome.shtml>

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

3

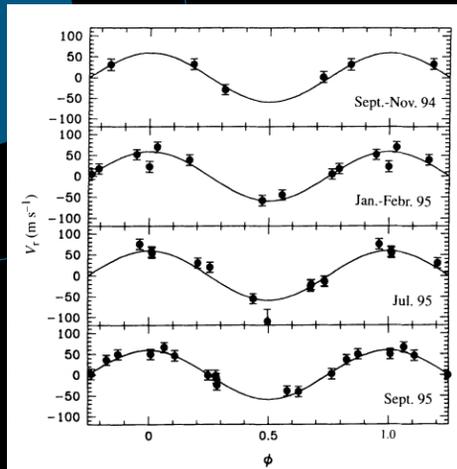
La muestra de Mayor y Queloz se componía de más de 140 estrellas de tipo G y K. La primera en la que detectaron un exoplaneta fue 51 Pegasi, una estrella en la constelación de Pegasus situada a medio camino entre las estrellas Markab y Funda. Se localiza a 15,5 parsecs (50,6 años luz) y posee un tipo espectral G2V, es decir, el mismo tipo que el Sol, aunque algo más grande que este.

Más información de la estrella:

<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-id?Ident=51+Pegasi>

A Jupiter-mass companion to a solar type star

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



nature

1. Introducción

Exoplanetas

4

Usando el espectrógrafo ELODIE, Mayor y Queloz obtuvieron la curva de velocidad radial de la estrella, la cual nos da información sobre el movimiento de la estrella a partir del desplazamiento del espectro con respecto a uno de referencia. De ese desplazamiento se puede inferir que la estrella se mueve en torno a un centro común de masas, y que ese movimiento se debe a la presencia de un exoplaneta.

Artículo original:

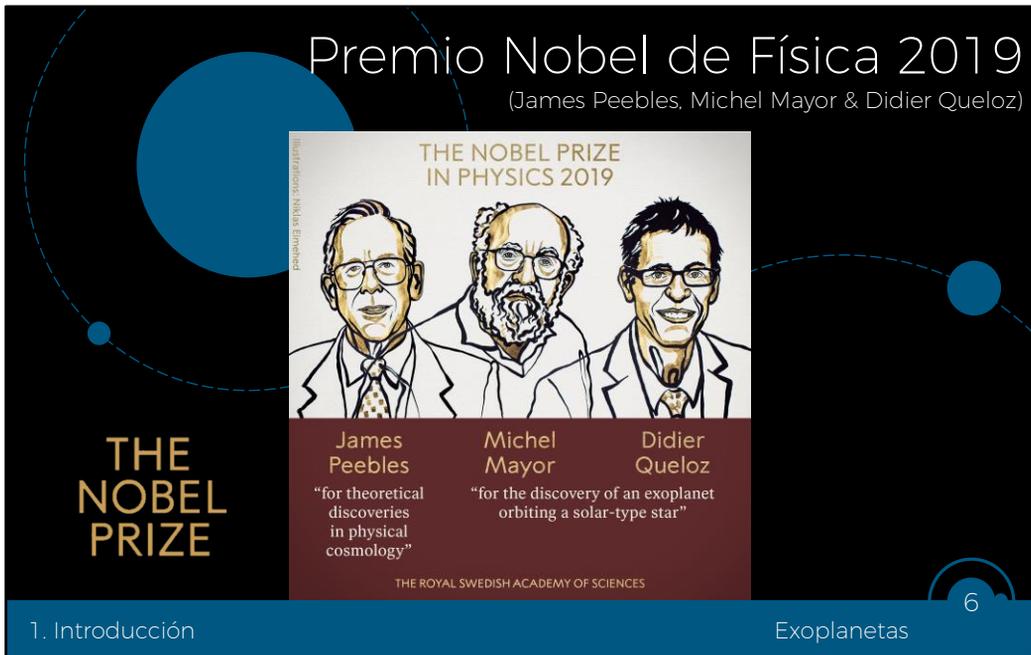
<https://www.nature.com/articles/378355a0>

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



El exoplaneta descubierto se denominó 51 Pegasi b, el cual es la mitad de masivo que Júpiter, pero casi dos veces su tamaño. Orbita a 51 Pegasi cada 4 días y posee una temperatura efectiva de 1.000 °C.

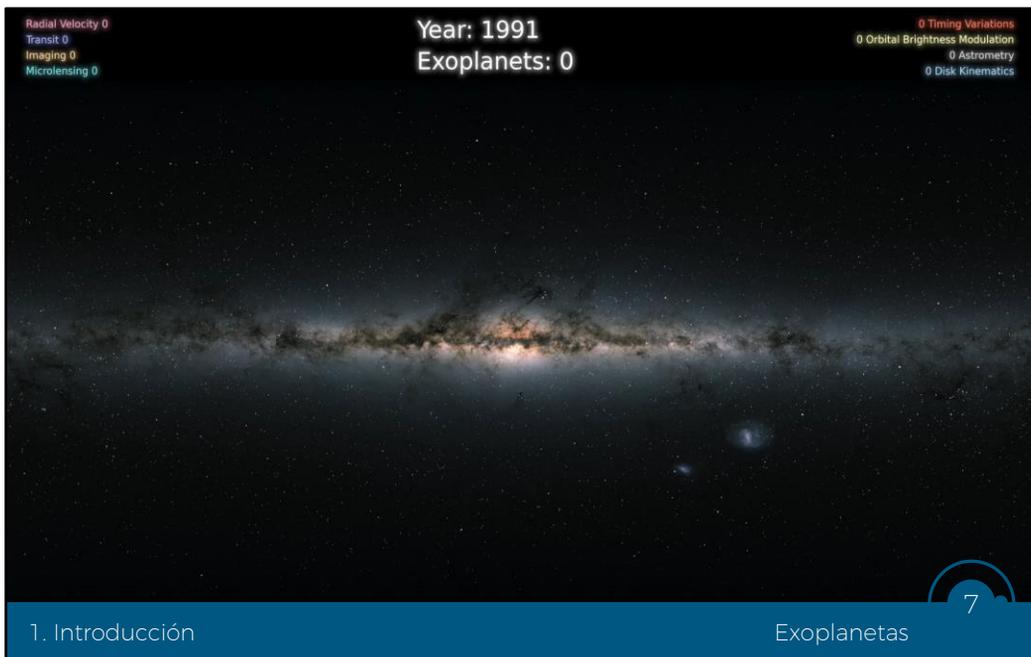
Más información sobre 51 Pegasi b:
https://exoplanet.eu/catalog/51_peg_b--12/



Mayor y Queloz fueron ambos galardonados con el Premio Nobel de Física en 2019, compartido con el cosmólogo James Peebles.

Conferencia de Michel Mayor:

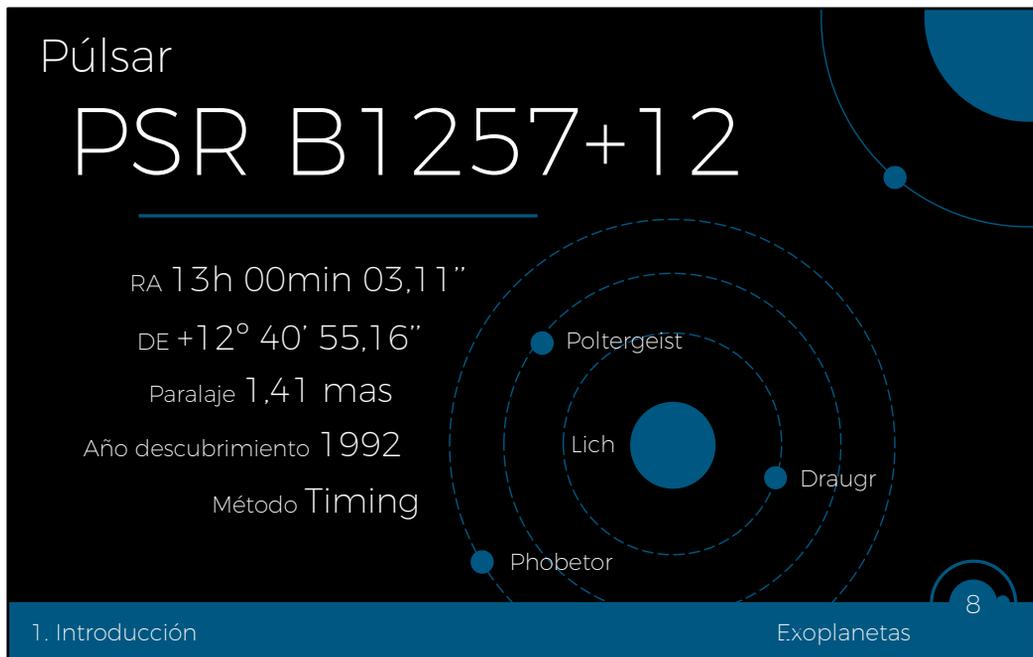
<https://www.youtube.com/watch?v=Vgt88xw6iG0>



Desde entonces, se han detectado más de 5.500 exoplanetas: planetas que orbitan alrededor de otras estrellas. Este vídeo muestra los exoplanetas descubiertos hasta 2022 sonificado por distancia del exoplaneta a su estrella.

Vídeo:

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



Aun así, es conveniente mencionar que 51 Pegasi b no fue el primer exoplaneta descubierto. Ese honor lo poseen tres exoplanetas orbitando en torno al pulsar Lich, descubiertos por [Aleksander Wolszczan y Dale Frail en 1992](#).

Artículo original: <https://www.nature.com/articles/355145a0>



Giordano Bruno

"Existen, pues, innumerables soles; existen infinitas tierras que giran igualmente en torno a dichos soles, del mismo modo que vemos a estos siete (planetas) girar en torno a este sol que está cerca de nosotros"
(De *L'infinito Universo E Mondi*, 1584)

1. Introducción Exoplanetas 9

Y, de alguna forma, estos descubrimientos confirman las antiguas ideas y propuestas de los pensadores atomistas sobre la multiplicidad de los mundos, que el místico renacentista Giordano Bruno resumió perfectamente en esta frase:



Definición y métodos de detección

2





¿Qué es un exoplaneta?

1. 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 y que tienen una relación de masas con el objeto central por debajo de la inestabilidad L_4/L_5 ($M/M_{\text{central}} < 2/(25+\sqrt{621}) \approx 1/25$).

2. Definición y métodos de detección

Exoplanetas

10

La UAI define la categoría exoplaneta como sigue:



Existen varios métodos para la detección de exoplanetas. Aquí se presentarán los cuatro más exitosos.



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

Velocidad radial

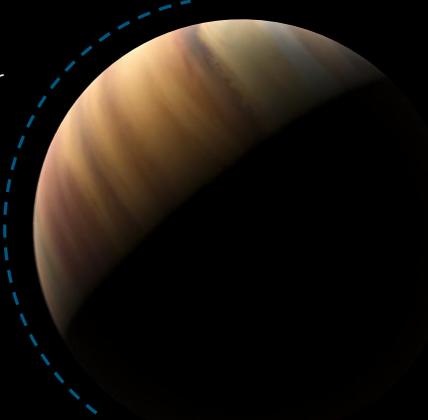


Fundamento Efecto Doppler

Ventajas Masa y parámetros orbitales

Desventajas Planetas grandes y en órbita cercana

Detectados 1089



En el método de velocidades radiales se mide el desplazamiento del espectro de una estrella debido a su interacción gravitatoria con otro objeto (efecto Doppler). Mediante el estudio de la variación de la longitud de onda, se puede obtener la masa mínima del planeta (conociendo la inclinación). Está sesgado hacia planetas muy masivos y cercanos a su estrella, como 51 Pegasi b.

Más información sobre el método de velocidades radiales:

<https://exoplanets.nasa.gov/alien-worlds/ways-to-find-a-planet/#/1>

Formalismo matemático:

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



The infographic features a dark background. On the left, there is a large, detailed image of a gas giant planet with orange and white bands, and a smaller blue circle above it. A dashed blue line indicates the planet's orbit. On the right, the title 'Tránsitos' is written in white. Below the title, there are three lines of text: 'Fundamento Eclipse fotométrico', 'Ventajas Radio, temperatura, composición', and 'Desventajas Inclinaciones de 90 y falsas detecciones'. At the bottom right, it says 'Detectados 4171'.

Tránsitos

Fundamento Eclipse fotométrico

Ventajas Radio, temperatura, composición

Desventajas Inclinaciones de 90 y falsas detecciones

Detectados 4171

En el método de los tránsitos se mide la disminución de brillo de una estrella cuando el exoplaneta cruza por delante de ella. Estudiando esa disminución de brillo, se puede conocer el radio del planeta. Es actualmente el método más efectivo, pero que solo funciona si el exoplaneta está alineado con la línea de visión de la Tierra.

Más información sobre el método de tránsitos:

<https://exoplanets.nasa.gov/alien-worlds/ways-to-find-a-planet/#/2>

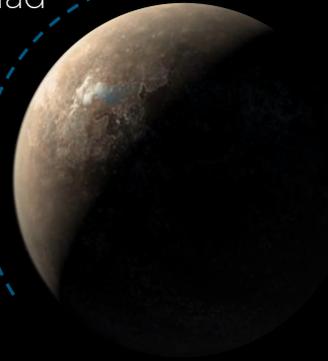
Microlente

Fundamento T^a Gral. Relatividad

Ventajas Relación de masas
y distancia angular

Desventajas Improbable

Detectados 214



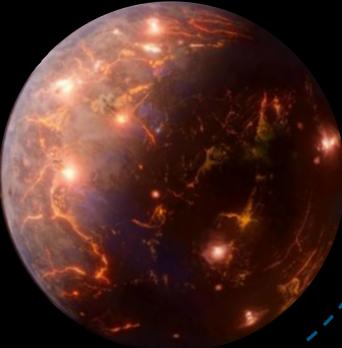
Microlente gravitatoria: se estudia cómo una estrella con un exoplaneta curva la luz de otro objeto lejano, normalmente otra estrella. Se basa en la teoría general de la relatividad de Albert Einstein.

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 69

Imagen directa: el exoplaneta se detecta directamente haciendo uso de telescopios.

Más información:

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



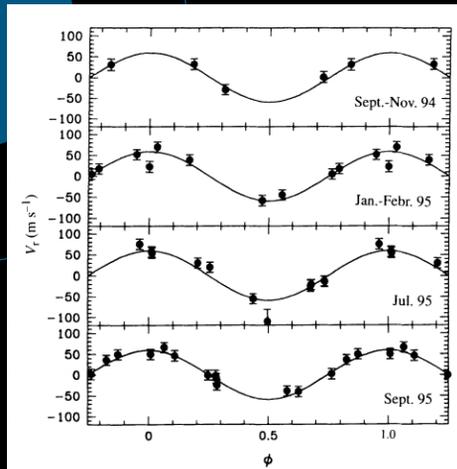
De todos ellos, el método más efectivo hasta ahora es el de los tránsitos, con un 74,3% del total de exoplanetas descubiertos. Le sigue el de velocidades radiales, con un 19,4%.

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

Más información sobre otros métodos de detección:
<https://arxiv.org/abs/1210.2471>

A Jupiter-mass companion to a solar type star

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



nature

51 Pegasi b

14

2. Definición y métodos de detección

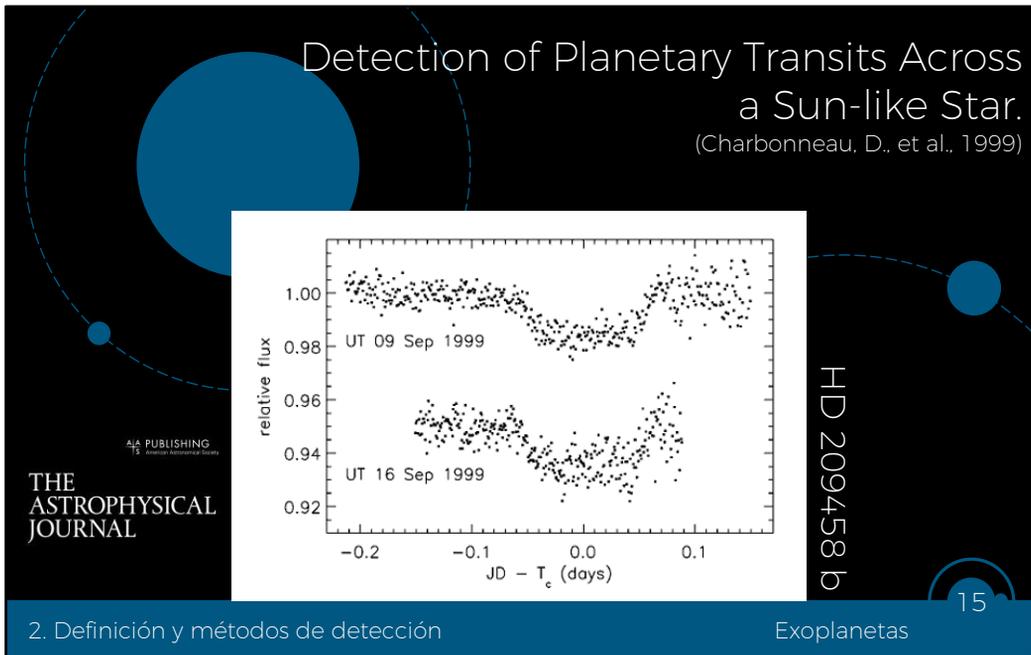
Exoplanetas

Ejemplo de espectro obtenido por la técnica de velocidad radial.

Artículo original:

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

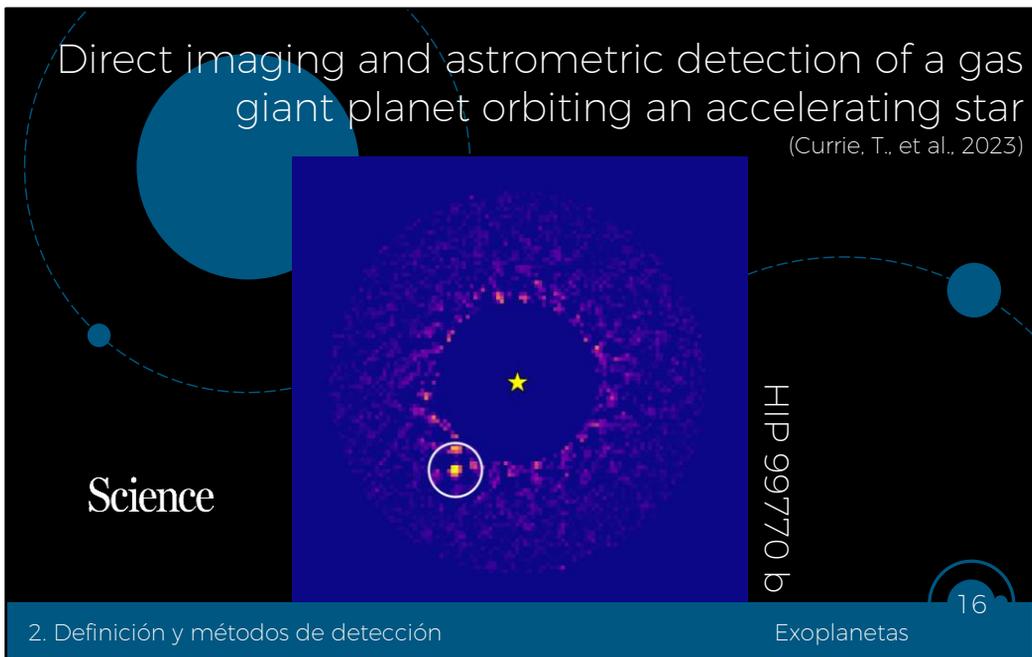
<https://web.pa.msu.edu/courses/2011spring/AST208/mayorQueloz.pdf>



Ejemplo de espectro obtenido por la técnica de los tránsitos.

Artículo original:

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



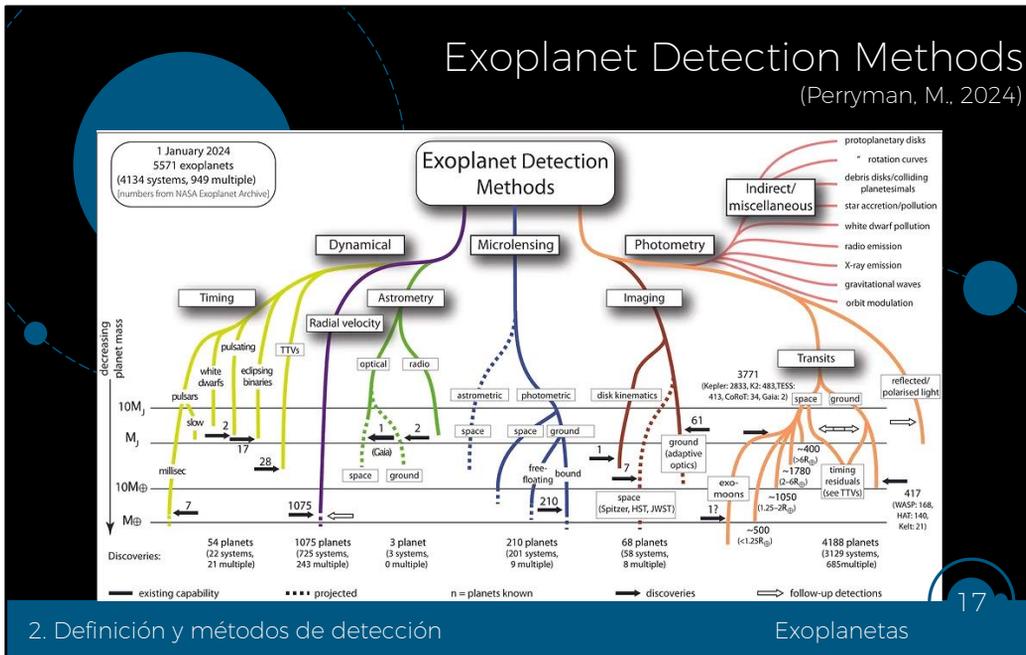
Ejemplo de exoplaneta detectado con imagen directa.

Artículo original:

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

Exoplanet Detection Methods

(Perryman, M., 2024)



2. Definición y métodos de detección

Exoplanetas

La ventaja es que todos estos métodos, y otros, no son excluyentes entre sí. Utilizar varios métodos diferentes refuerza la existencia 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:

<https://www.michaelperryman.co.uk/exoplanets>

Características y clasificación

3

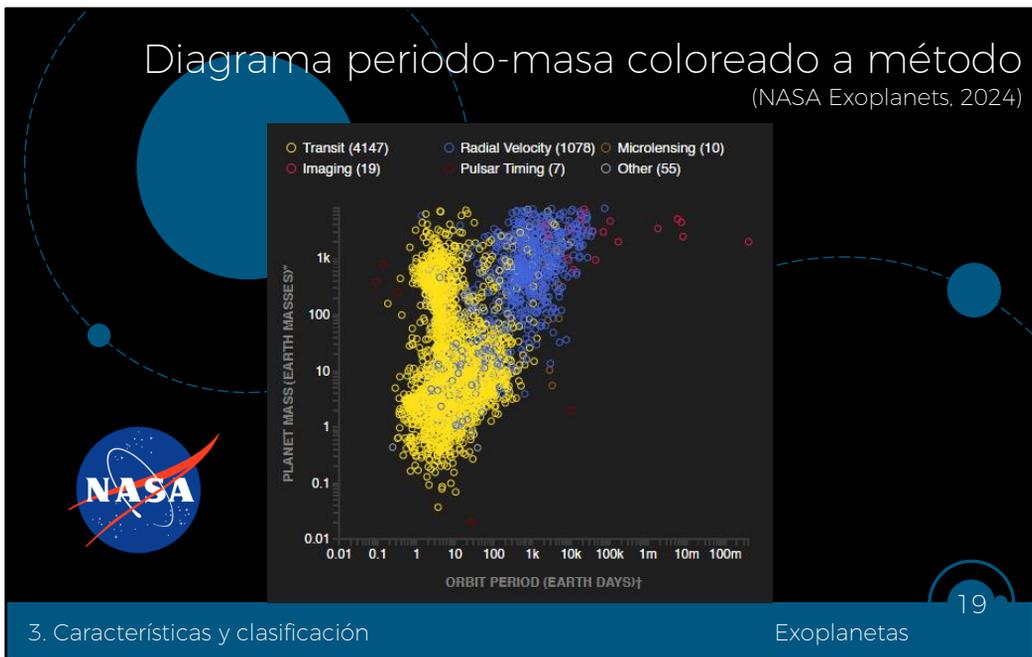




A 25 de abril, el Archivo de Exoplanetas de la NASA tiene contabilizados 5.612 exoplanetas descubiertos en 4.175 sistemas planetarios, con otros 10.170 candidatos a exoplanetas.

Datos:

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



El método que ha resultado más efectivo para el descubrimiento de exoplanetas ha sido el de los tránsitos (más de $\frac{3}{4}$ partes de los exoplanetas descubiertos), gracias al Observatorio Espacial Kepler.



La 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)

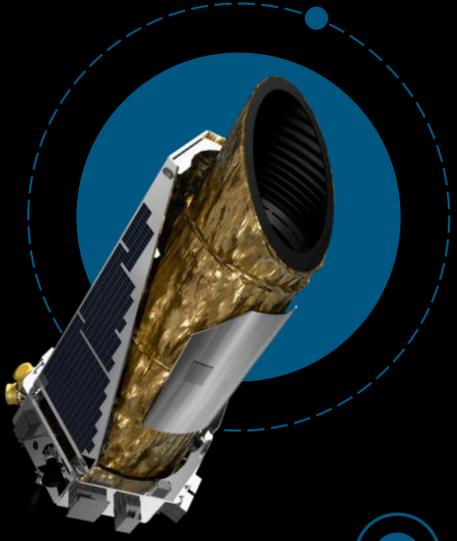
Método Tránsitos

Lanzamiento 06 marzo 2009

Periodo de actividad 9,5 años

Exoplanetas confirmados 3.322

FOV 115 deg²



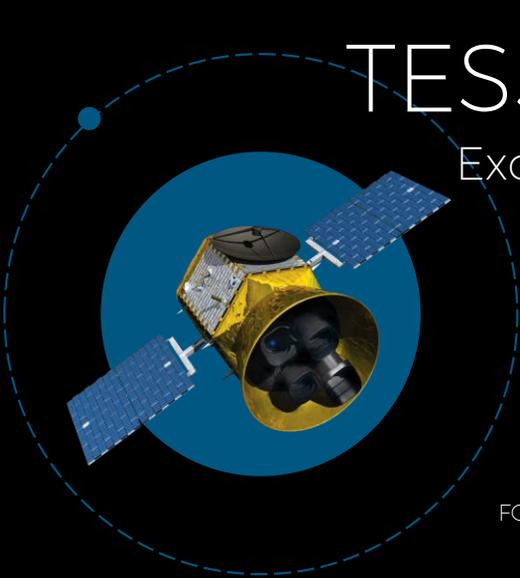
3. Características y clasificación

Exoplanetas 21

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:

https://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/overview/index.html



TESS Transiting
Exoplanet Survey System

Método Tránsitos
Lanzamiento 18 abril 2018
Periodo de actividad 4 años
Exoplanetas confirmados 440
FOV All-sky

3. Características y clasificación

Exoplanetas

22

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>

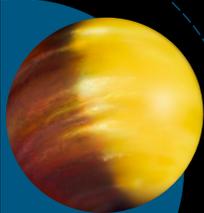


Nomenclatura de exoplanetas

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. Características y clasificación

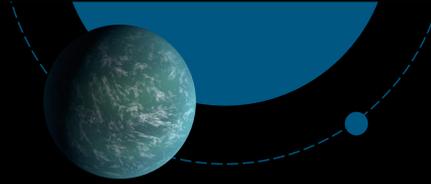
Exoplanetas

23

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

Nomenclatura de exoplanetas:

https://www.iau.org/public/themes/naming_exoplanets/



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.

Cigantes Gaseosos

- Radio $> 6 R_{\oplus}$
- Composición H y He
- Detectados 1791
- Subclase Júpiteres calientes
- Famoso 51 Pegasi b

Neptunos

- Radio $2-6 R_{\oplus}$
- Composición H y He (y otros)
- Detectados 1919
- Subclase Minineptunos
- Famoso Kepler 1655 b

Supertierras

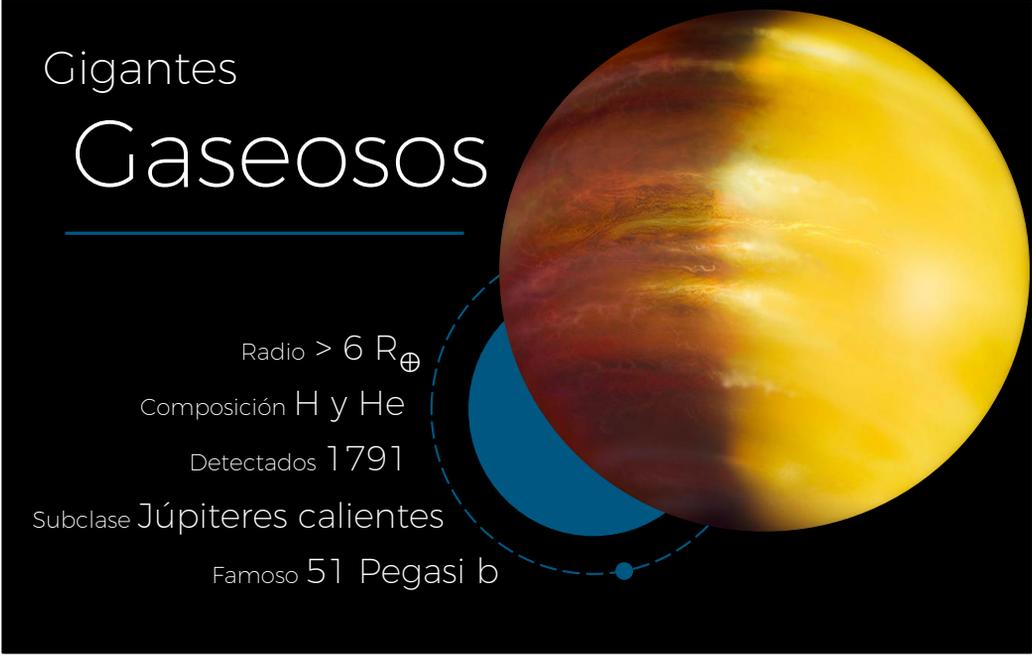
- Radio $1.25-1.5 R_{\oplus}$
- Composición Variada
- Detectados 1695
- Subclase -
- Famoso Kepler-22 b

Terrestres

- Radio $< 1.25 R_{\oplus}$
- Composición Rocosos
- Detectados 200
- Subclase Minitierras
- Famoso Próxima Cen b

3. Características y clasificación Exoplanetas

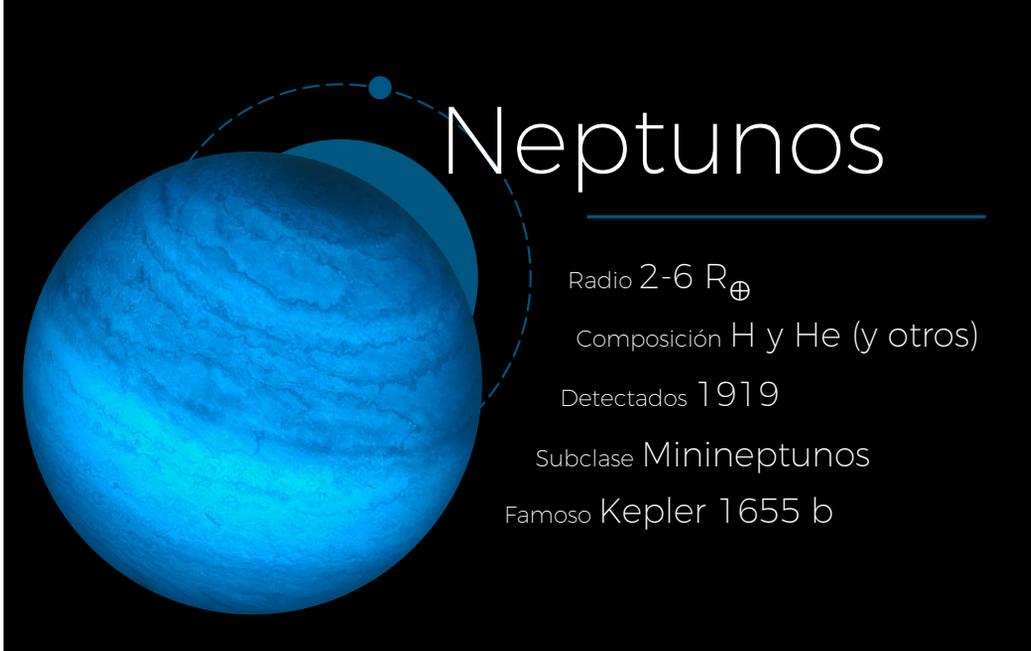
26

An infographic titled "Gigantes Gaseosos" (Gas Giants) on a black background. On the right, a large, detailed image of a gas giant planet, likely Jupiter, is shown with its characteristic bands of orange, red, and yellow. To the left of the planet, there is a smaller blue circle representing Earth, with a dashed blue line indicating an orbit around a central point. The text is in white and includes: "Gigantes Gaseosos", "Radio > 6 R_⊕", "Composición H y He", "Detectados 1791", "Subclase Júpiteres calientes", and "Famoso 51 Pegasi b".

Gigantes
Gaseosos

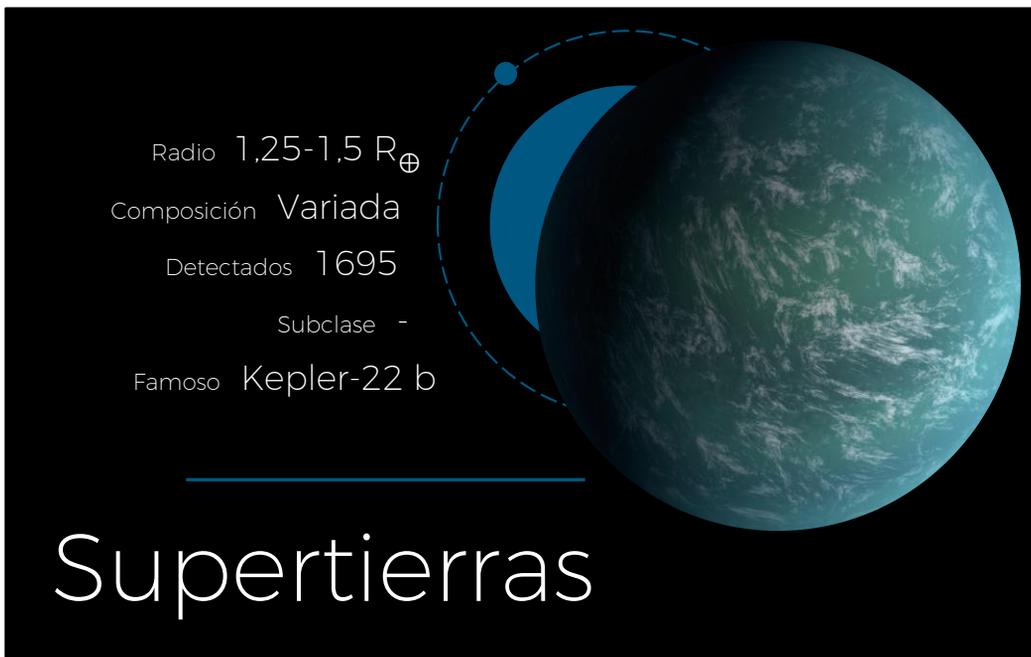
Radio > 6 R_⊕
Composición H y He
Detectados 1791
Subclase Júpiteres calientes
Famoso 51 Pegasi b

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.



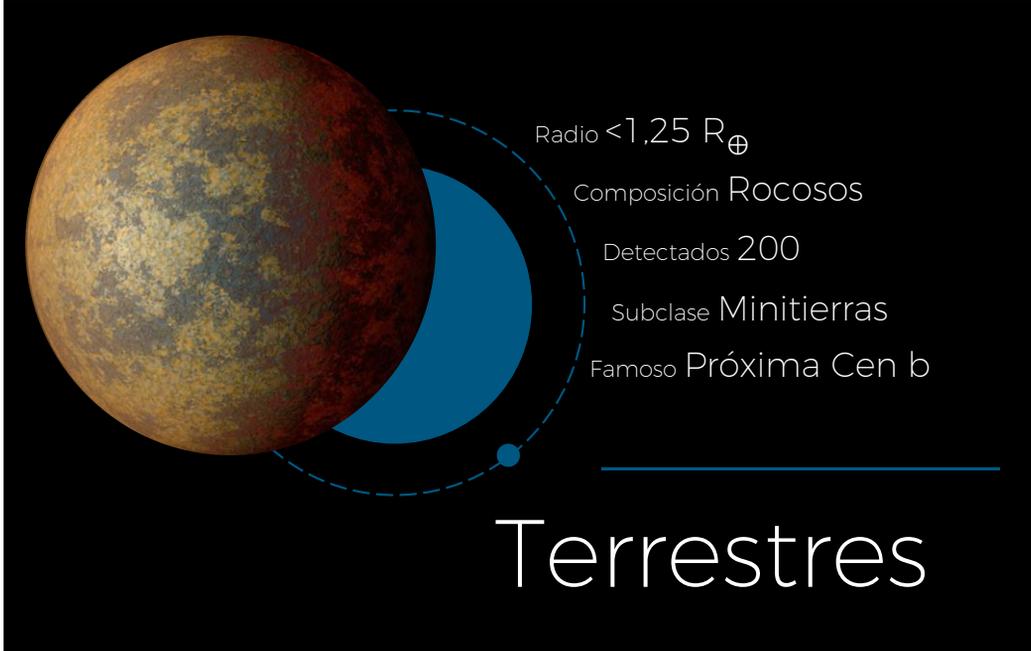
Los siguientes en orden de tamaños son los neptunos, con radios entre dos y seis veces el radio de la Tierra. Además de H y He poseen cantidades importantes de amoníaco, metano... Son los más abundantes descubiertos hasta ahora.

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.

Gigantes Gaseosos

- Radio: $> 6 R_{\oplus}$
- Composición: H y He
- Detectados: 1791
- Subclase: Júpiteres calientes
- Famoso: 51 Pegasi b

Neptunos

- Radio: $2-6 R_{\oplus}$
- Composición: H y He (y otros)
- Detectados: 1919
- Subclase: Minineptunos
- Famoso: Kepler 1655 b

Supertierras

- Radio: $1.25-1.5 R_{\oplus}$
- Composición: Variada
- Detectados: 1695
- Subclase: -
- Famoso: Kepler-22 b

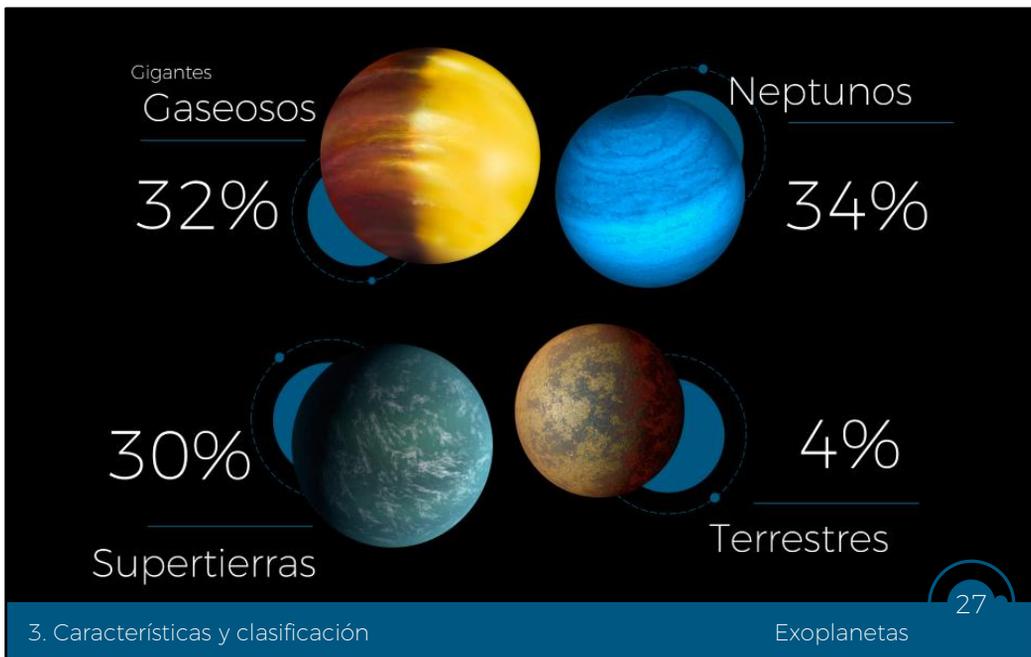
Terrestres

- Radio: $< 1.25 R_{\oplus}$
- Composición: Rocosos
- Detectados: 200
- Subclase: Minitiemras
- Famoso: Próxima Cen b

3. Características y clasificación

Exoplanetas

26



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:

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

Diagramas a partir de parámetros
exoplanetarios

NASA

.eu

OEC
Open Exoplanet
Catalogue

Diagrama órbita vs. masa
Relación masa-radio

28

3. Características y clasificación

Exoplanetas

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

Enlaces:

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

The Extrasolar Planet Encyclopaedia: <http://www.exoplanet.eu/diagrams/>

Open Exoplanet Catalogue: <https://www.openexoplanetcatalogue.com/>



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).

El modelo actual se conoce como el **Modelo Estándar de disco solar nebular** (SNDM).

4. Formación y evolución Exoplanetas 29

La formación de exoplanetas debe ser igual a la de los planetas del sistema solar. El Modelo de Disco Solar Nebular de Safronov también funciona en el caso de los planetas extrasolares.

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

(Safronov, V., 1969)

4. Formación y evolución

Exoplanetas

30

Fuente:

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

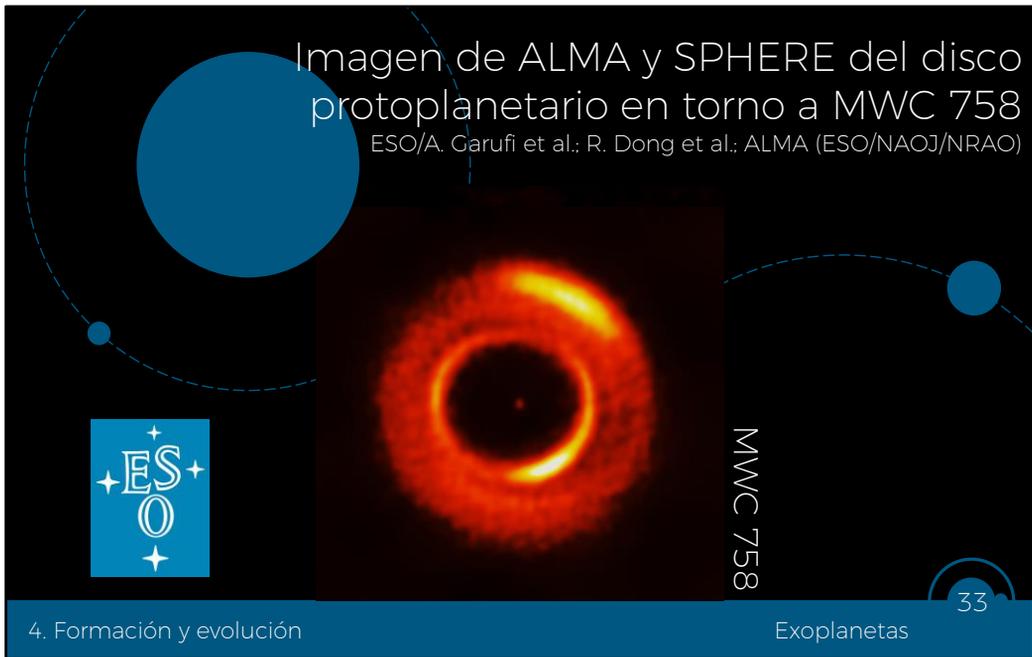


Vídeo:
<https://www.youtube.com/watch?v=PF8NQ9llaT0>



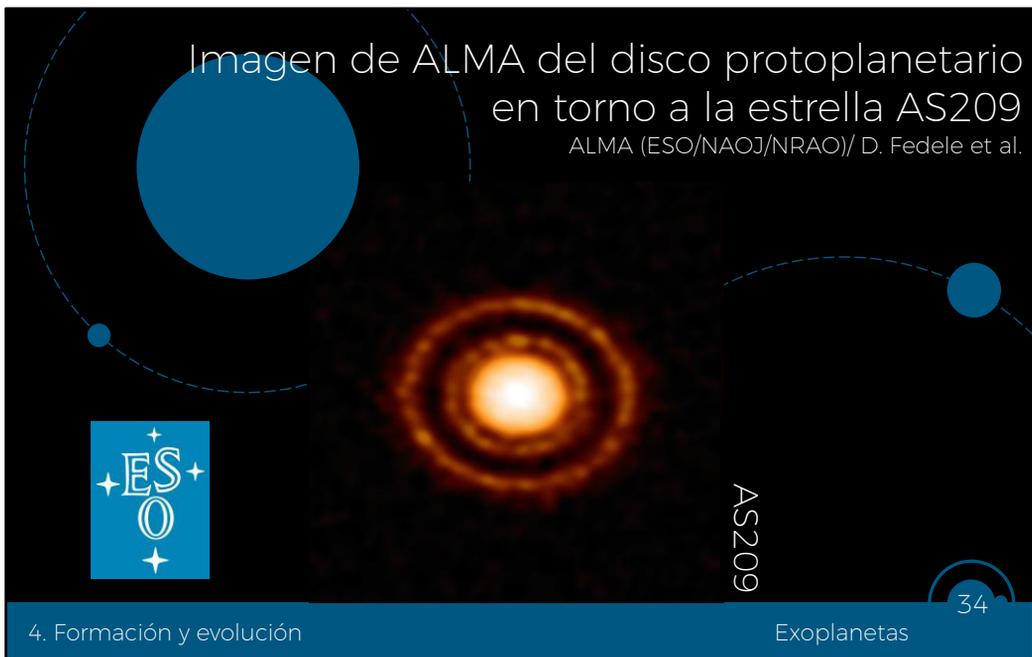
Fuente:

<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/>



El papel de la metalicidad

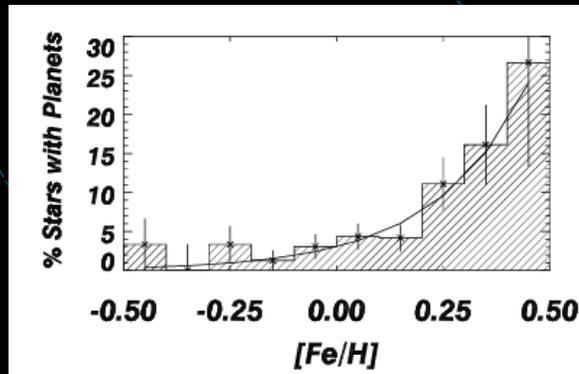
La **metalicidad** es un parámetro que indica la cantidad de metales (elementos que no son H ni He) de un objeto astronómico.

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 35

La metalicidad estelar (es decir, de la nube molecular de la que se originó) parece jugar un papel importante en la formación de exoplanetas. Posiblemente debido a que, al ser granos más grandes, se empiece la formación de planetesimales a partir de ellos por acrecimiento.

El papel de la metalicidad



Fischer, D. & Valenti, J., 2005

4. Formación y evolución

Exoplanetas

36

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>

Estudiables mediante **espectroscopía**

La luz atraviesa la exoatmósfera durante el **tránsito**

Mayormente en gigantes gaseosos y neptunos

Posible existencia de **biomarcadores**

Exoatmósferas analizadas 220

Moléculas diferentes detectadas 55

Atmósferas exoplanetarias

4. Formación y evolución Exoplanetas 37

Una parte fundamental del estudio de exoplanetas es su composición atmosférica, las cuales se analizan a través de la luz de la estrella que atraviesa la atmósfera del exoplaneta y llega hasta nosotros.



Estudio de atmósferas exoplanetarias simplificado:

<https://science.nasa.gov/resource/spectroscopy-infographic/>

Vídeo:

<https://www.eso.org/public/unitedkingdom/videos/eso2213b/>

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**.



4. Formación y evolución

Exoplanetas

39

El modelo SNDM no puede explicar la existencia de los júpiteres calientes, gigantes gaseosos localizados muy cerca de la estrella. Como solución se propone el fenómeno de la migración planetaria, esto es, los júpiteres se formaron más lejos de su órbita actual, pero se fueron desplazando hacia el interior por interacción con el disco de polvo.

“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.

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

4. Formación y evolución Exoplanetas 40

Por otro lado, en el diagrama semieje mayor-masa existe una zona que debiera estar poblada por planetas tipo Neptuno, pero no lo está. Se trata del desierto de neptunos calientes. Se piensa que, al estar cerca de su estrella, esta barre su atmósfera, dejando solo el núcleo desnudo del planeta (planeta chthoniano).





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 HZ 361*

Estimación MW $50 \cdot 10^6$

5. Habitabilidad

Exoplanetas 40

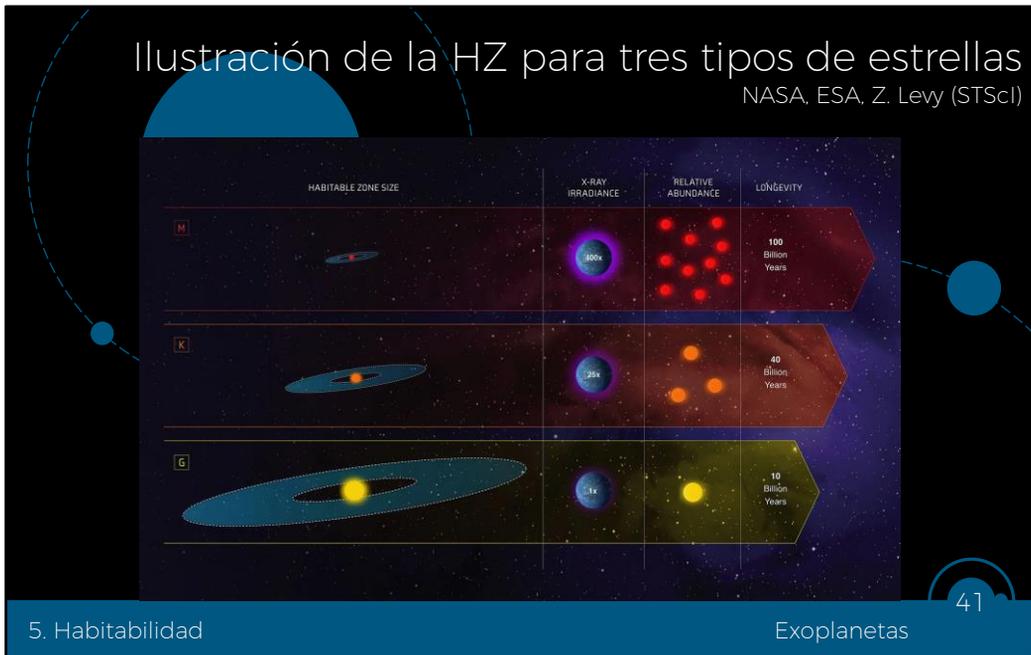
La habitabilidad de un exoplaneta es un parámetro fundamental en la búsqueda de la vida fuera de la Tierra. El concepto principal para su estudio es la zona de habitabilidad de una estrella. Que un planeta se encuentre en la zona de habitabilidad no quiere decir que esté habitado, pero sí que se pueda habitar. En otras palabras, que un planeta se encuentre en la zona de habitabilidad es condición necesaria, pero no suficiente, para que exista la vida tal y como la conocemos.

Más información sobre habitabilidad:

<https://exoplanets.nasa.gov/search-for-life/big-questions/>

Ilustración de la HZ para tres tipos de estrellas

NASA, ESA, Z. Levy (STScI)



5. Habitabilidad

Exoplanetas

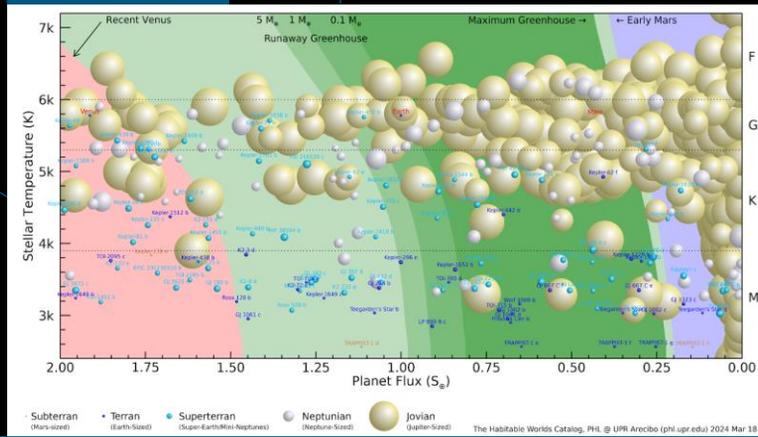
41

Fuente:

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

Exoplanetas en diferentes HZ

PHL @ UPR Arecibo



5. Habitabilidad

Exoplanetas

42

Imagen:
<https://phl.upr.edu/hwc>

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

43

Si bien la mayoría de planetas descubiertos en la zona habitable de una estrella son gigantes gaseosos (cuyas condiciones son incompatibles con la vida), sus lunas serían posibles lugares habitables. Aun así, todavía no se ha descubierto ninguna exoluna, aunque existen varios candidatos.

Debate sobre la existencia de exolunas:

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

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.

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

5. Habitabilidad

Exoplanetas

44

Más información sobre el ESI:

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



Más información sobre el ESI:
<https://phl.upr.edu/projects/earth-similarity-index-esi>



Exoplanetas reseñables

6

HD 160691

Mu Arae

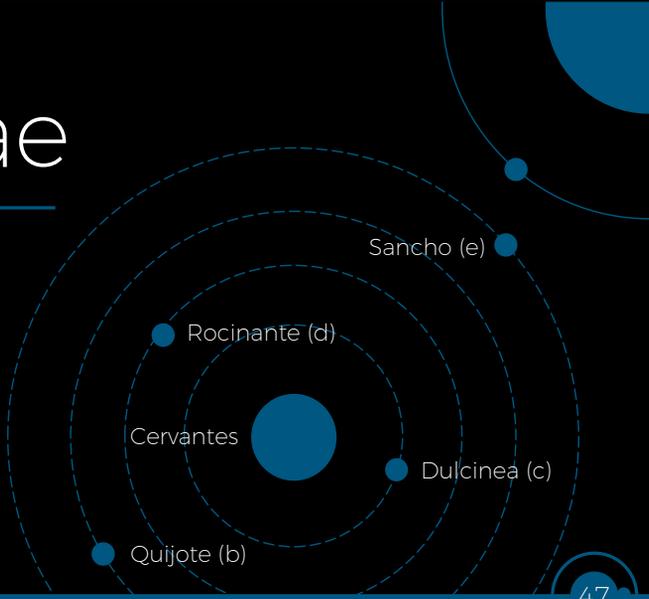
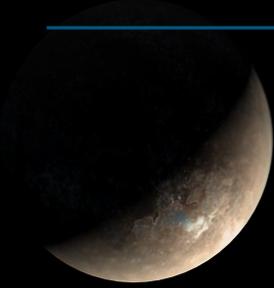
RA 17h 44min 08,70"
DE -51° 50' 02,59"
Paralaje 64,09 mas
Tipo espectral G3IV-V
Planetas 4 (2001, VR)

6. Exoplanetas reseñables Exoplanetas 46

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

Más información sobre el sistema:
http://exoplanet.eu/catalog/mu_ara_b/ y sucesivos

Sistema Mu Arae



6. Exoplanetas reseñables

Exoplanetas

47

Kepler-22

Kepler-22 b

Descubrimiento 2011

Método Tránsitos

Distancia 638 al

Periodo 290 días

Radio $2,4 R_{\oplus}$

Masa $<0,11 M_J$

6. Exoplanetas reseñables

Exoplanetas 48

The infographic features a large, detailed image of the exoplanet Kepler-22 b on the right, showing a blue and white surface. To its left, a dashed blue line represents its orbit around a central point. Further left, a smaller blue circle represents Earth, with a dashed line indicating its orbit. The background is black, and the text is in white and blue.

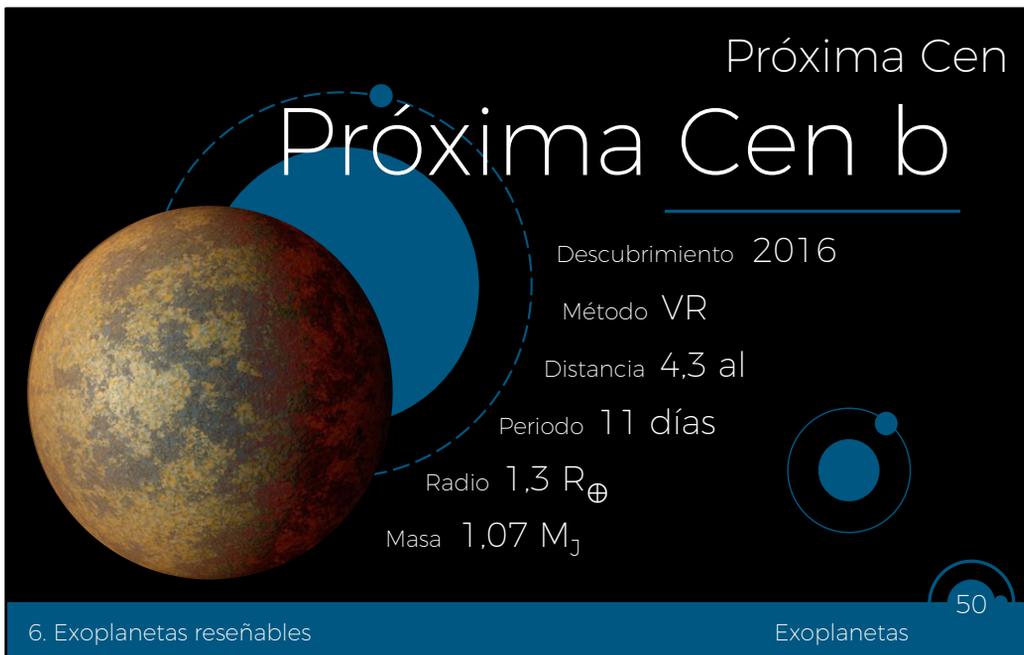
Kepler-22b es el primer exoplaneta descubierto dentro de la zona de habitabilidad.

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



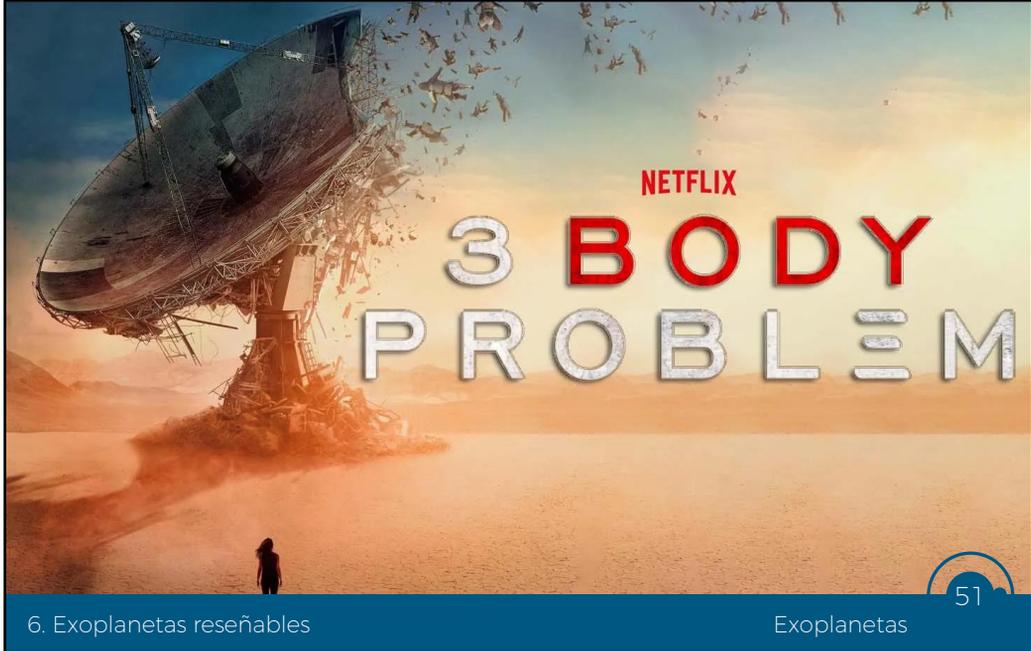
En Kepler-22b se desarrolla la serie de ciencia ficción Raised By Wolves (HBOmax)

Información sobre Raised By Wolves:
<https://www.imdb.com/title/tt9170108/>



Próxima Centauri b es el exoplaneta más cercano a la Tierra. Lo descubrió el astrofísico español Guillem Anglada-Escudé en 2016.

Más información sobre Próxima Centauri b:
http://exoplanet.eu/catalog/proxima_centauri_b/



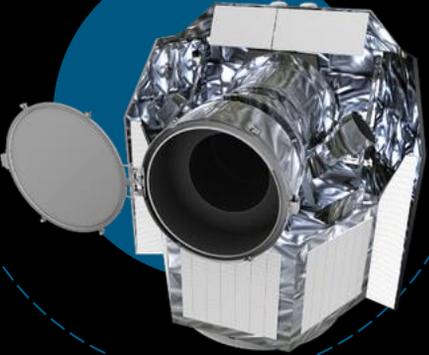
Del sistema Alfa Centauri es de donde provienen los extraterrestres que amenazan a la Tierra en El problema de los tres cuerpos.

Más información sobre El problema de los tres cuerpos:
<https://www.filmaffinity.com/es/film459562.html>

Últimas noticias y futuro

7





CHEOPS Characterizing
ExoPlanets Satellite

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

7. Últimas noticias y futuro

Exoplanetas

52

The image shows a detailed rendering of the CHEOPS satellite, a small satellite with a large telescope-like structure, set against a dark background with a blue circular graphic element. The text provides key information about the mission, including its name, method, launch year, orbit, operator, and duration.

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

Asymmetry in the atmosphere of the ultra-hot
Jupiter WASP-76 b
Demangeon, O., et al., 2024

Astronomers detect potential 'glory effect' on a hellish distant world for the first time
by European Space Agency



7. Últimas noticias y futuro

Exoplanetas

53

A&A

Artículo original:

https://www.aanda.org/articles/aa/full_html/2024/04/aa48270-23/aa48270-23.html

Telescopio Espacial James Webb

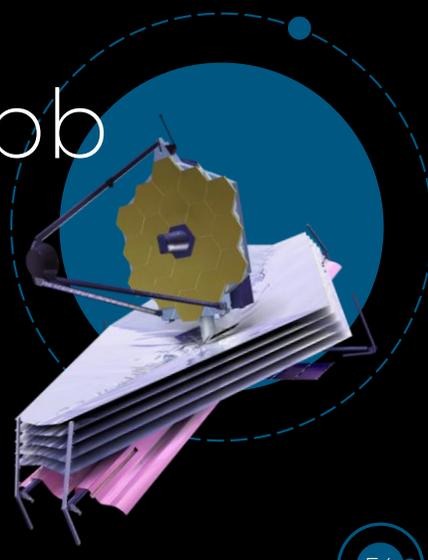
Método Tránsitos + Imagen

Lanzamiento 25 diciembre 2021

Periodo de actividad 20 años

Espejo primario 6,5 m

Rango Rojo-Infrarrojo



7. Últimas noticias y futuro

Exoplanetas

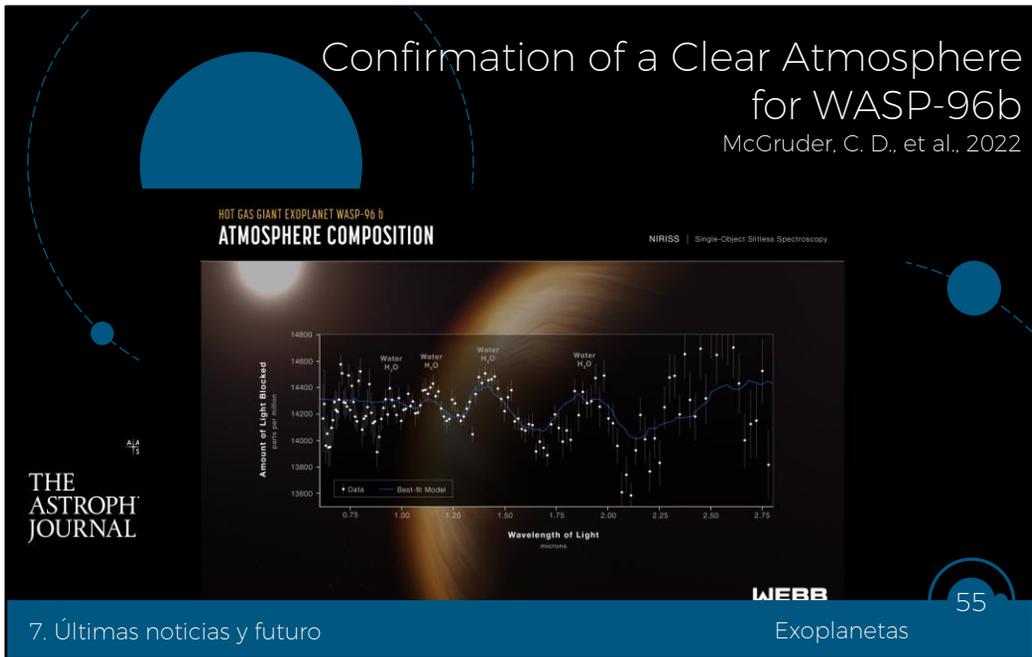
54

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:

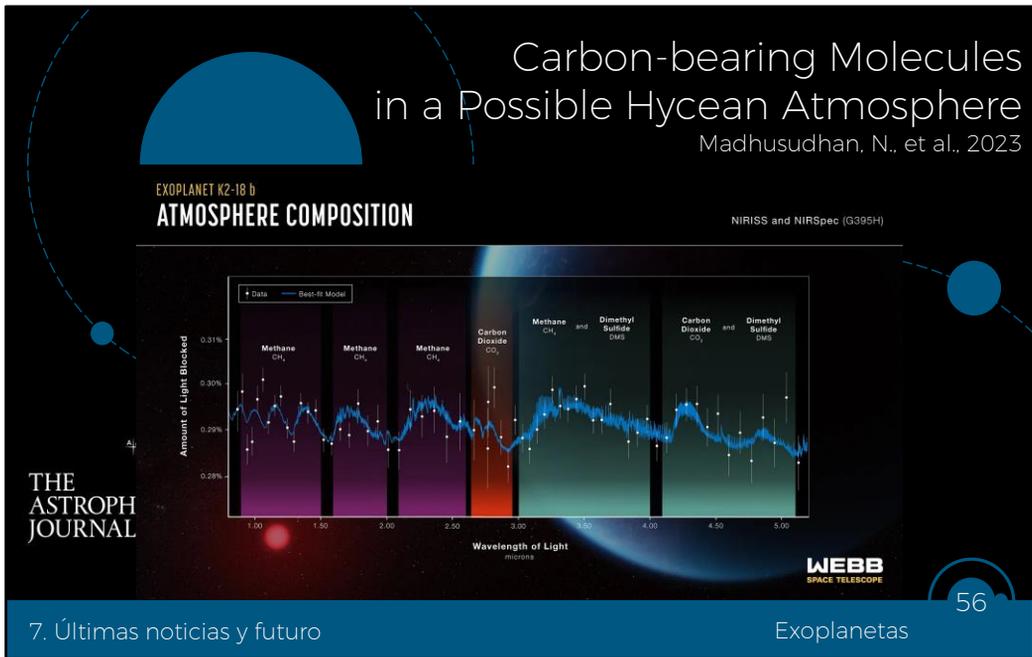
<https://www.jwst.nasa.gov/>

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



Artículo original:

<https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-3881/ac7f2e>



Artículo original:

<https://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/acf577>

The image shows a detailed illustration of the PLATO satellite, a large rectangular structure with two large solar panel wings extended. The main body is covered in a complex array of instruments. The satellite is set against a dark blue circular background with a dashed white orbital path and a small blue dot representing a planet. The overall design is clean and technical.

PLATO Planetary Transits and Oscillations of stars

Método Tránsitos
Lanzamiento 2026
Órbita Punto L_2
Operador ESA
Rango Visible

7. Últimas noticias y futuro

Exoplanetas

57

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.

Más información sobre PLATO:

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

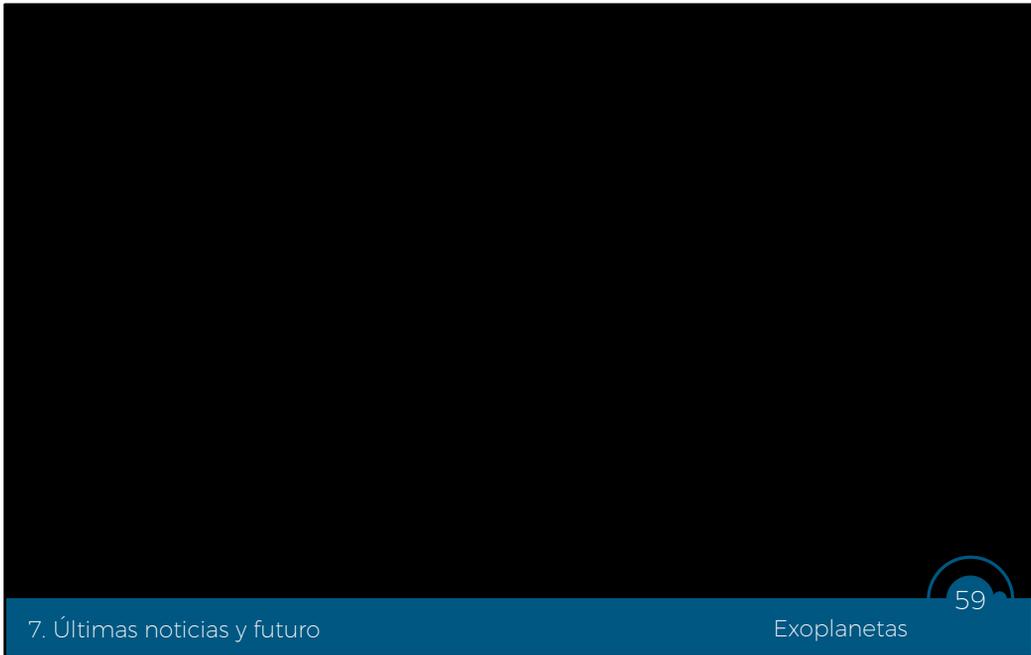


Tras el JWST y el NGRT, el próximo gran telescopio de la NASA será el HWO u Observatorio de Mundos Habitables. Aún en fase muy temprana de diseño, su objetivo será el estudio de exoplanetas similares a la Tierra en su zona de habitabilidad por el método de la imagen directa. Este proyecto, pensado para 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

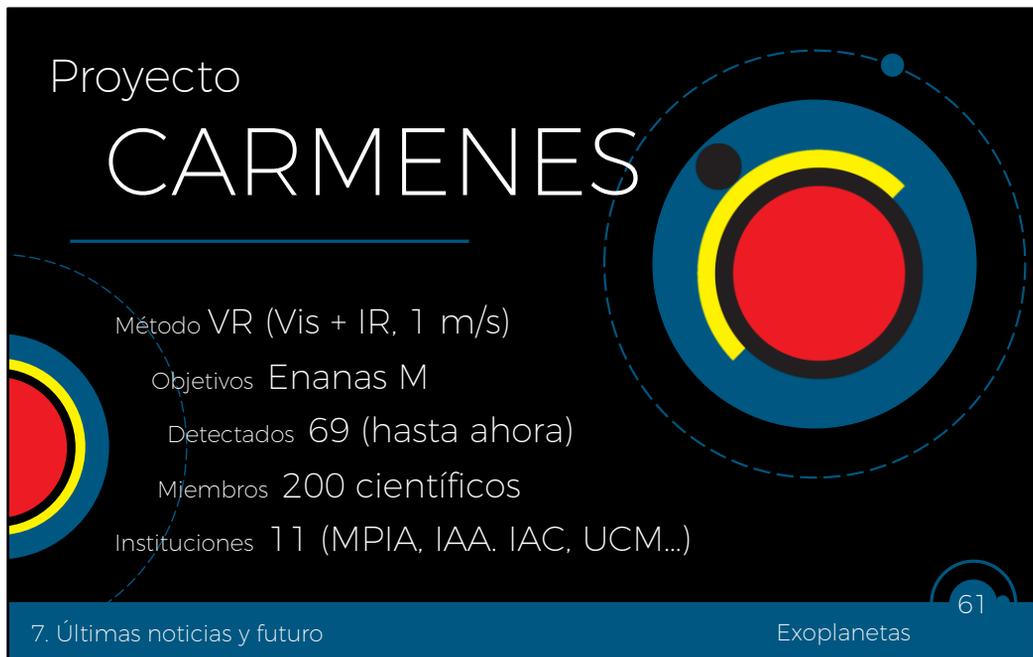
Latitud $37^{\circ} 13' 25''\text{N}$
Longitud $2^{\circ} 32' 46'' \text{O}$
Altitud 2168 msnm
Telescopios 4 (3,5 metros)
Espectrógrafo CARMENES
Operador IAA-CSIC

7. Últimas noticias y futuro

Exoplanetas

60

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 representations of exoplanets and their orbits. A large red circle with a yellow ring and a blue dashed orbit is on the right. A smaller version of this is on the left. The text is in white and light blue. At the bottom, there is a blue bar with white text.

Proyecto
CARMENES

Método VR (Vis + IR, 1 m/s)

Objetivos Enanas M

Detectados 69 (hasta ahora)

Miembros 200 científicos

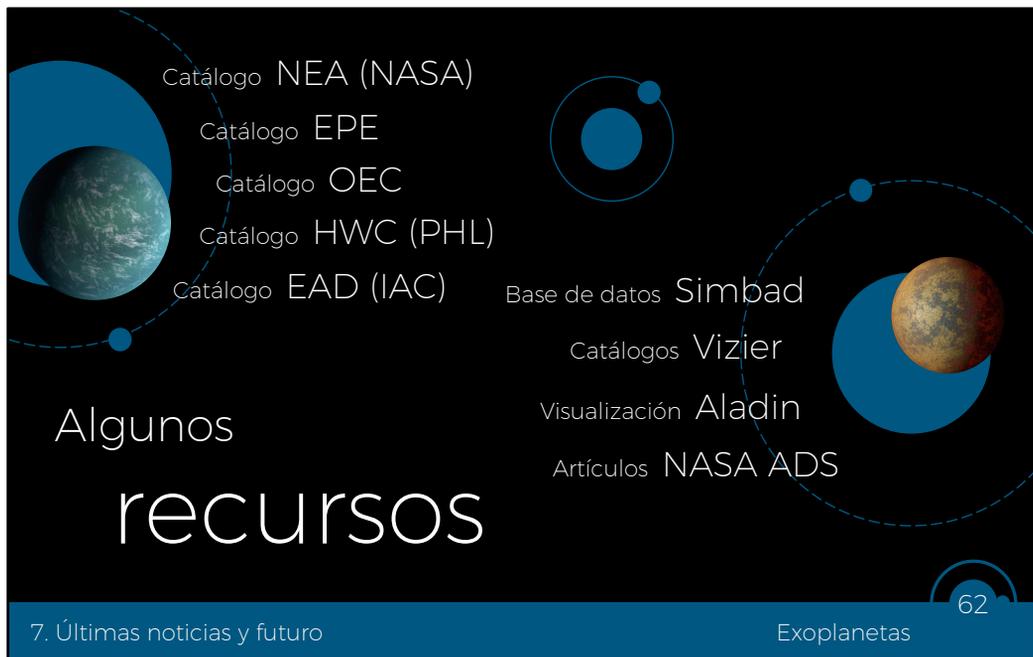
Instituciones 11 (MPIA, IAA, IAC, UCM...)

7. Últimas noticias y futuro

Exoplanetas 61

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>



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



Curso Del Planetario al Cosmos 2024

EXOPLANETAS

RODRIGO GONZÁLEZ PEINADO