Exoplanetas: Buscando otros mundos

Núria Casasayas Barris

20 de Enero de 2021

III Edición de “CosmoEducando y descubriendo el Universo”

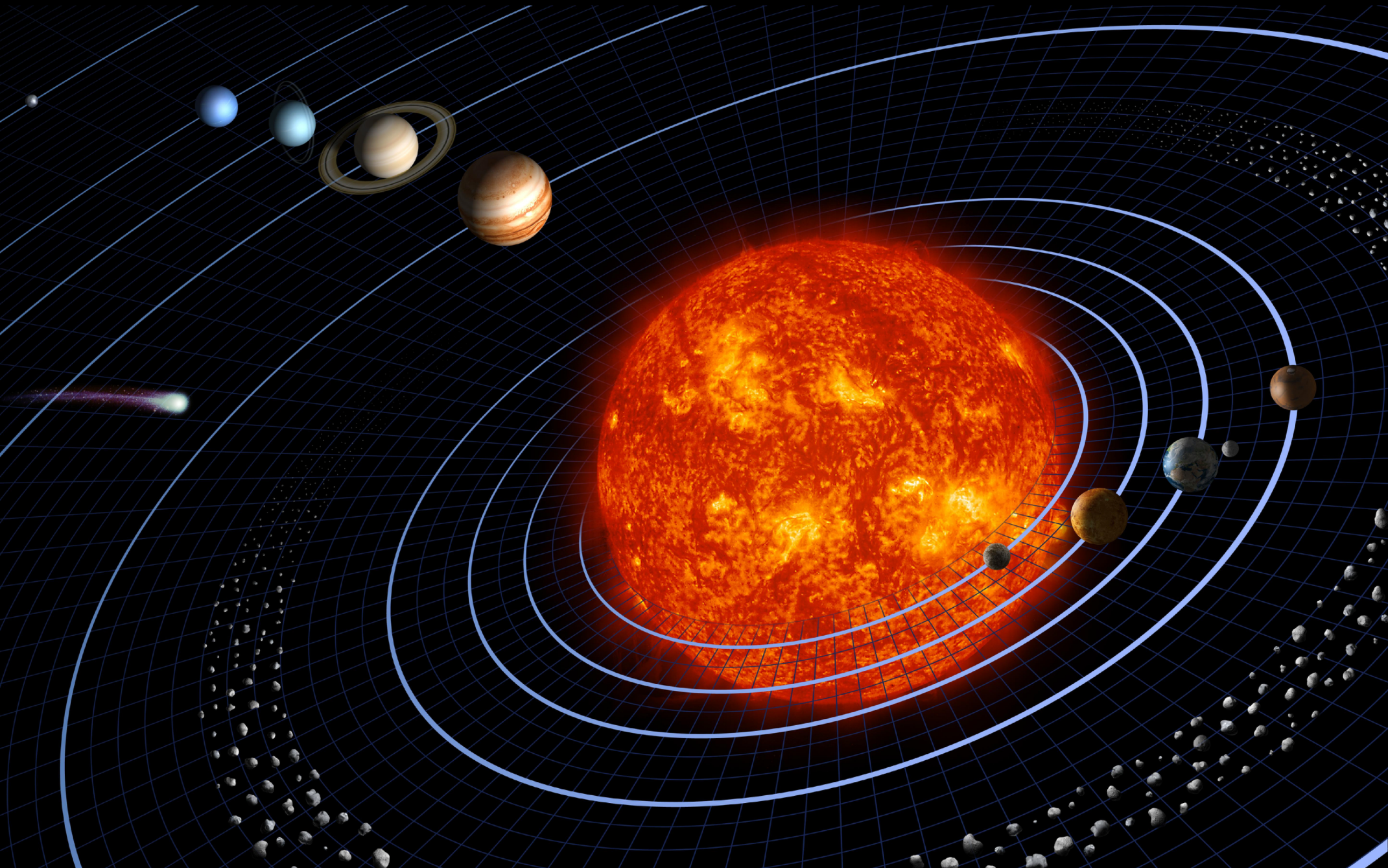
Contenido

1. ¿Qué es un exoplaneta?
2. Buscando otros mundos
3. Caracterización de atmósferas
4. Planetas habitables
5. Casos particulares
6. Futuro

2.1. Métodos de detección
2.2. Misiones
2.3. Resultados

5.1. Proxima Centauri b
5.2. TRAPPIST-1

1. ¿Qué es un exoplaneta?

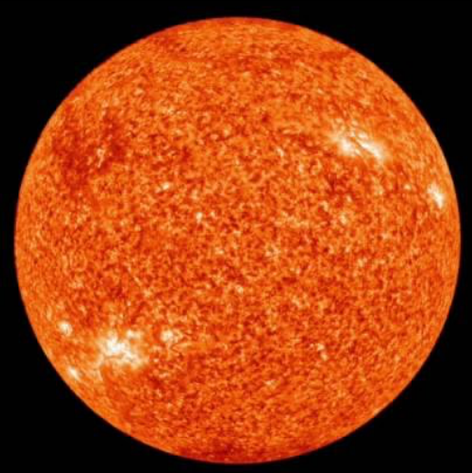


1.¿Qué es un planeta?

IAU- 2006

Objetos con **masas por debajo de 13 masas de Júpiter**
(la masa límite para la fusión termonuclear del deuterio)

Estrellas | **Enanas marrones** | **Planetas**



78 M_J

Fusión de hidrógeno

13 M_J

Fusión de deuterio

1.¿Qué es un ~~planeta~~? exoplaneta

IAU- 2006

Objetos con **masas por debajo de 13 masas de Júpiter** (la masa límite para la fusión termonuclear del deuterio)

1) Que orbitan entorno ~~al Sol~~ a otras estrellas

2) Tienen suficiente masa como para haber alcanzado equilibrio hidrostático (forma esférica)

3) que han limpiado la vecindad de su órbita

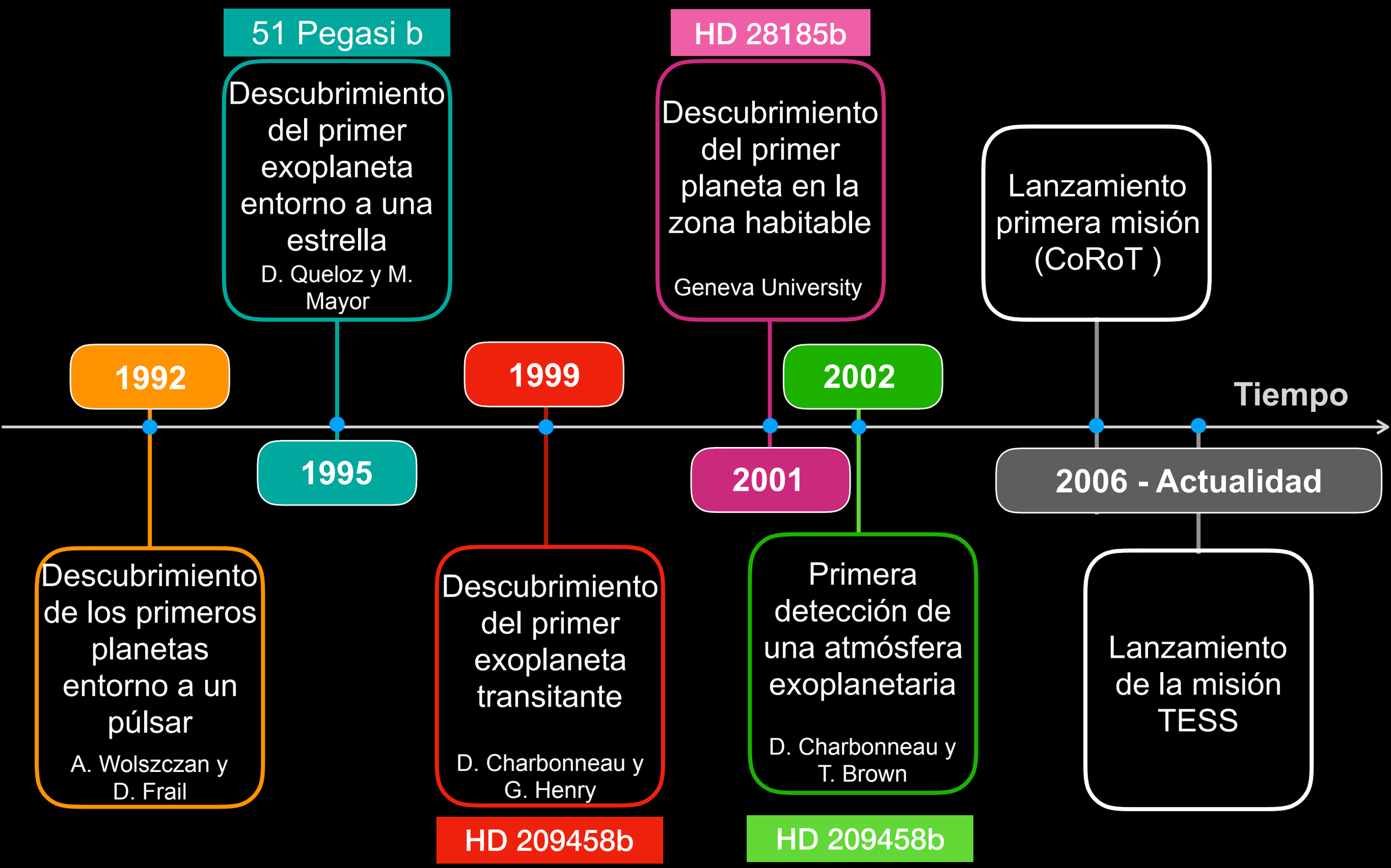
1.¿Qué es un exoplaneta?

Planetas “Free-floating”

Exolunas

NASA/JPL

1.¿Qué es un exoplaneta?



NASA/JPL

2. Buscando otros mundos

2.1 Métodos de detección

2.2 Misiones

2.3 Resultados

2.1 Métodos de detección

Métodos indirectos

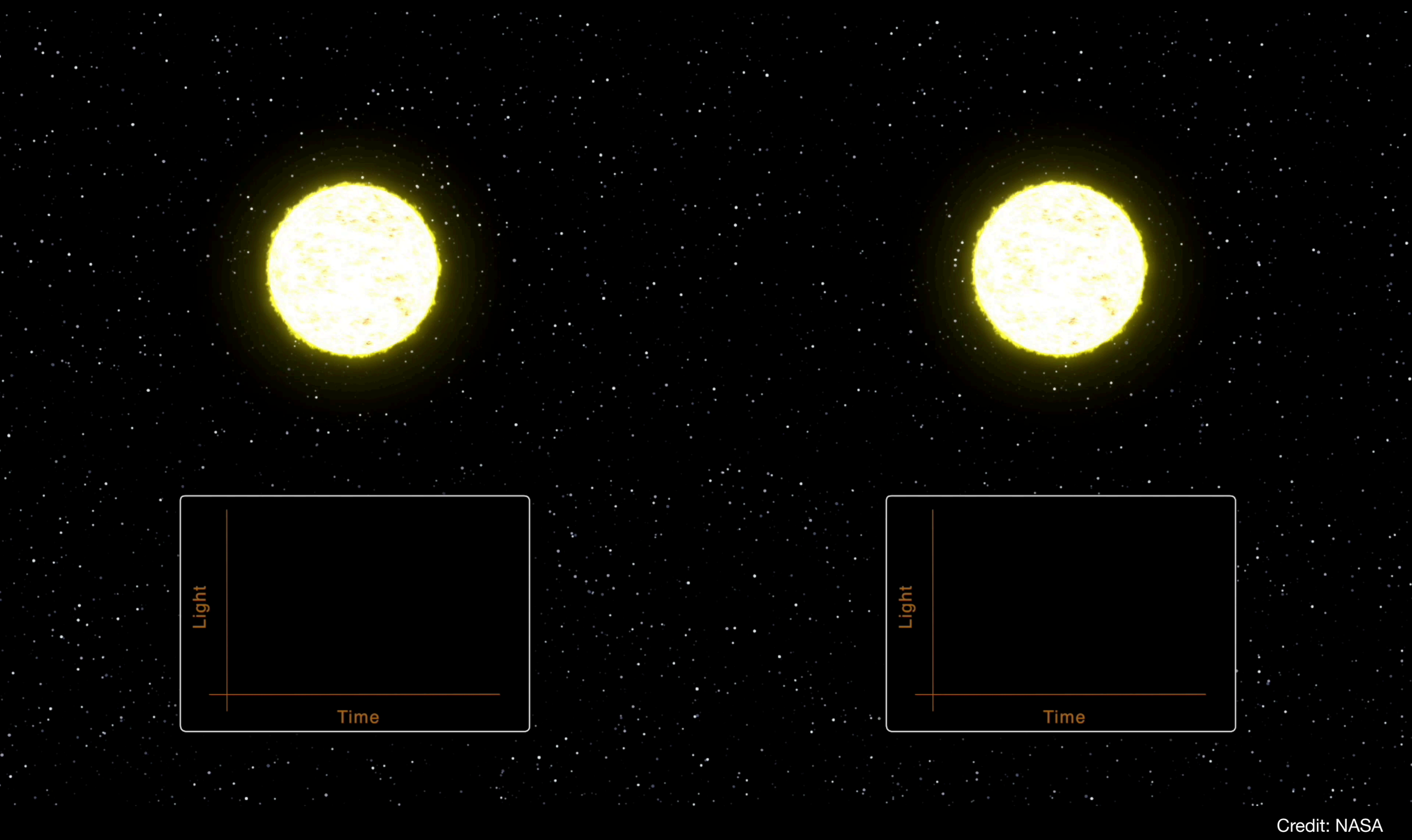
- Tránsitos
- Velocidad radial
- Astrometría
- Microlensing

Métodos directos

- Imagen directa

2.1 Métodos de detección

Métodos indirectos: Tránsitos



Credit: NASA

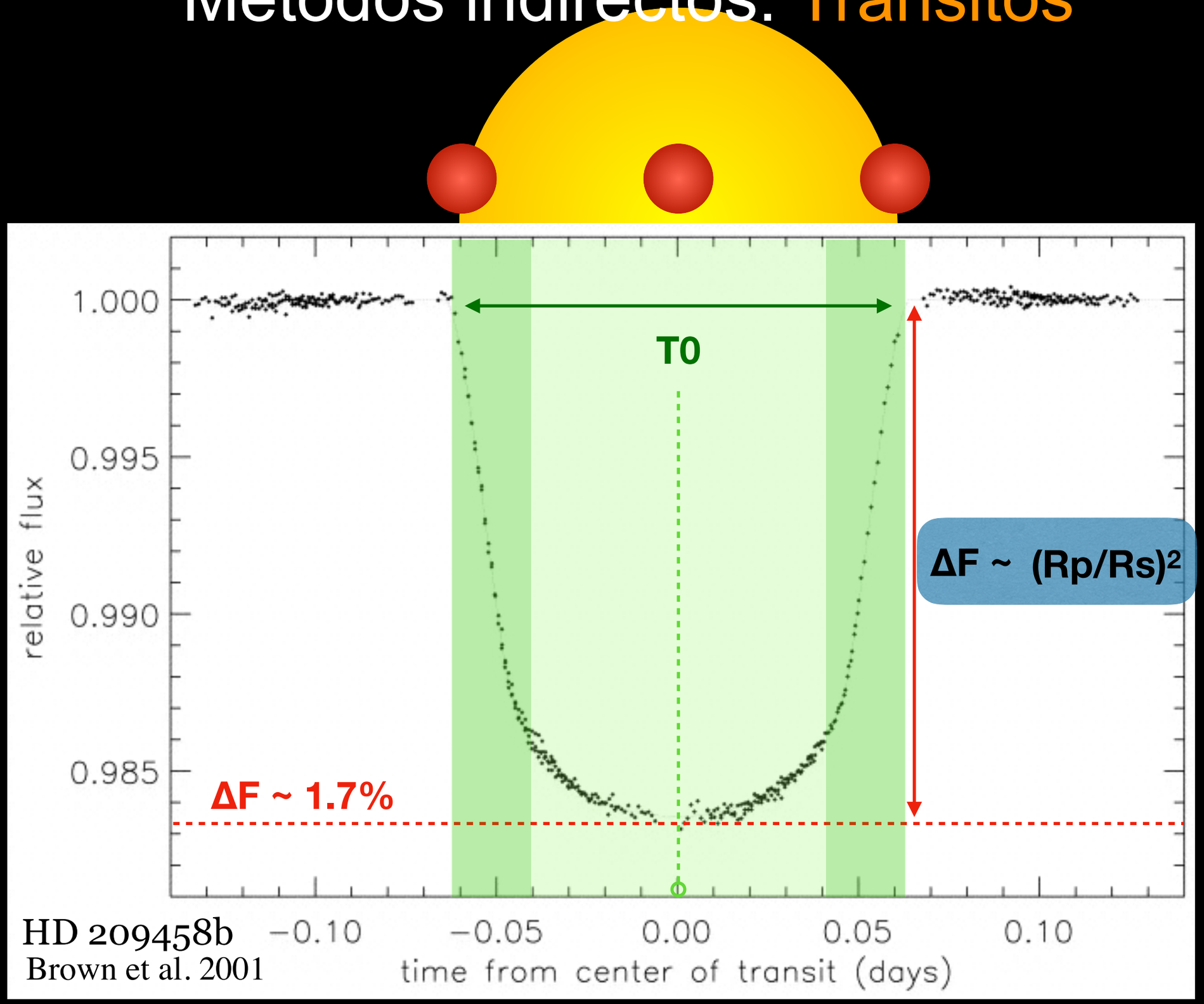
2.1 Métodos de detección

Métodos indirectos: Tránsitos

Credit: NASA

2.1 Métodos de detección

Métodos indirectos: Tránsitos



HD 209458b
Brown et al. 2001

2.1 Métodos de detección

Métodos indirectos: Tránsitos

Método relativamente fácil de llevar a cabo

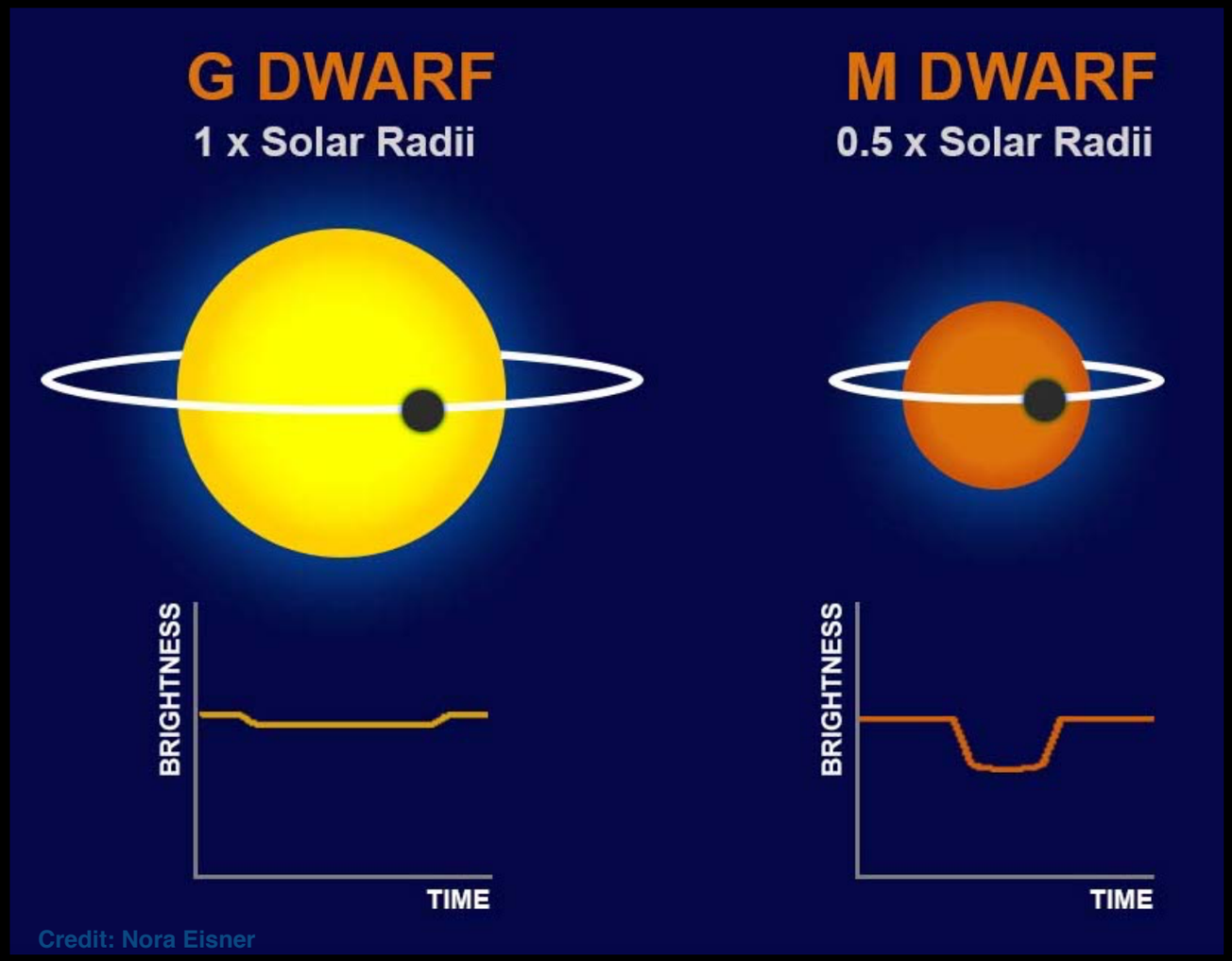
$\Delta F \sim (R_p/R_s)^2$

Buscamos cambios muy pequeños de la luz de la estrella

$R_* \sim R_o$

$R_p \sim R_J$ $\Delta F \sim 1\%$

$R_p \sim R_T$ $\Delta F \sim 0.01\%$

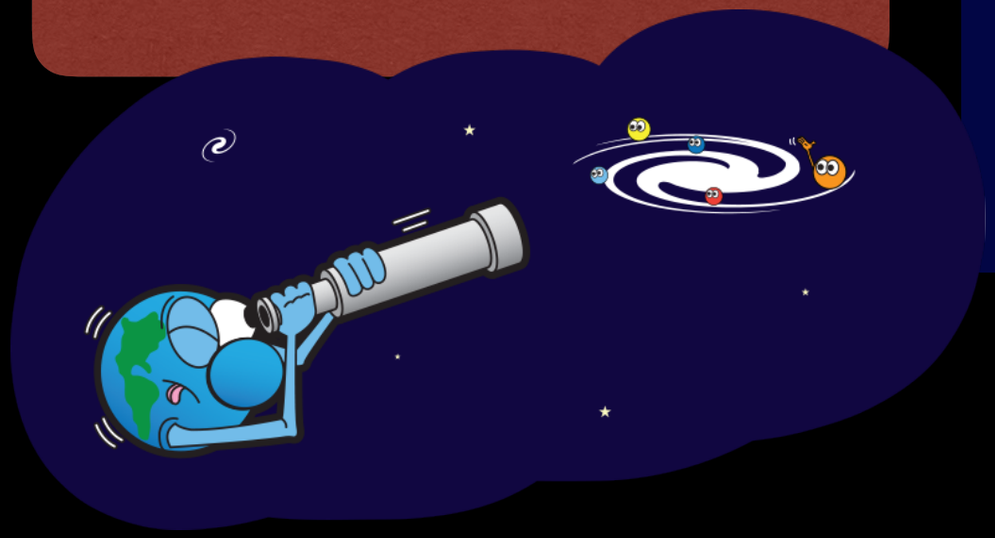


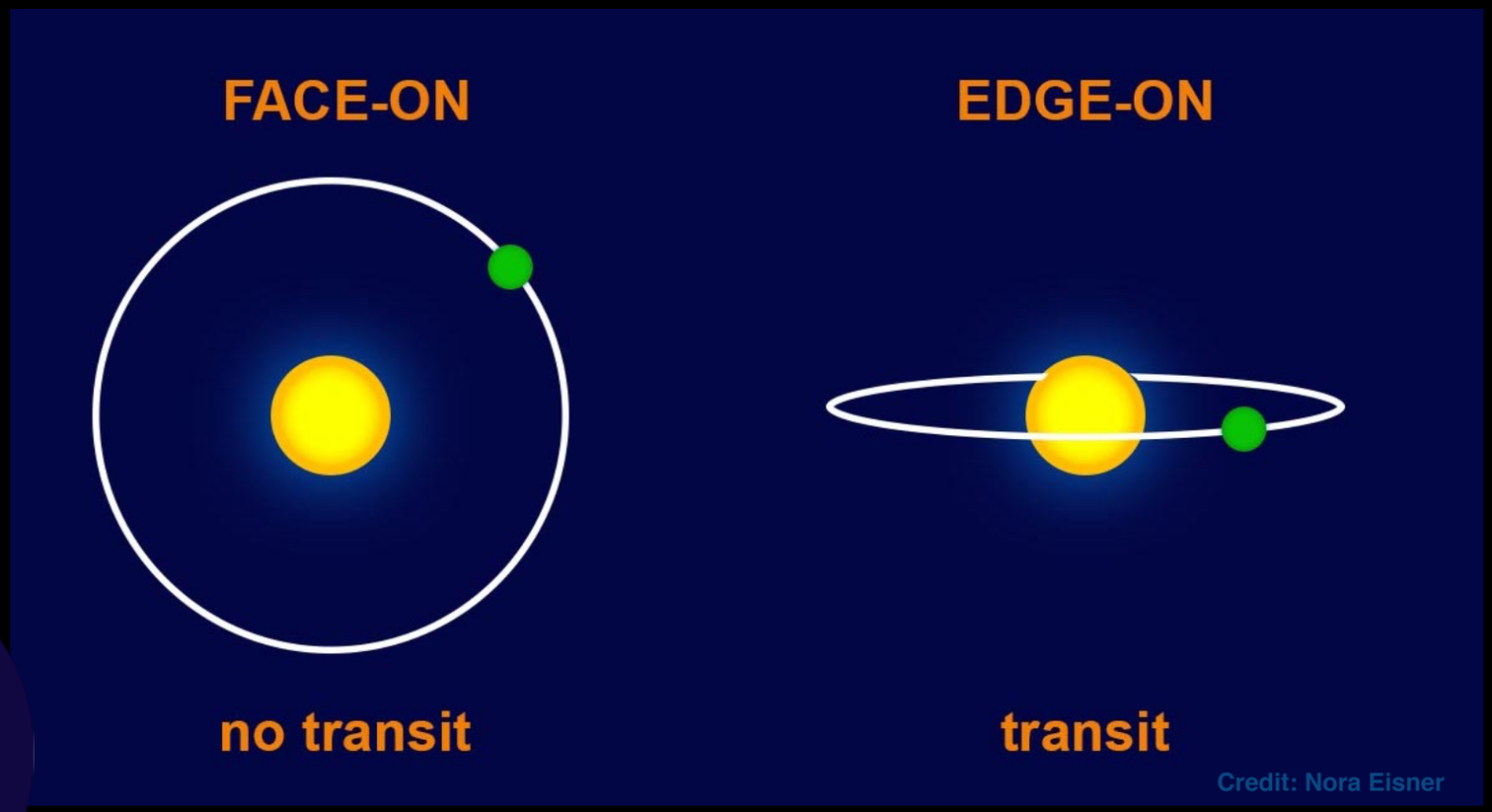
2.1 Métodos de detección

Métodos indirectos: Tránsitos

Método relativamente fácil de llevar a cabo

- Limitados por la geometría del sistema respecto a nosotros
- La probabilidad de encontrar un planeta transitan es muy baja





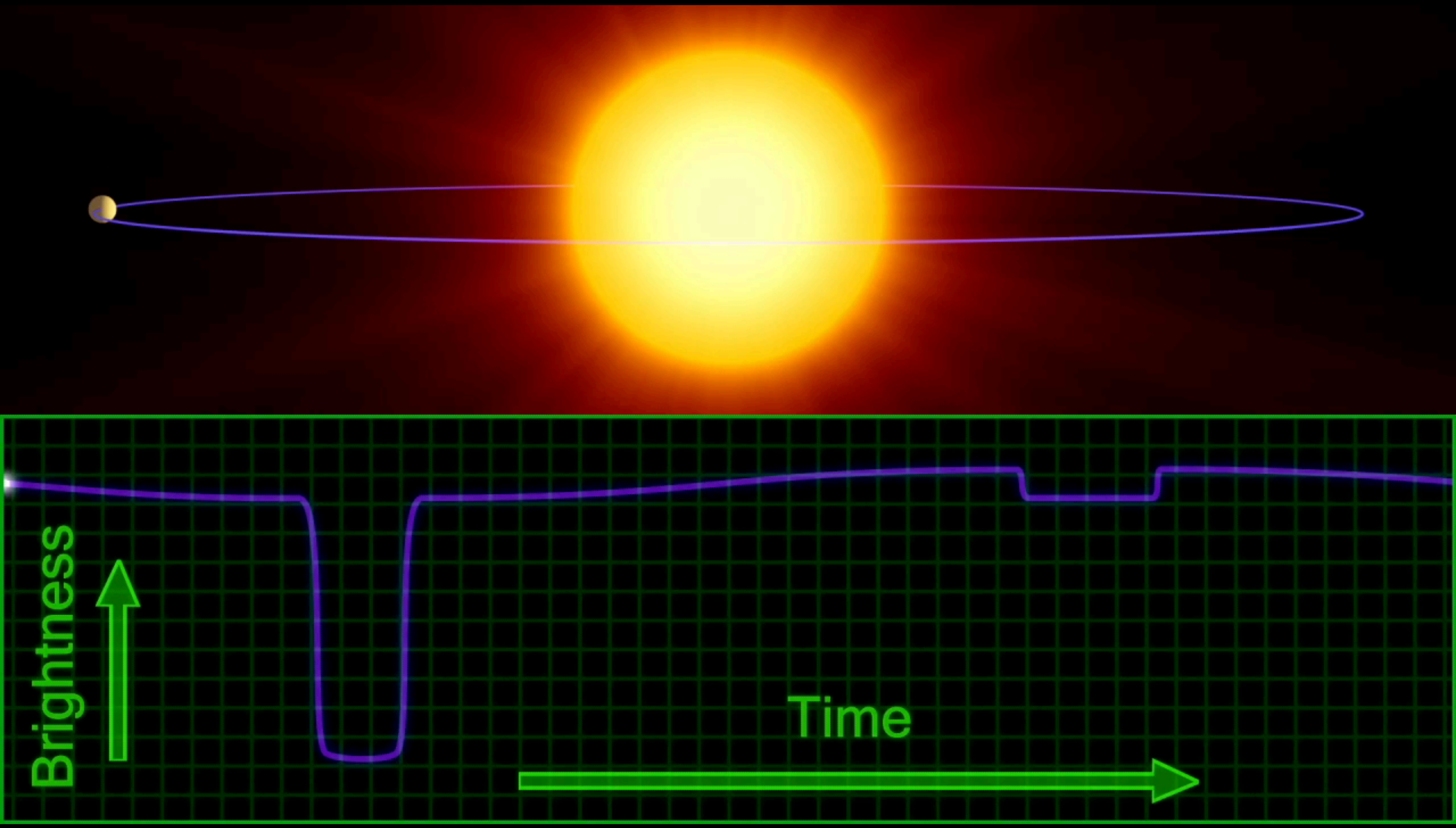
2.1 Métodos de detección

Métodos indirectos: Tránsitos

Credit: NASA

2.1 Métodos de detección

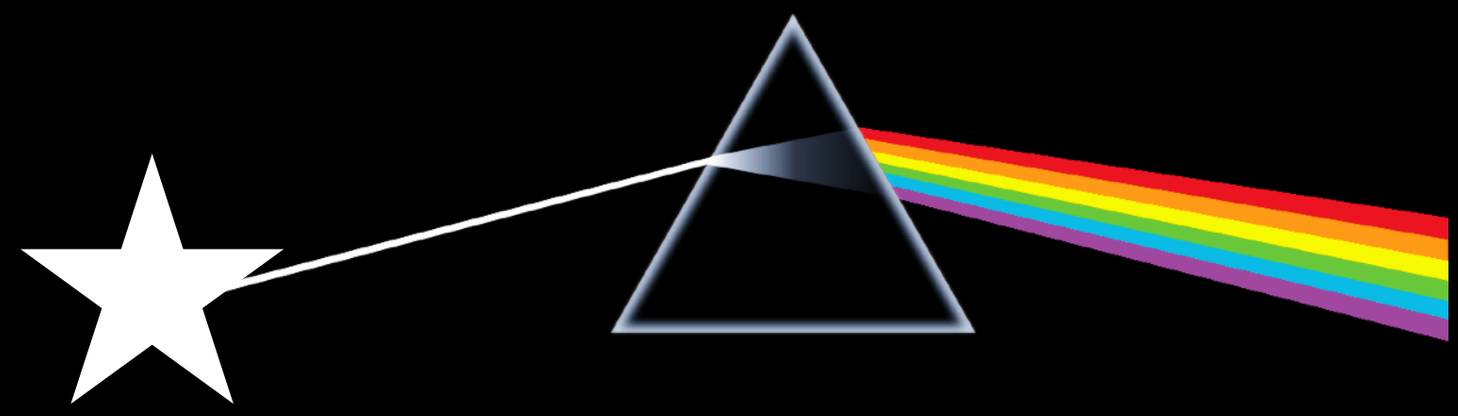
Métodos indirectos: Tránsitos

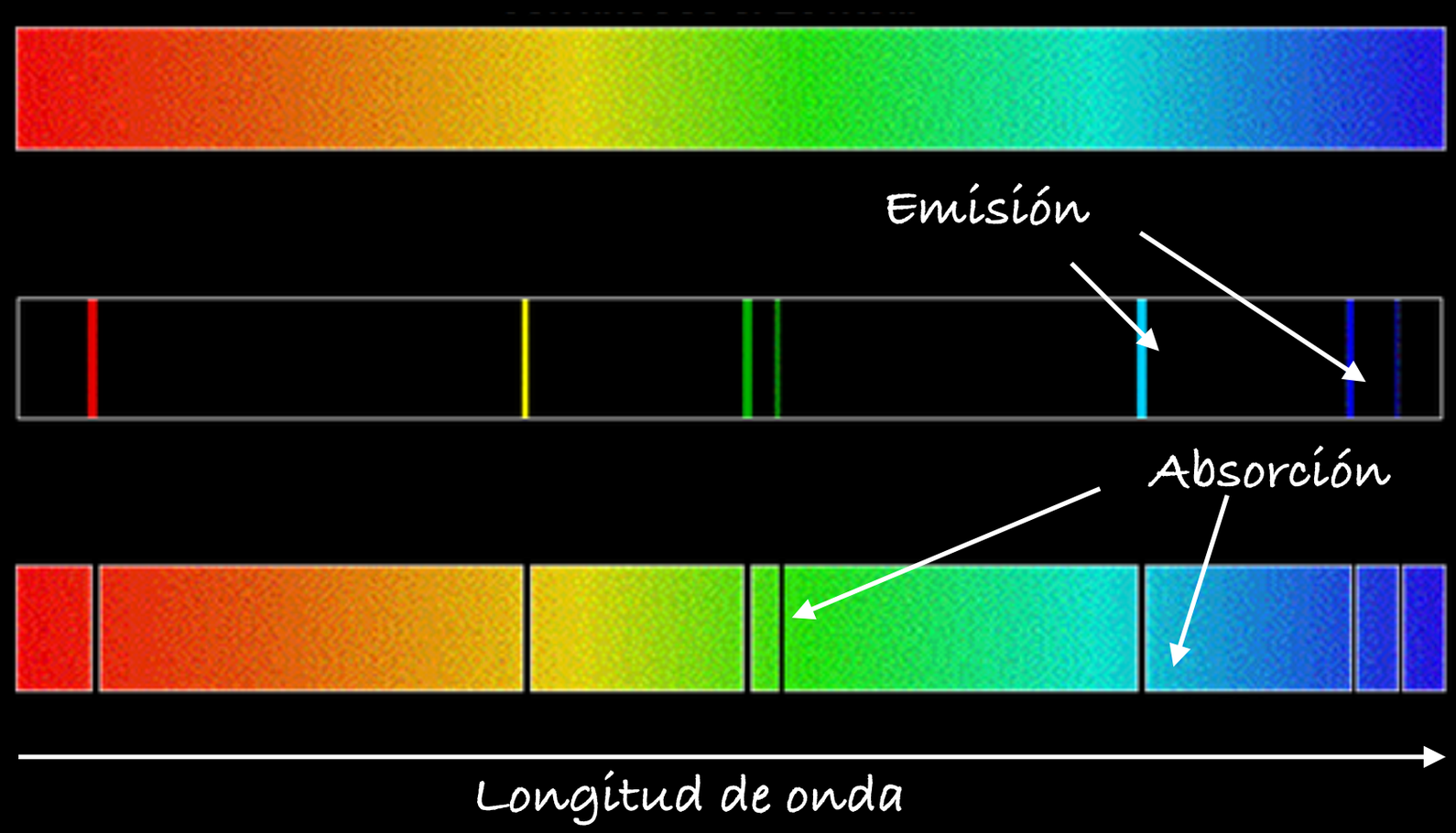


Credit: NASA

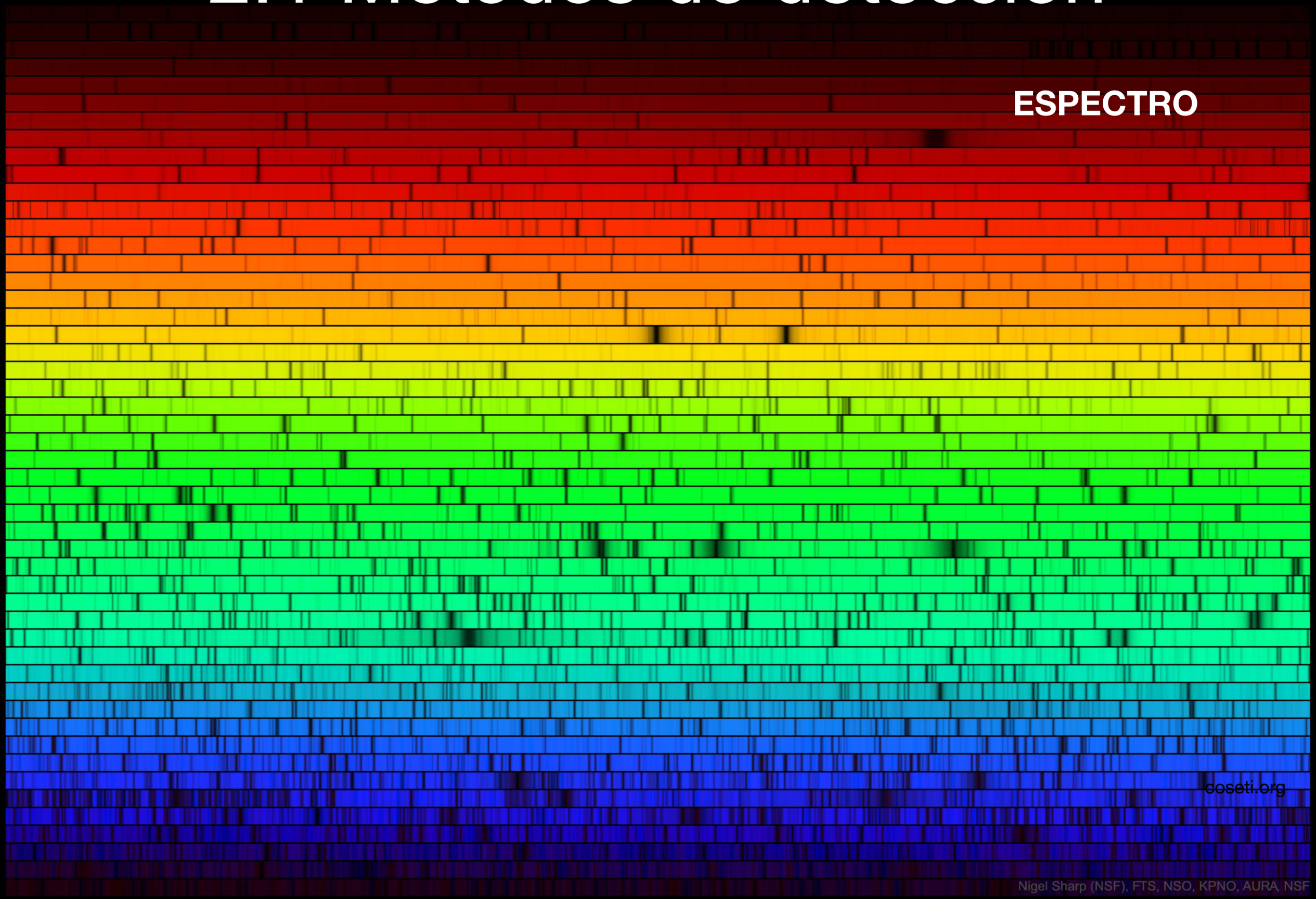
2.1 Métodos de detección

Métodos indirectos: Velocidad radial





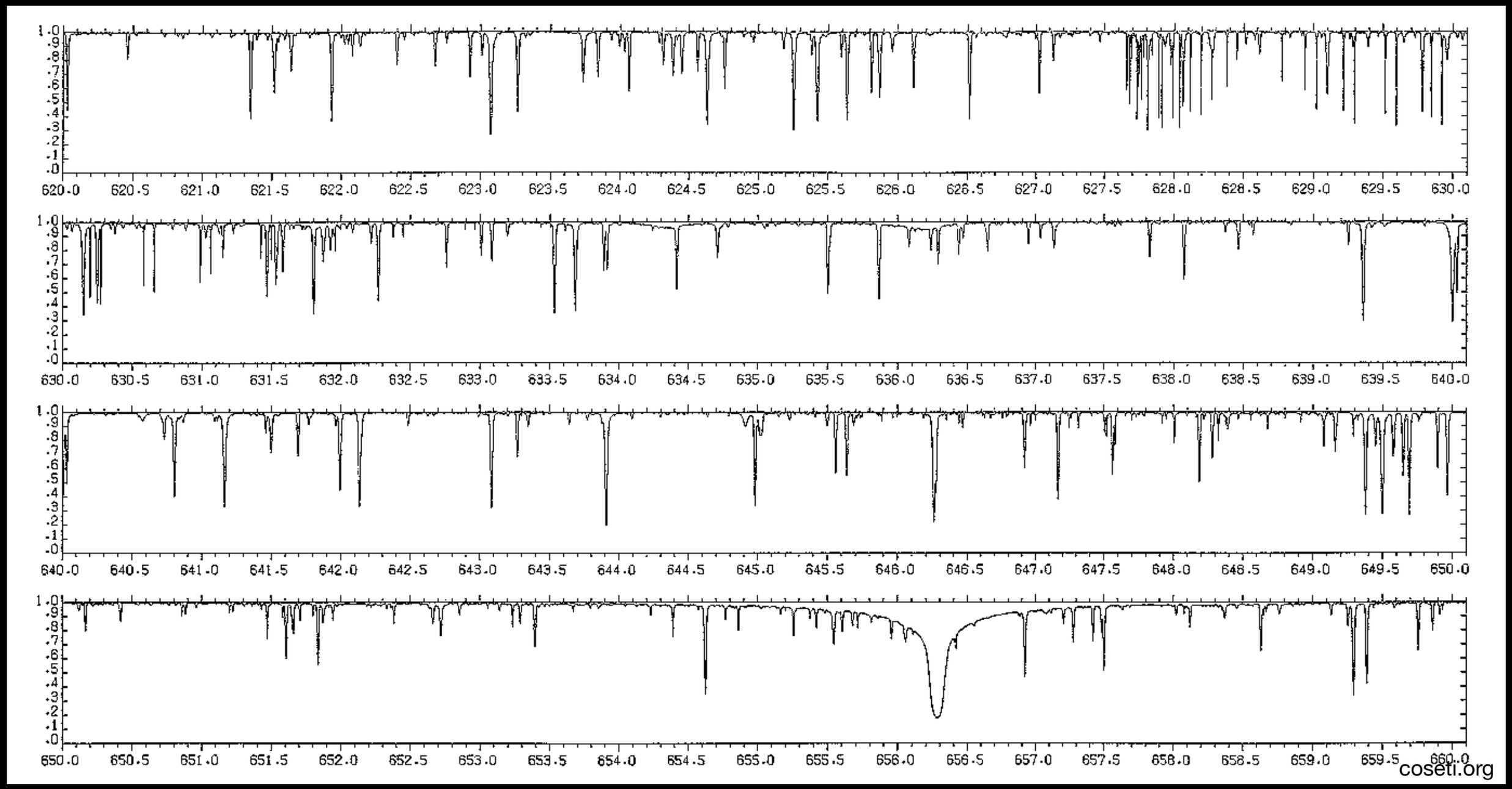
2.1 Métodos de detección



2.1 Métodos de detección

Métodos indirectos: Velocidad radial

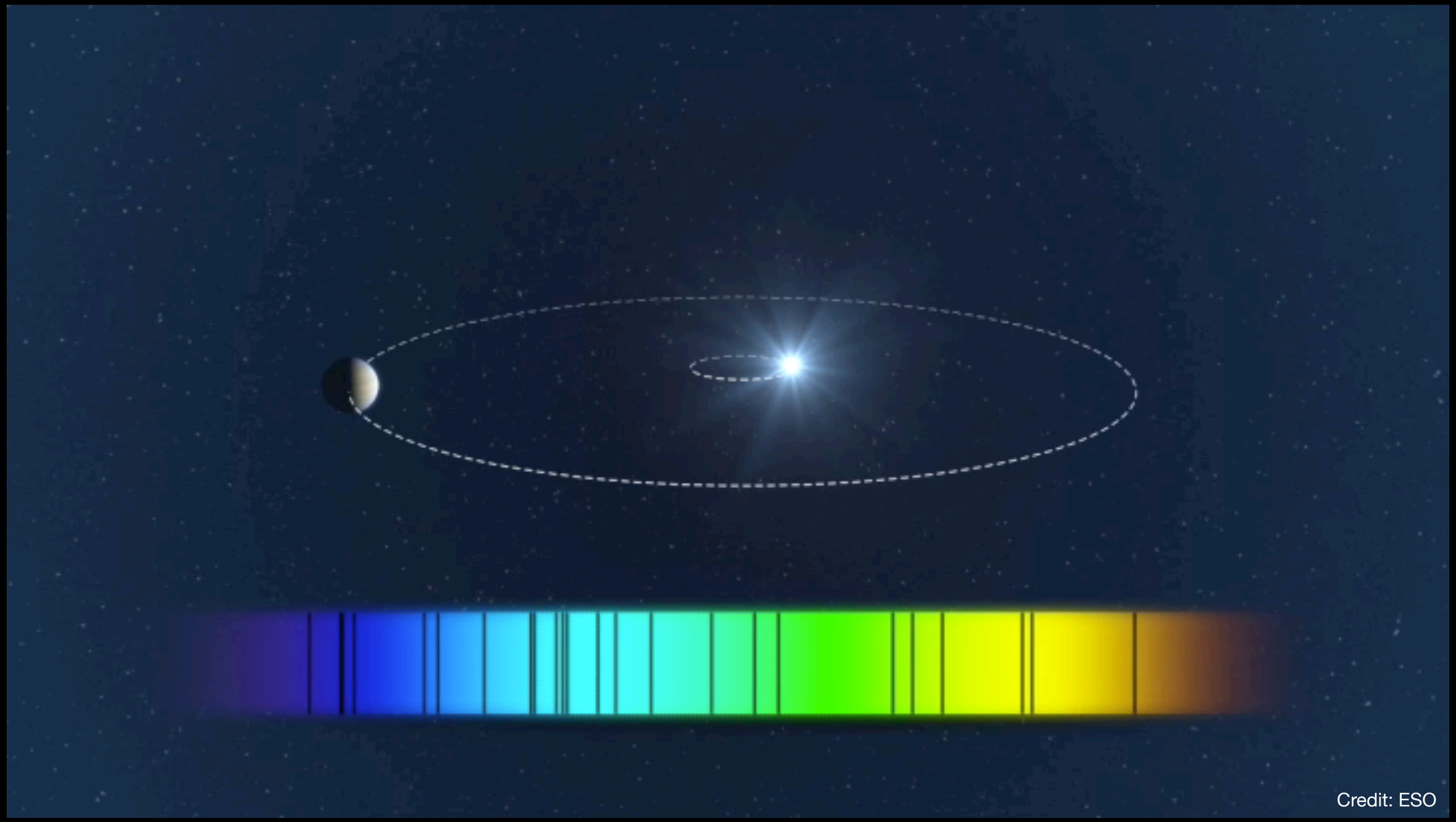
ESPECTRO



Longitud de onda

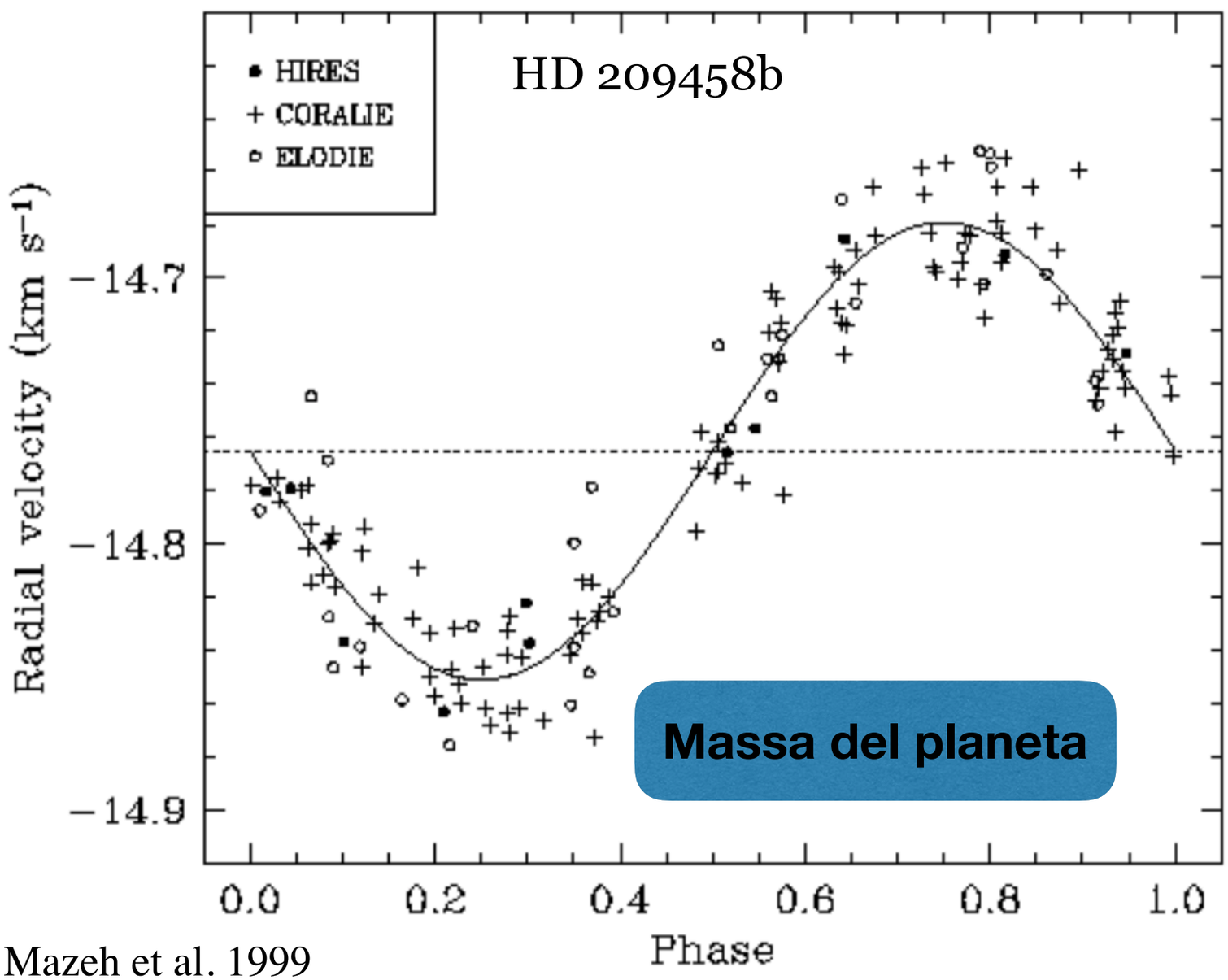
2.1 Métodos de detección

Métodos indirectos: Velocidad radial



2.1 Métodos de detección

Métodos indirectos: Velocidad radial



Mazeh et al. 1999

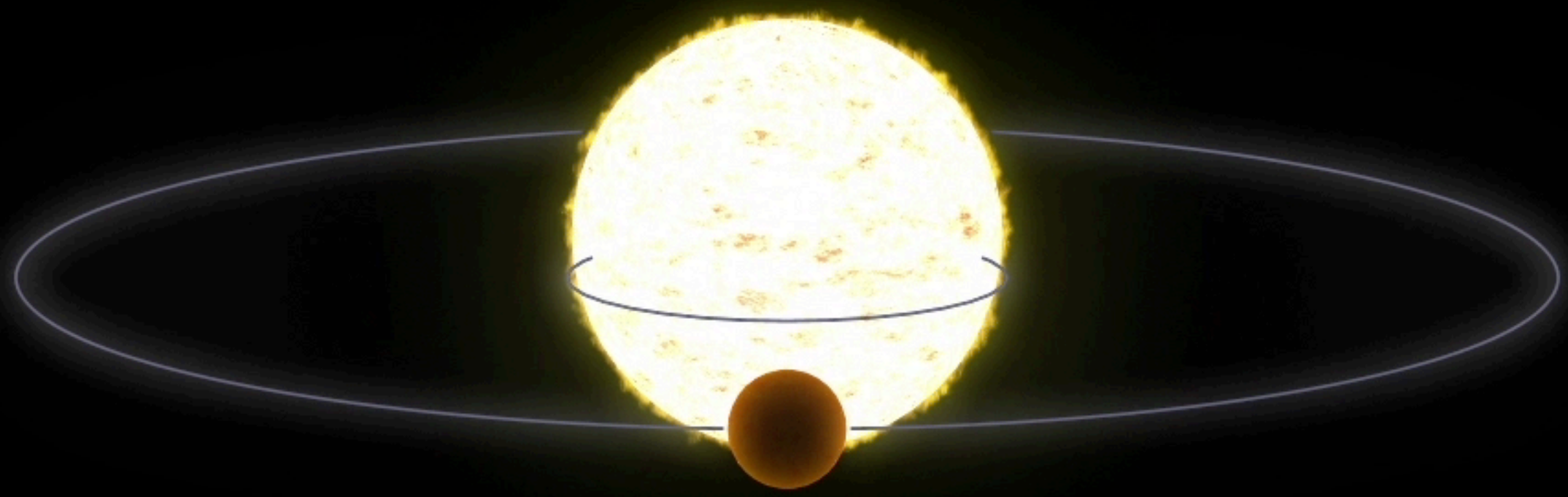
Massa del planeta

Necesitamos que la inclinación del planeta sea una determinada para poder detectarlo

Permite detectar planetas con masas relativamente bajas entorno a estrellas brillantes

2.1 Métodos de detección

Métodos indirectos: Astrometría

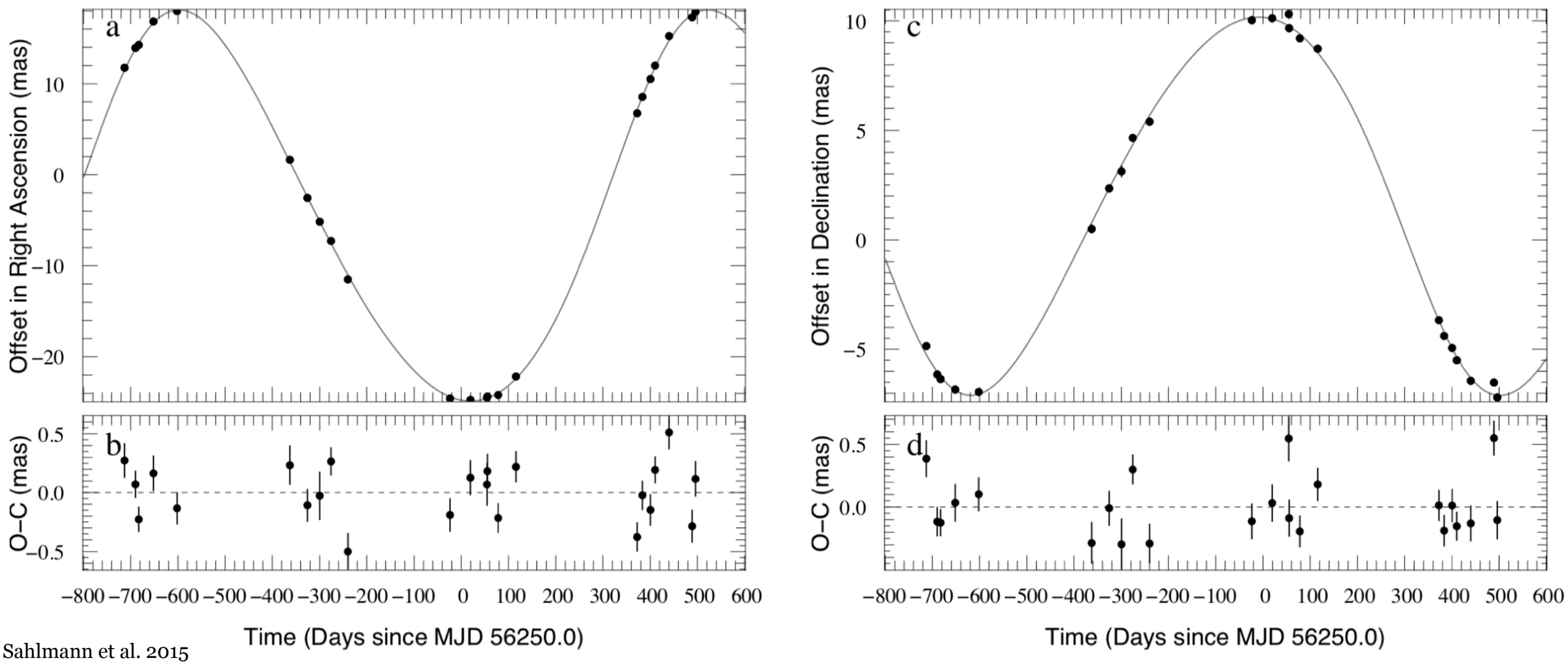


Credit: NASA

2.1 Métodos de detección

Métodos indirectos: Astrometría

Información sobre la masa del planeta, distancia planeta-estrella



Sahlmann et al. 2015

Sólo planetas grandes (extrema precisión)

Permite detectar tanto la masa como otros parámetros orbitales

2.1 Métodos de detección

Métodos indirectos: Microlentes

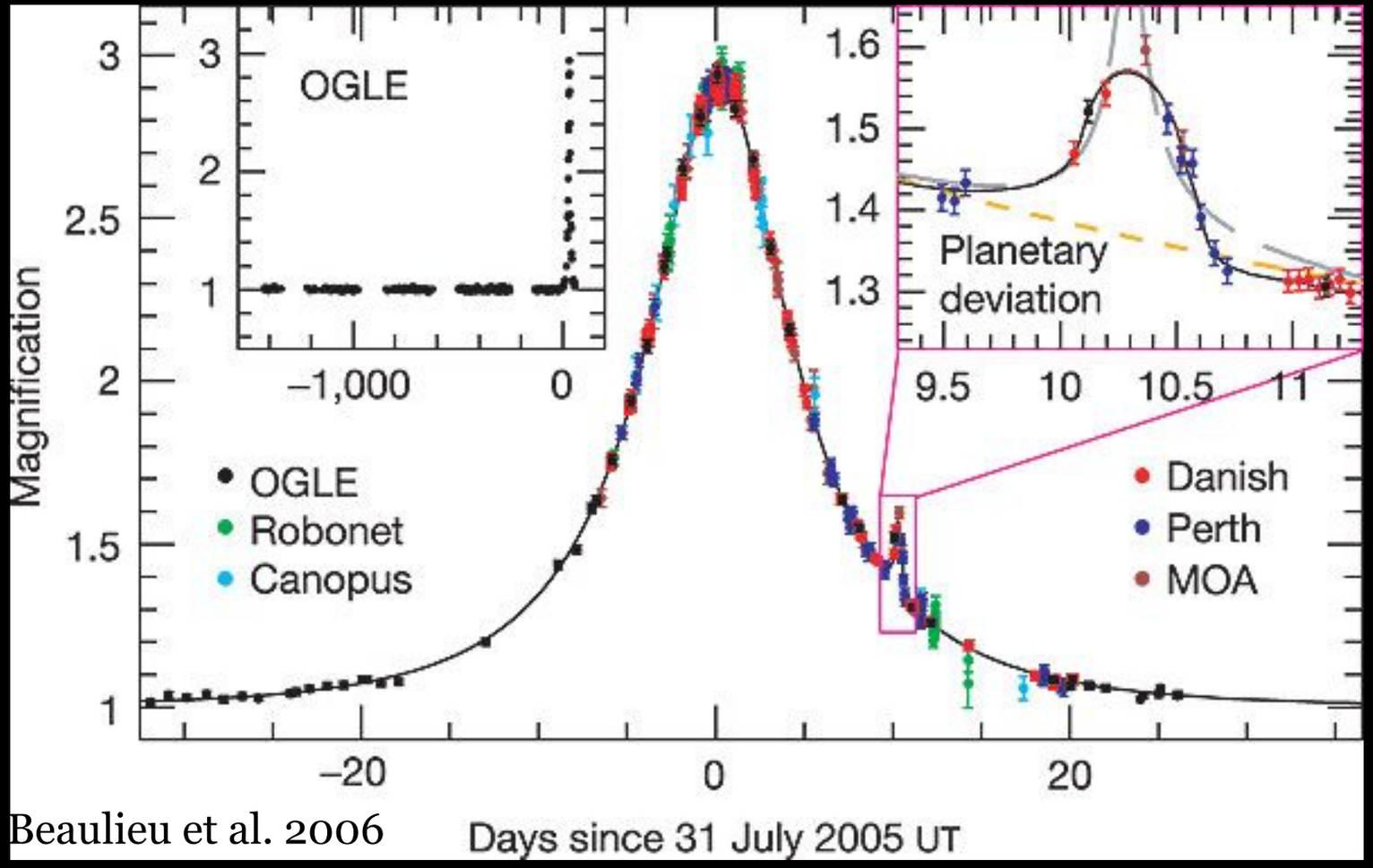
Credit: NASA

2.1 Métodos de detección

Métodos indirectos: Microlentes

Permiten observar planetas con masas pequeñas (en principio menores que la tierra) a grandes distancias

Eventos únicos muy difíciles de re-observar. Duran típicamente entre horas y días

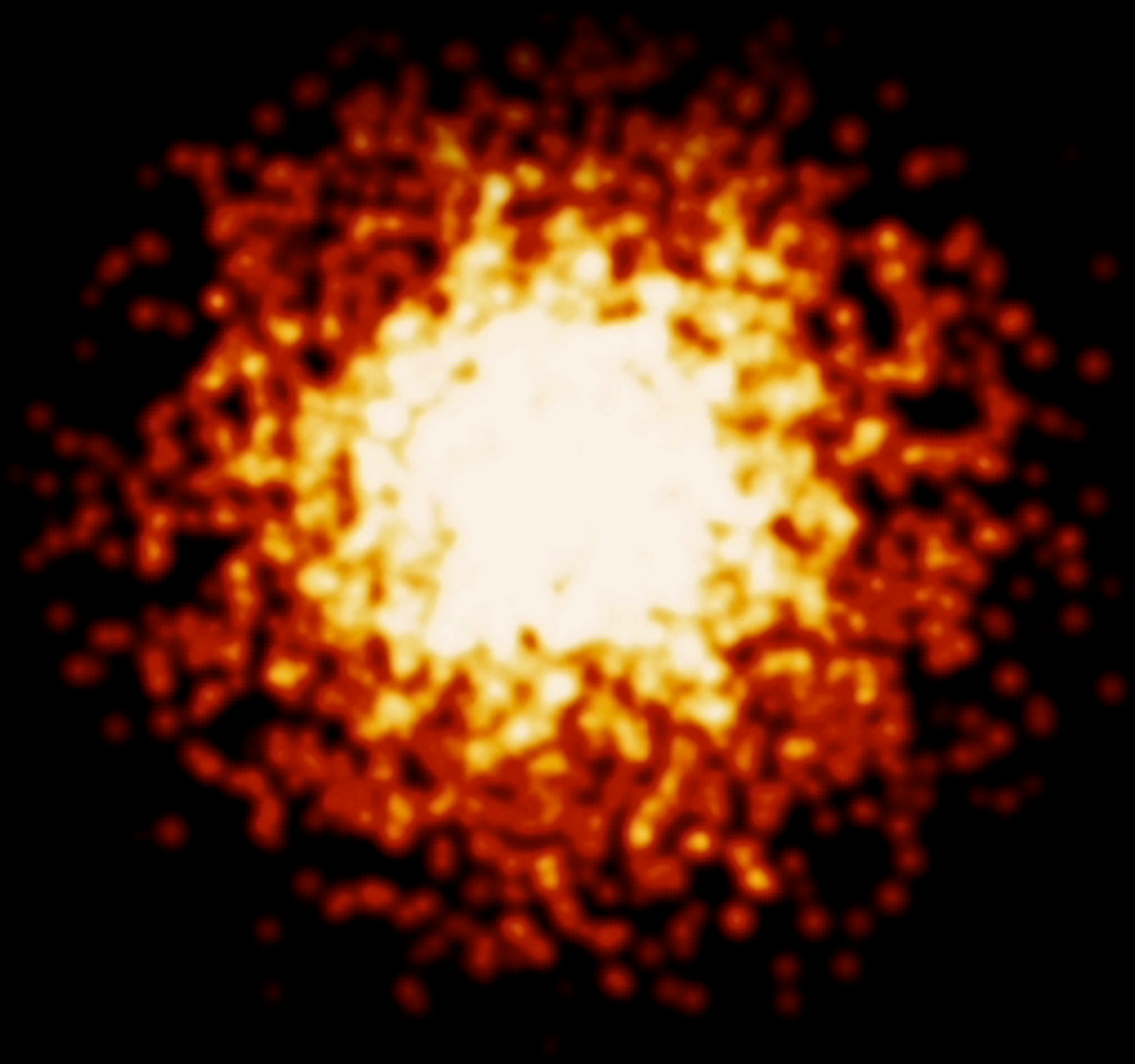


Beaulieu et al. 2006

Información sobre Mp/Ms

2.1 Métodos de detección

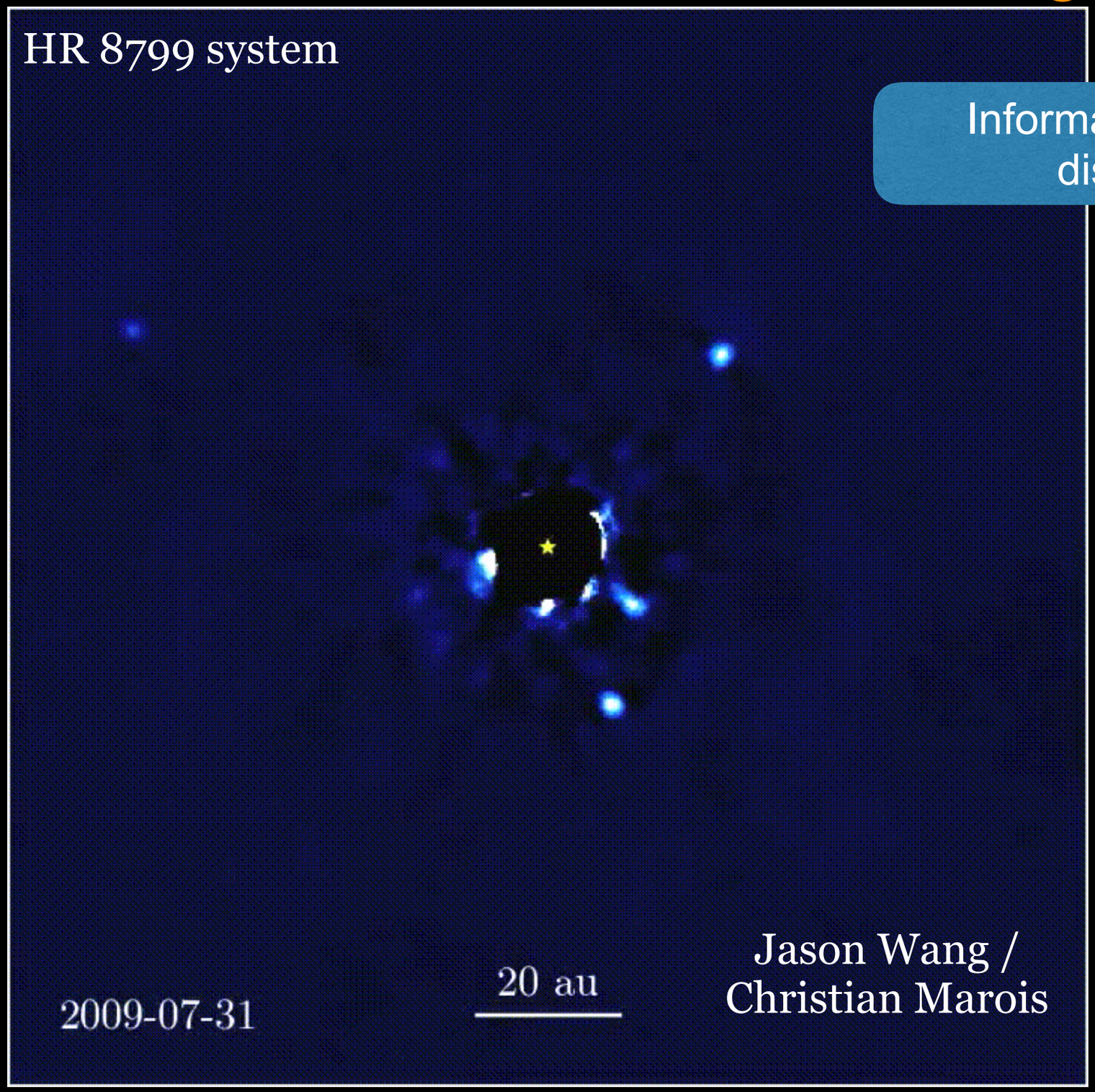
Métodos directos: Imagen directa



Credit: NASA

2.1 Métodos de detección

Métodos directos: Imagen directa

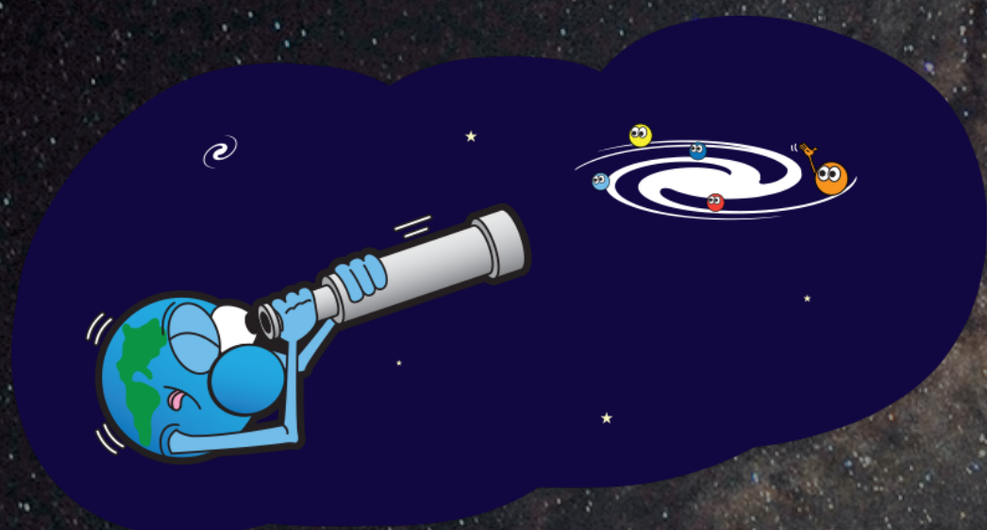


Información del radio del planeta y distancia estrella-planeta

- Planetas a grandes separaciones de su estrella
- Gran contraste

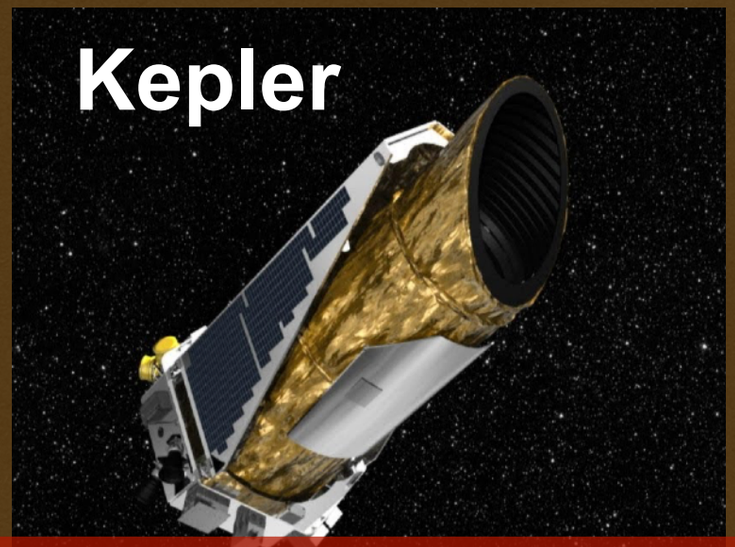
Futuro: gran importancia para la caracterización de atmósferas Terrestres

Pero observar las estrellas una por una es muy lento…



Credits: ESO/S. Brunier

2.2 Misiones



Monitorización del cielo para buscar tránsitos

- Primera misión dedicada al estudio de exoplanetas
- Lanzamiento: 2006
- Fin operación: 2012
- 30 cm de diámetro
- Descubrimiento de ~ 40 exoplanetas

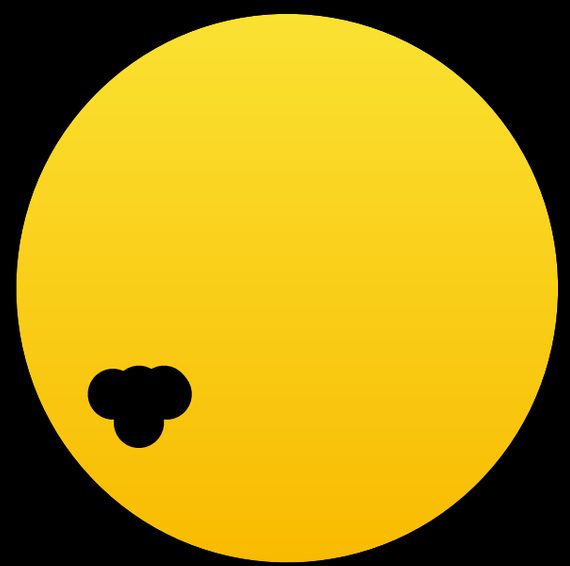
- Lanzamiento: 2009
- Fin operación: 2018
- 95 cm de diámetro
- 2013: nueva misión K2
- ~2600 exoplanetas confirmados, descubiertos por Kepler

- Lanzamiento: 2018
- Cubrirá el cielo entero en 2 años en diferentes sectores
- ~45 exoplanetas confirmados, descubiertos por TESS
- 1799 candidatos

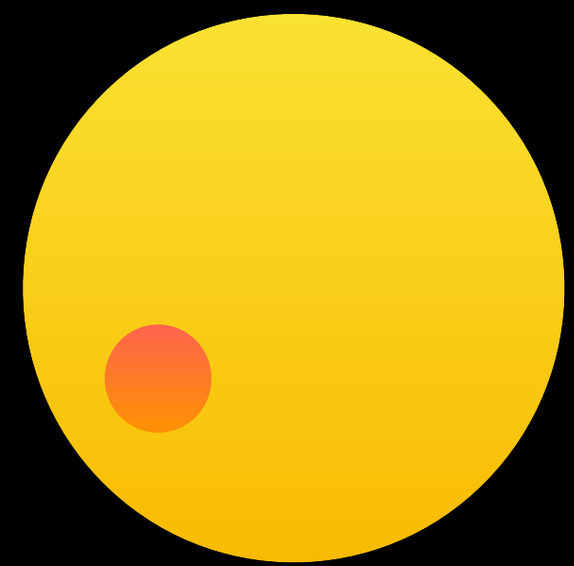
2.2 Misiones

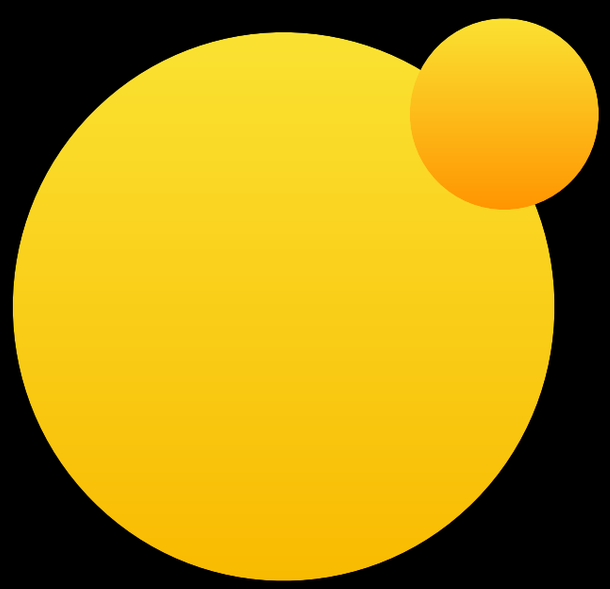
Falsos positivos

Manchas estelares

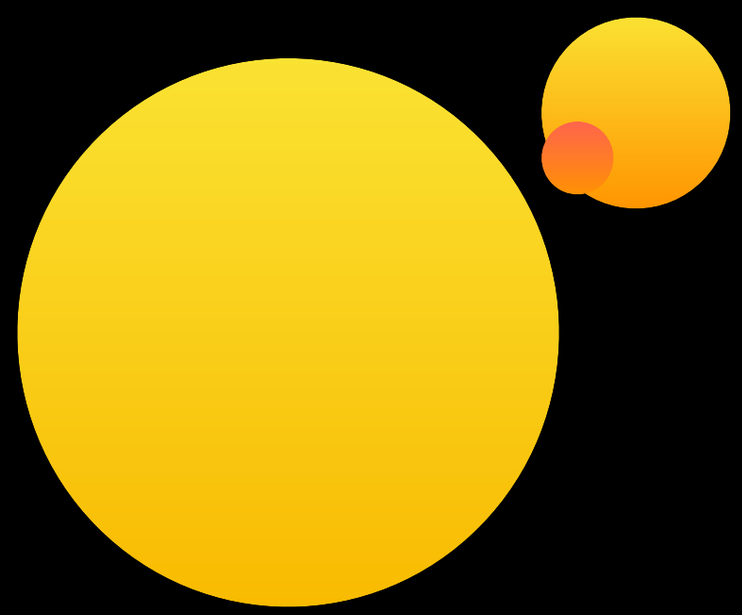


Binaria eclipsante de baja masa

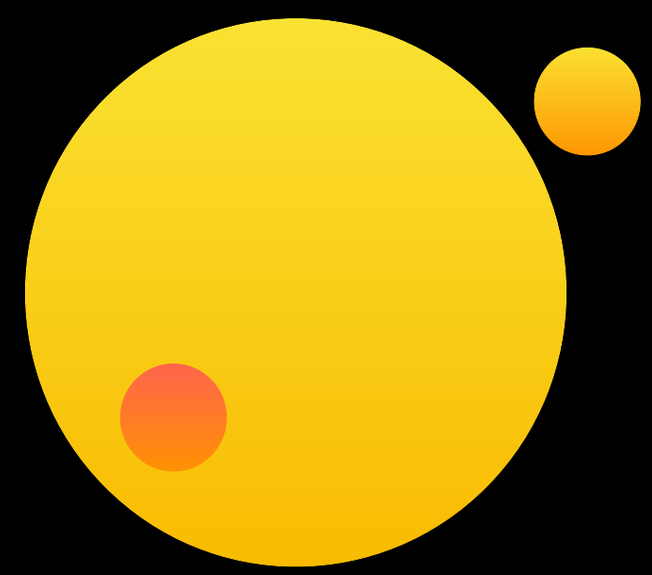




Tránsito parcial de una binaria eclipsante



Binaria eclipsante de fondo



Binaria eclipsante de baja masa con estrella de fondo

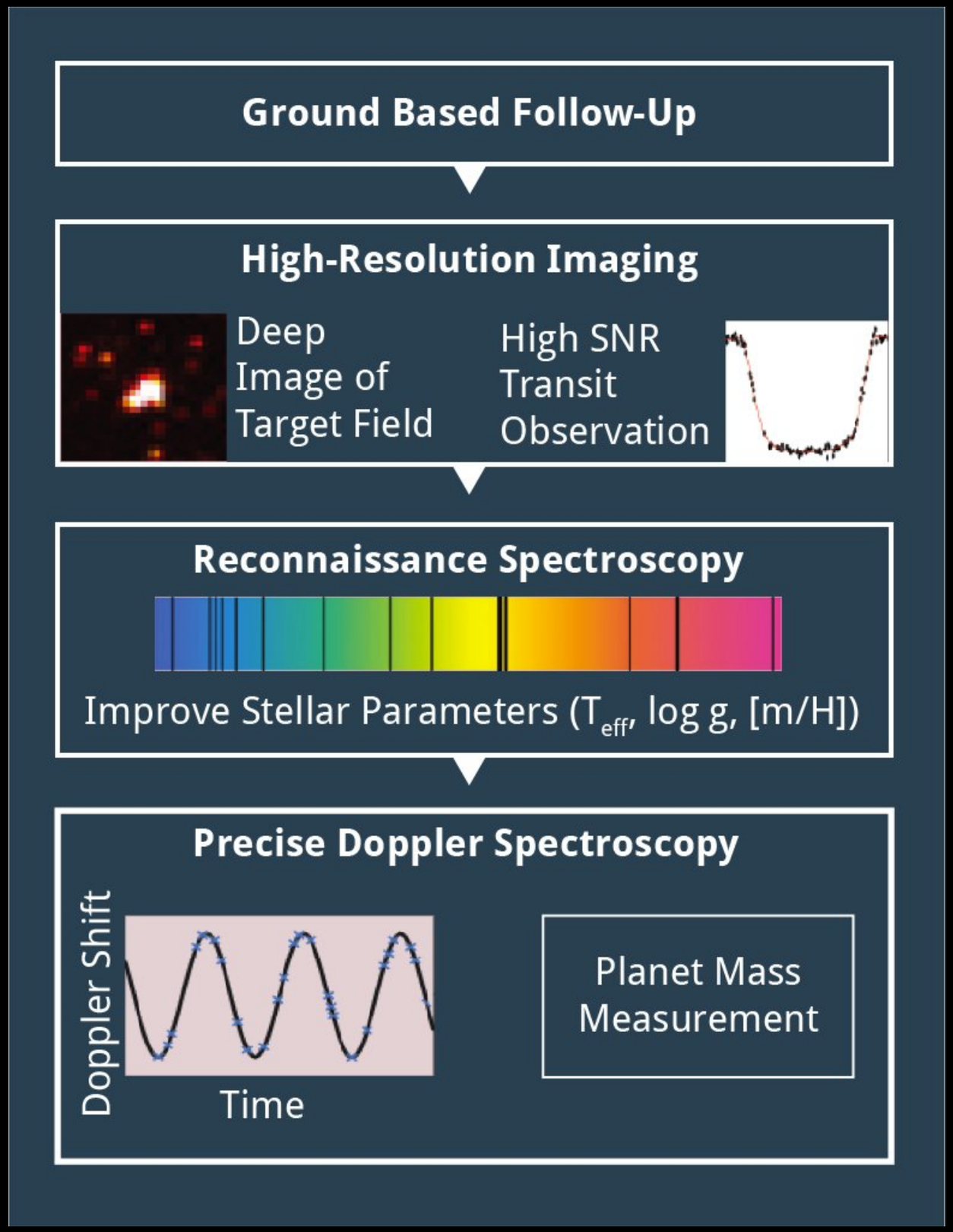
2.2 Misiones

Confirmación de candidatos desde tierra

Observaciones de seguimiento desde tierra

Medidas de velocidad radial

Más transitos

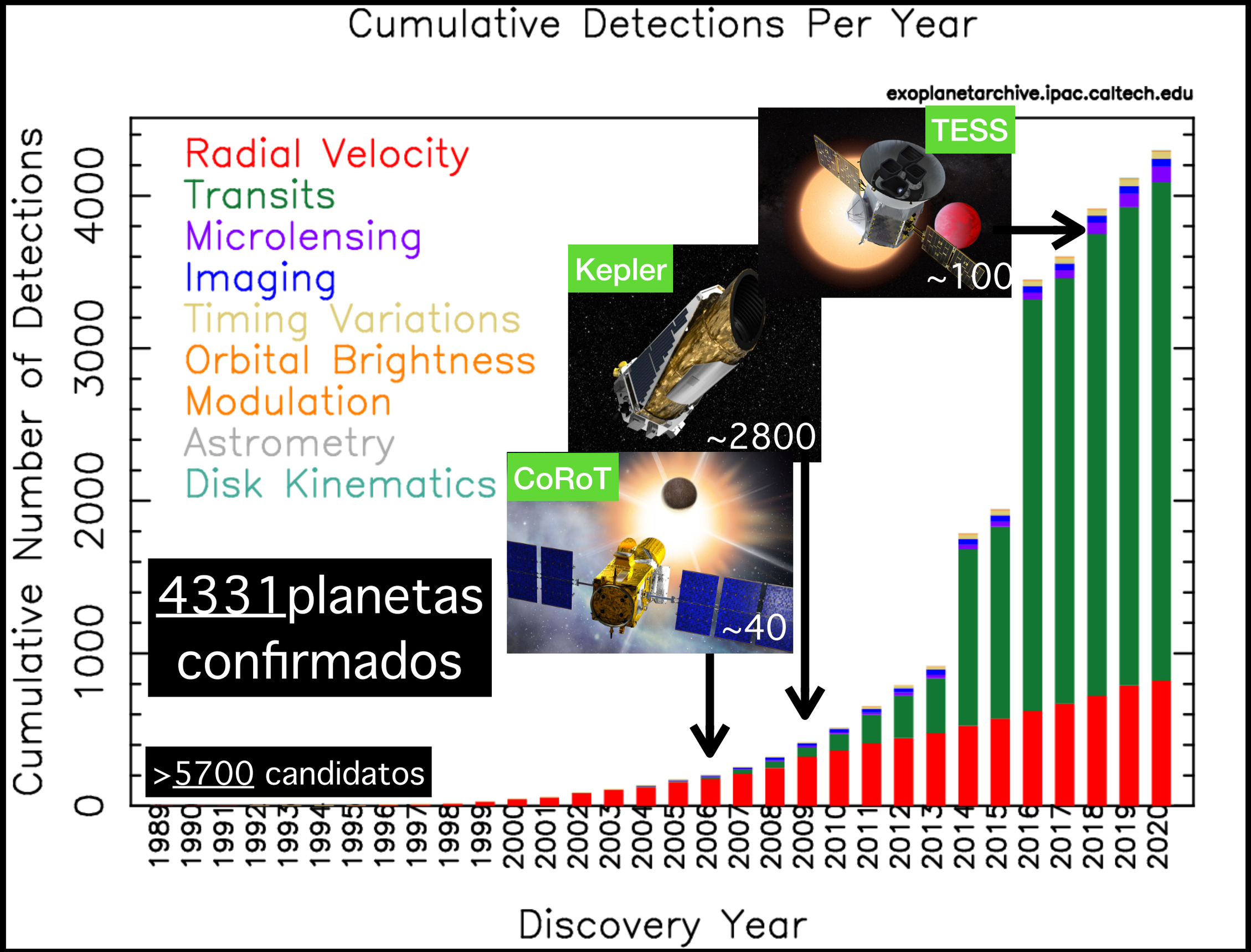


2.2 Misiones

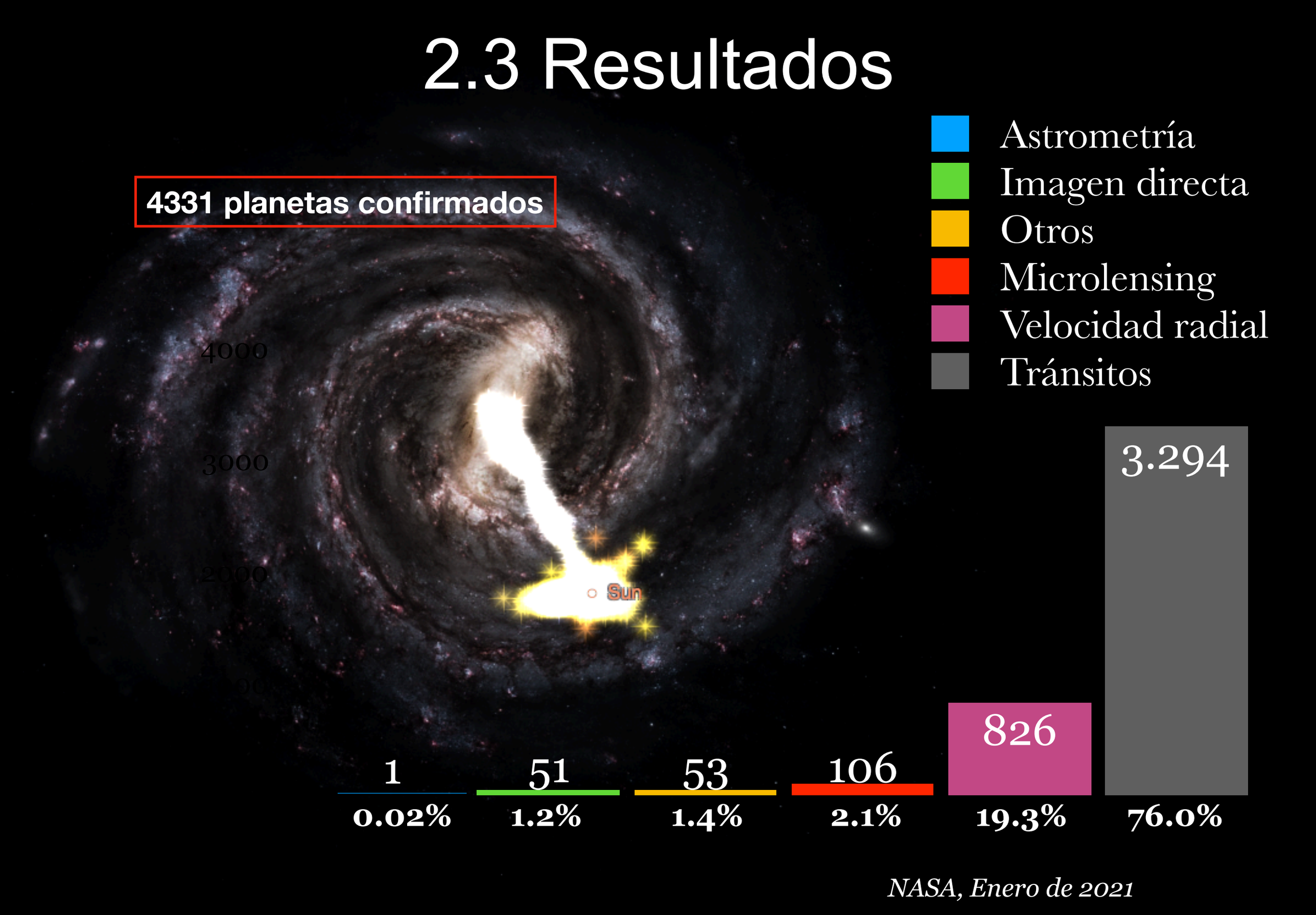
Observaciones satélite
Análisis datos
Posible tránsito
Candidato
No hay tránsito
Observaciones desde tierra
Exoplaneta
Falso positivo

Qué nos cuentan todas estas observaciones…

2.3 Resultados



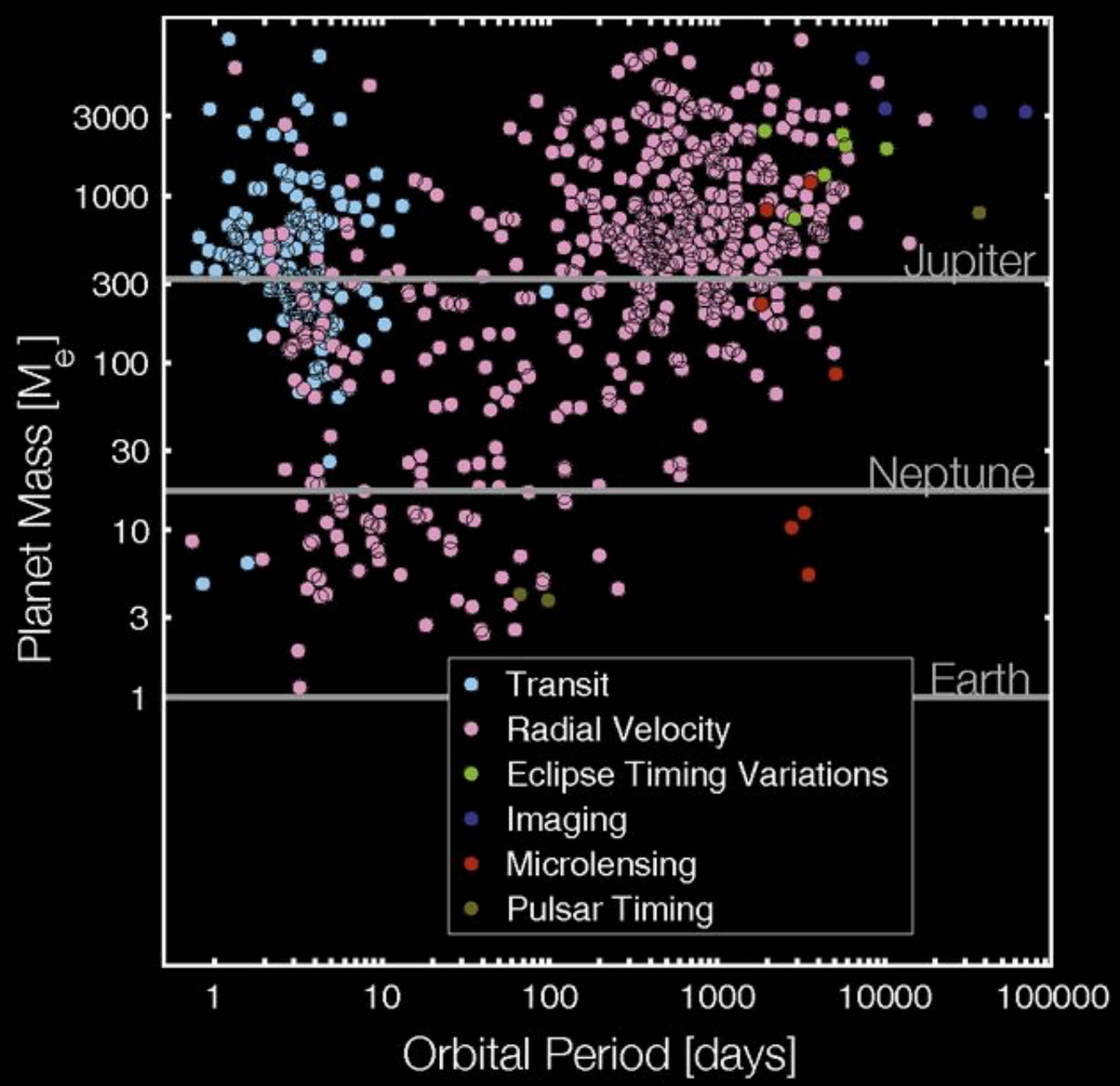
2.3 Resultados

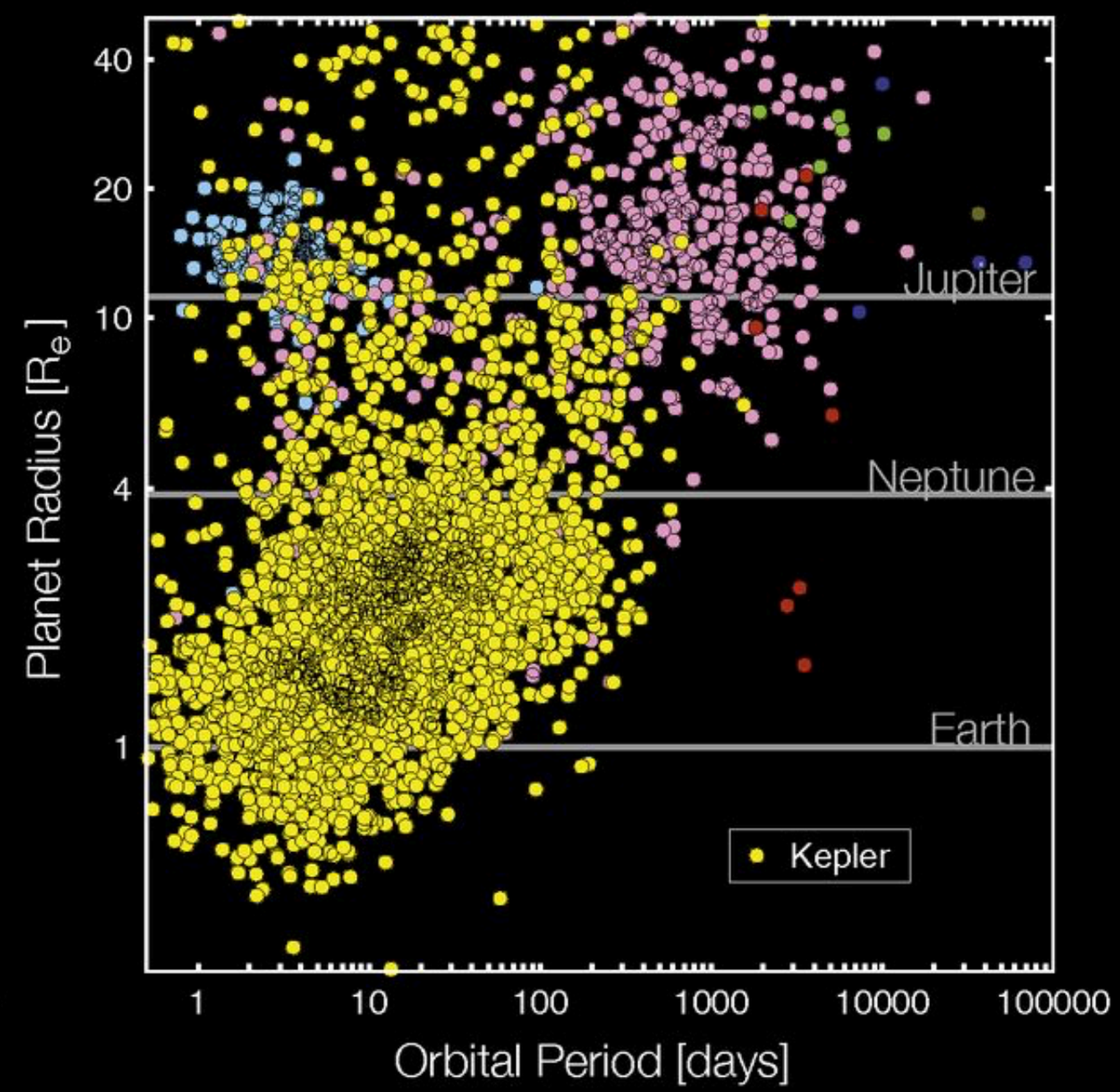


NASA, Enero de 2021

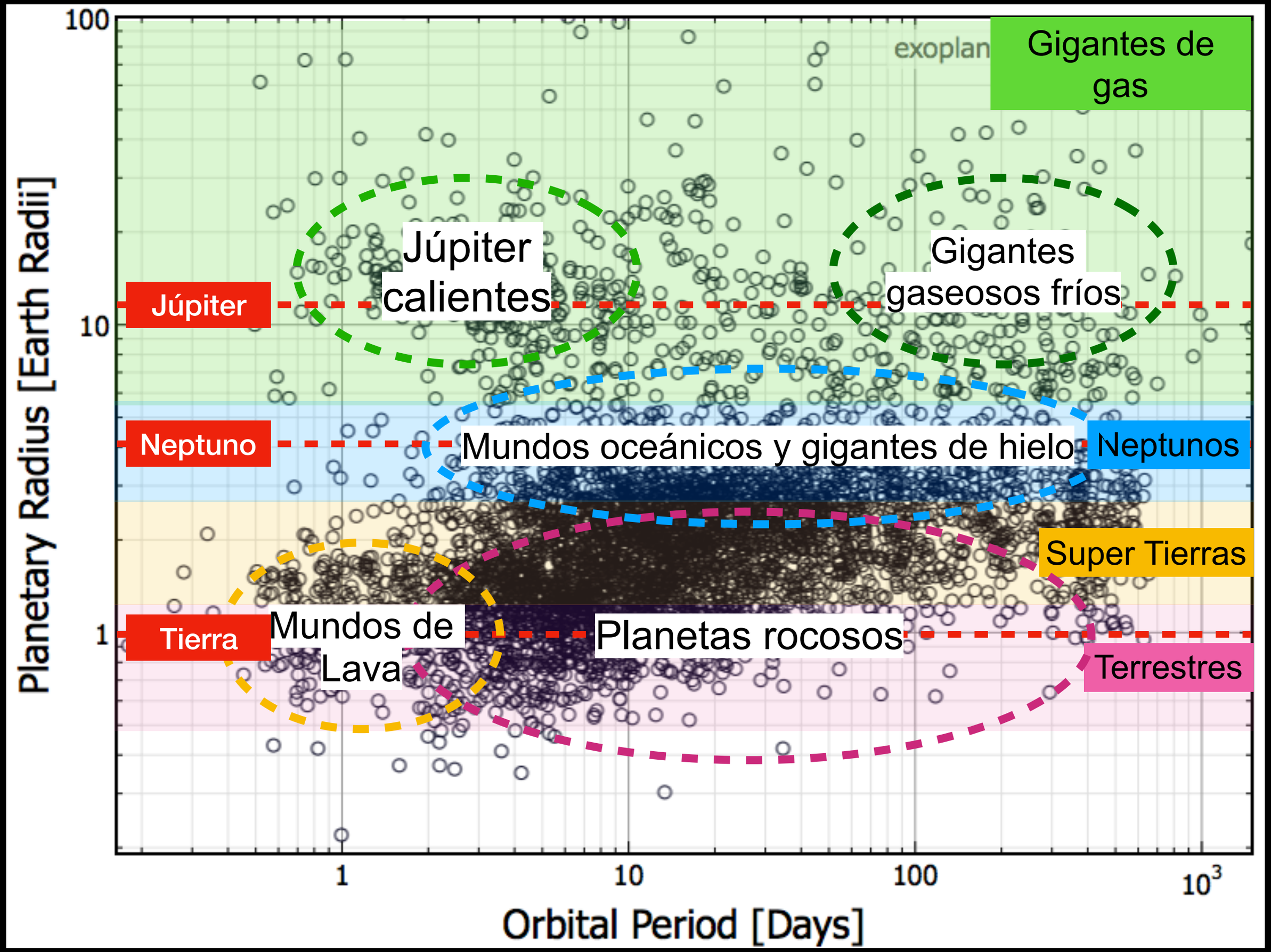
https://exoplanets.nasa.gov/eyes-on-exoplanets/#/

2.3 Resultados

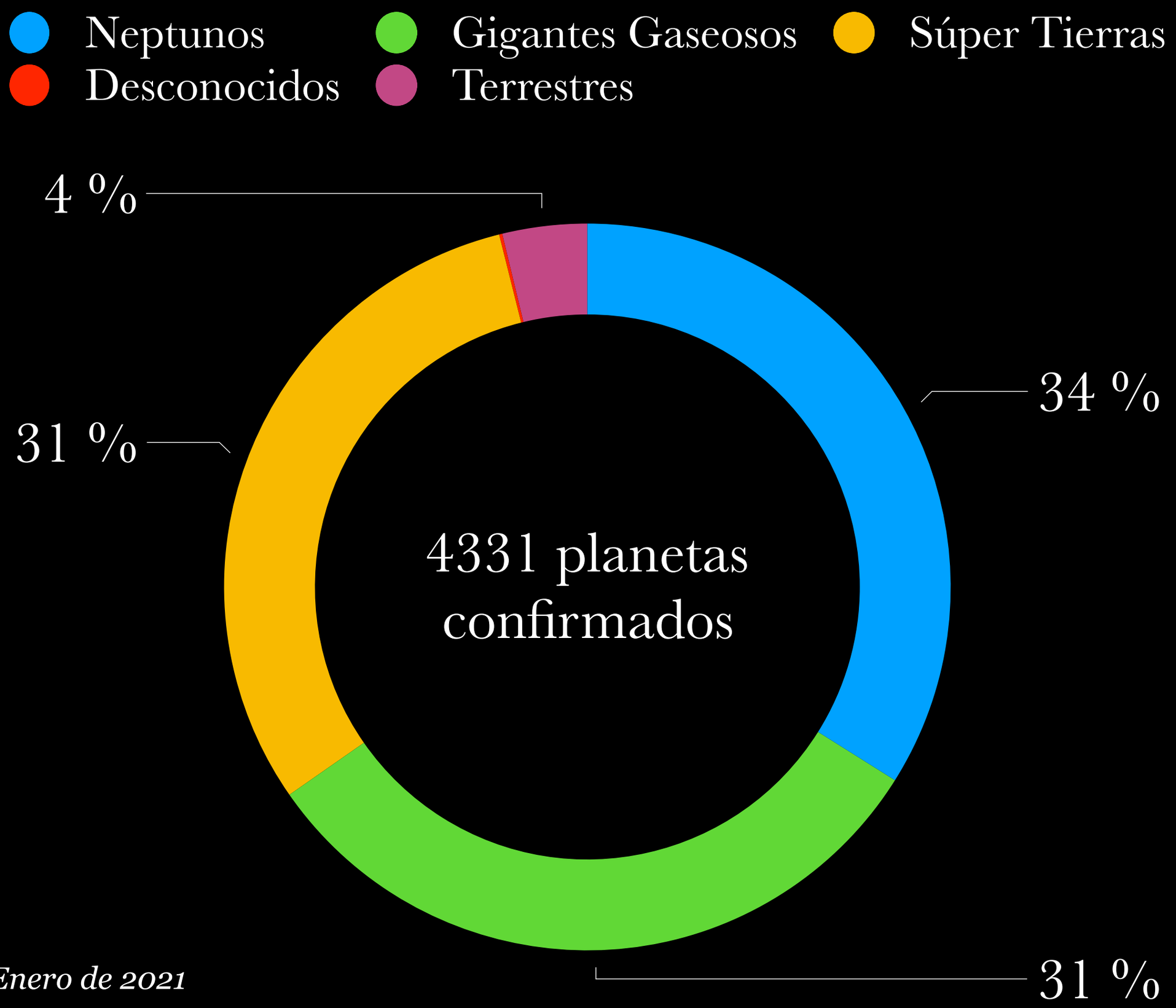




Credit N. Batalha, PNAS 2014


Gigantes de gas
Júpiter calientes
Gigantes gaseosos fríos
Júpiter
Neptuno
Mundos oceánicos y gigantes de hielo
Neptunos
Super Tierras
Tierra
Mundos de Lava
Planetas rocosos
Terrestres
Planetary Radius [Earth Radii]
Orbital Period [Days]
100
10
1
1
10
100
10^3

2.3 Resultados



NASA, Enero de 2021

2.3 Resultados

4331 exoplanetas confirmados

3319 exoplanetas transitantes

3294 descubiertos con el método de los tránsitos

3209 sistemas planetarios

5708 candidatos (NASA)

Cada estrella por lo menos tiene 1 planeta

NASA, Enero de 2021

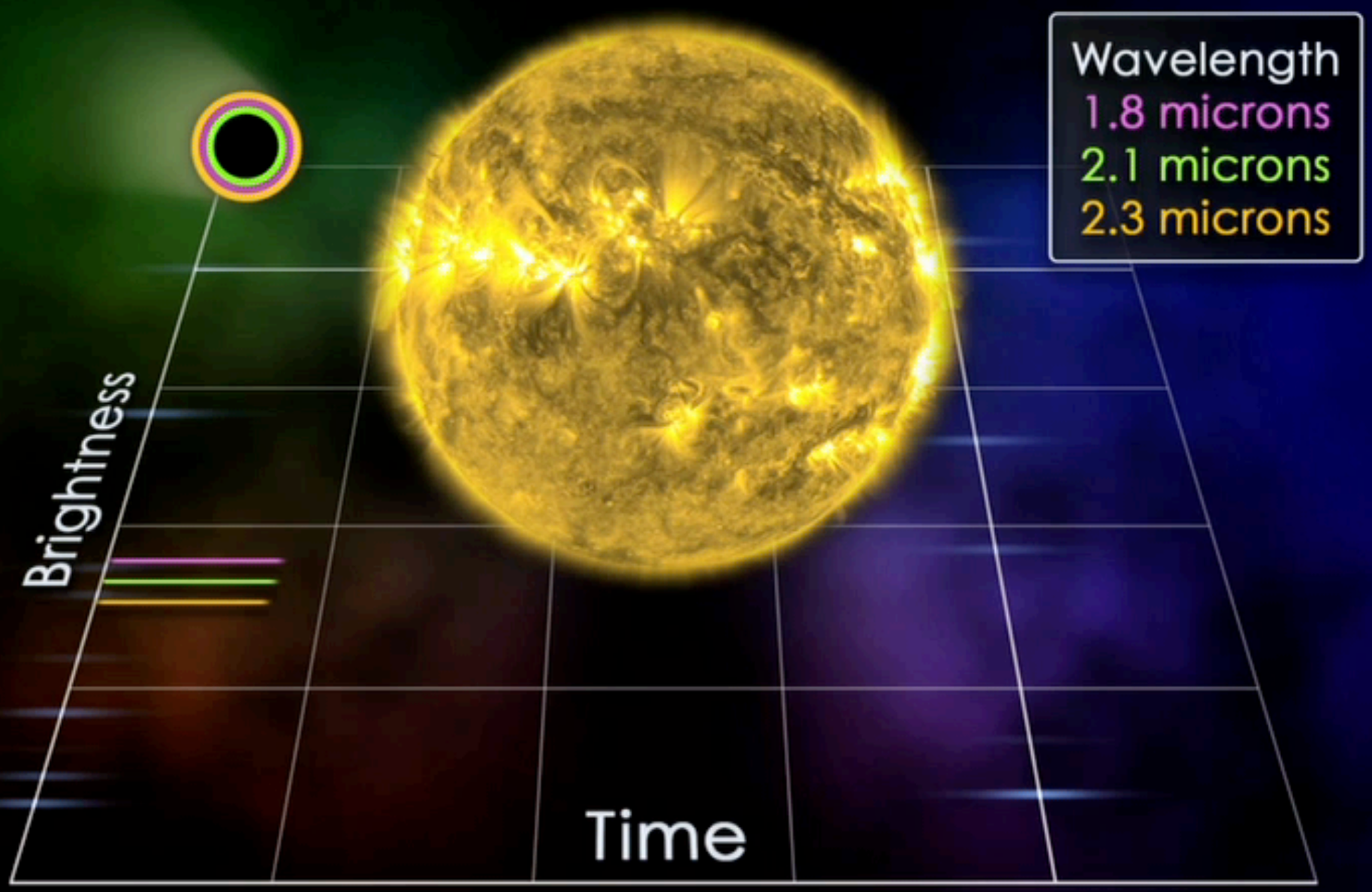
Credit:Caltech

3. Caracterización de atmósferas

Credit: NASA

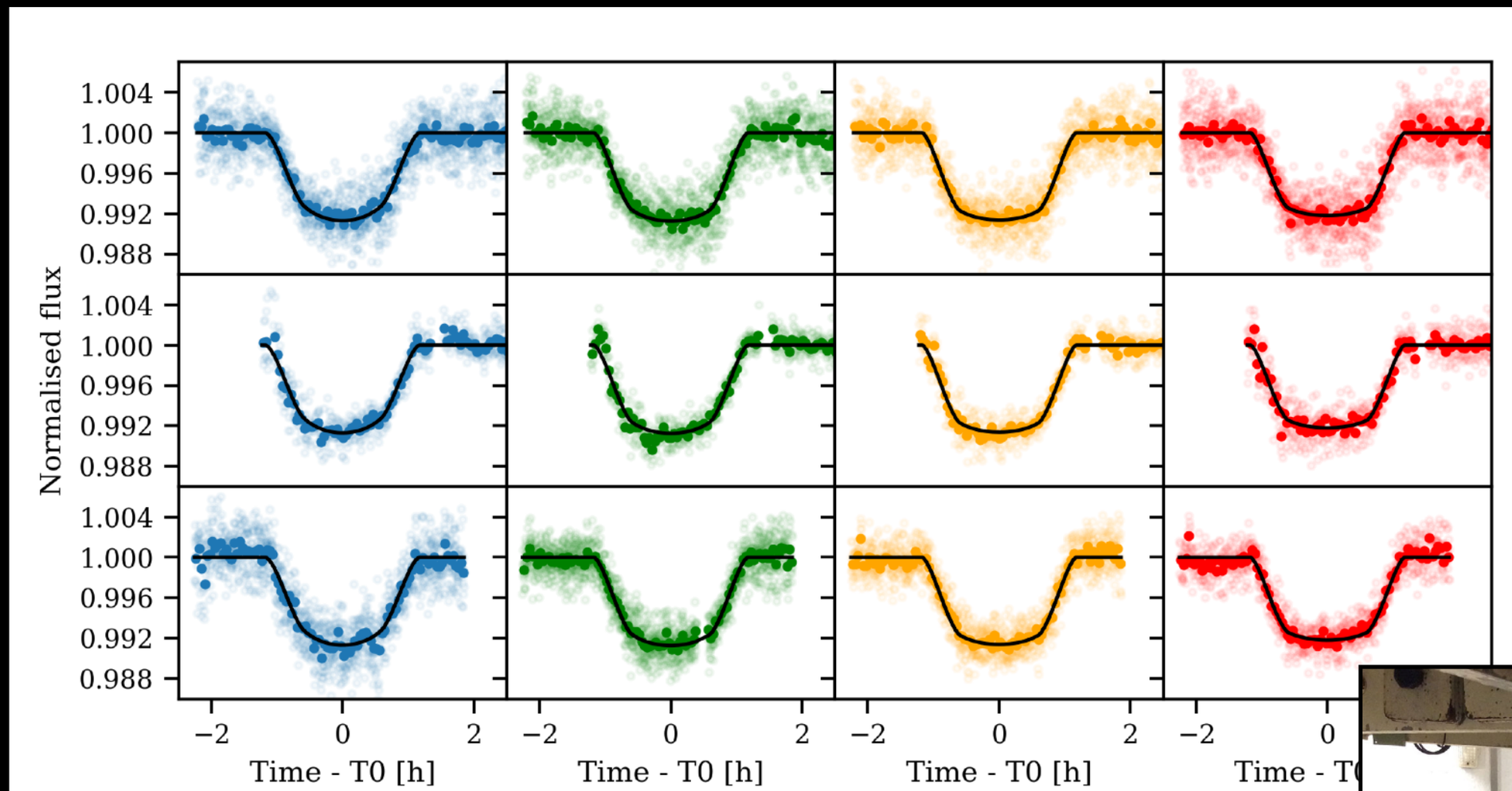
3. Caracterización de atmósferas

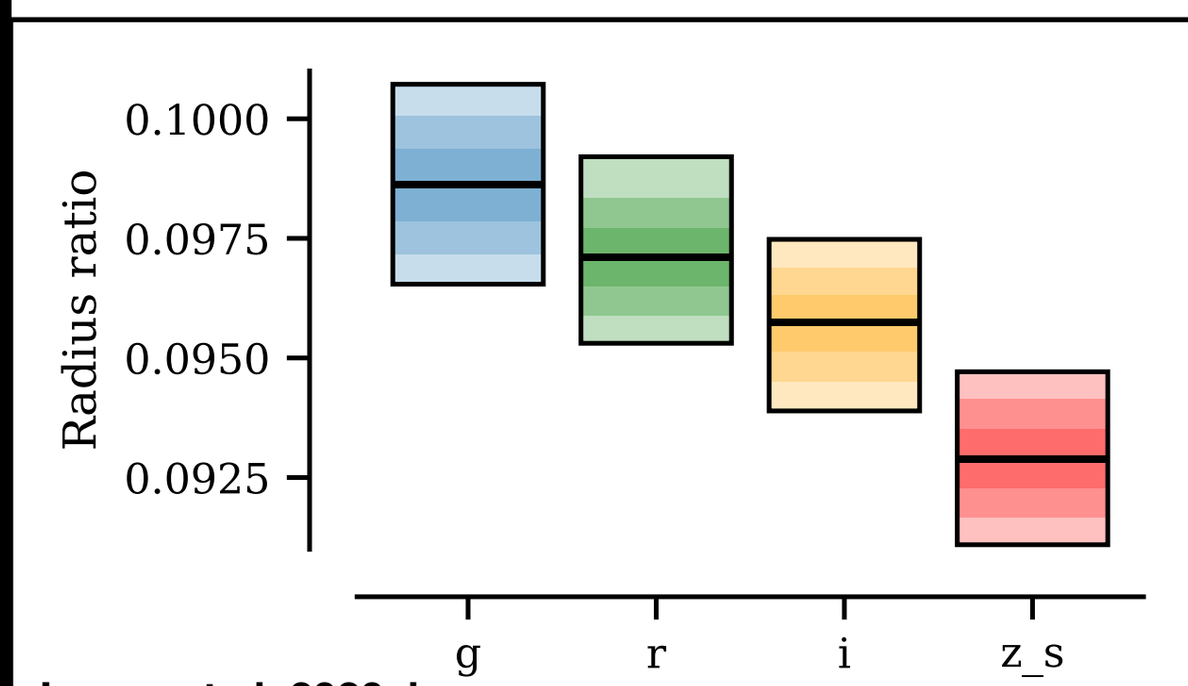
Fotometría (imagen) en colores



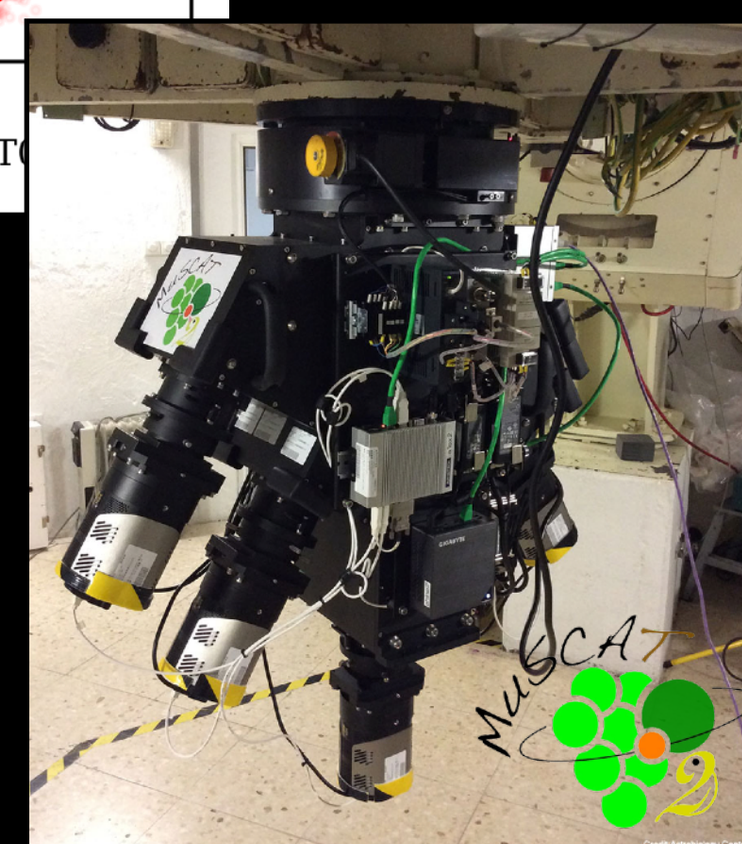
Credit: NASA

3. Caracterización de atmósferas

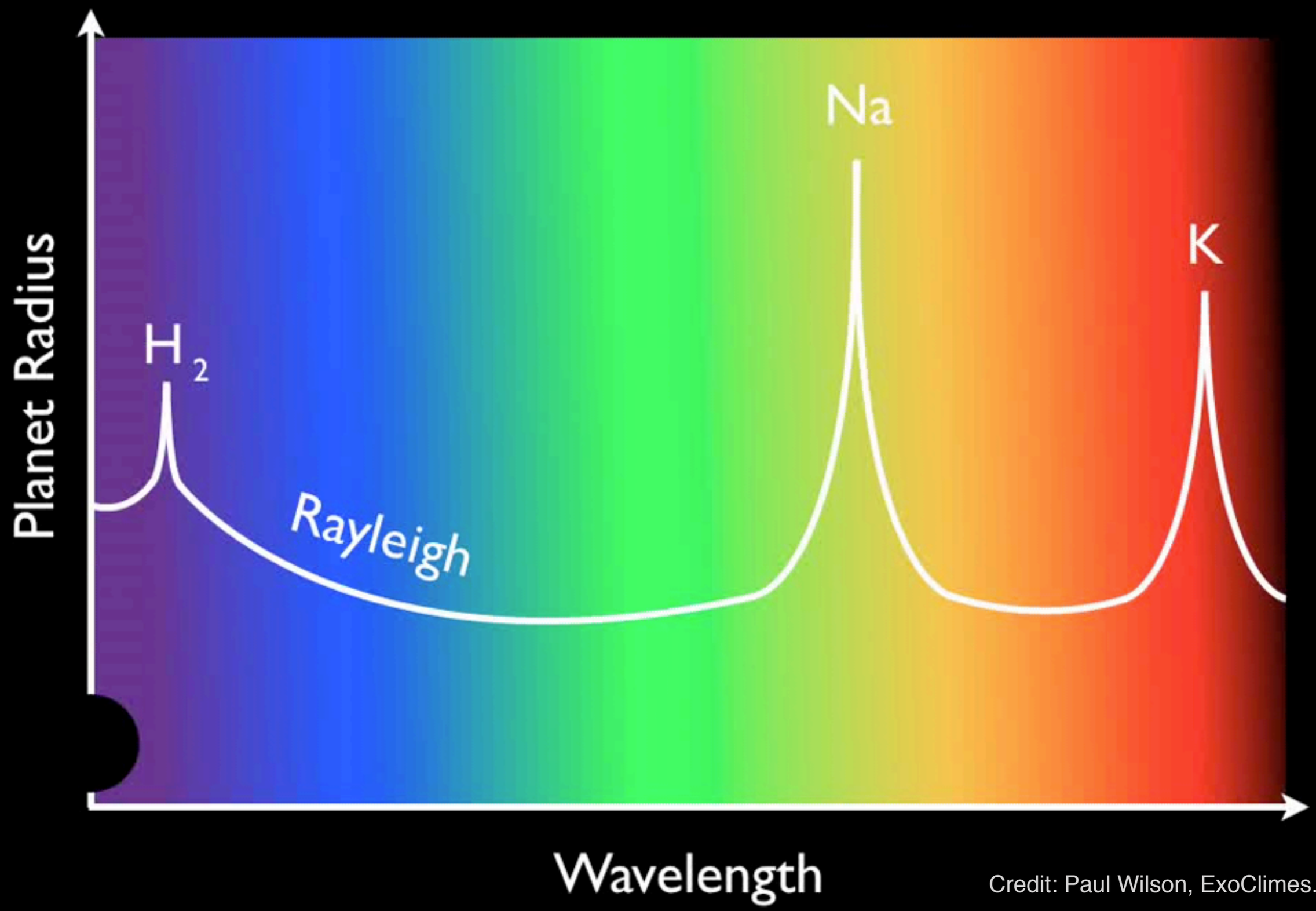




Luque et al. 2020, in prep.



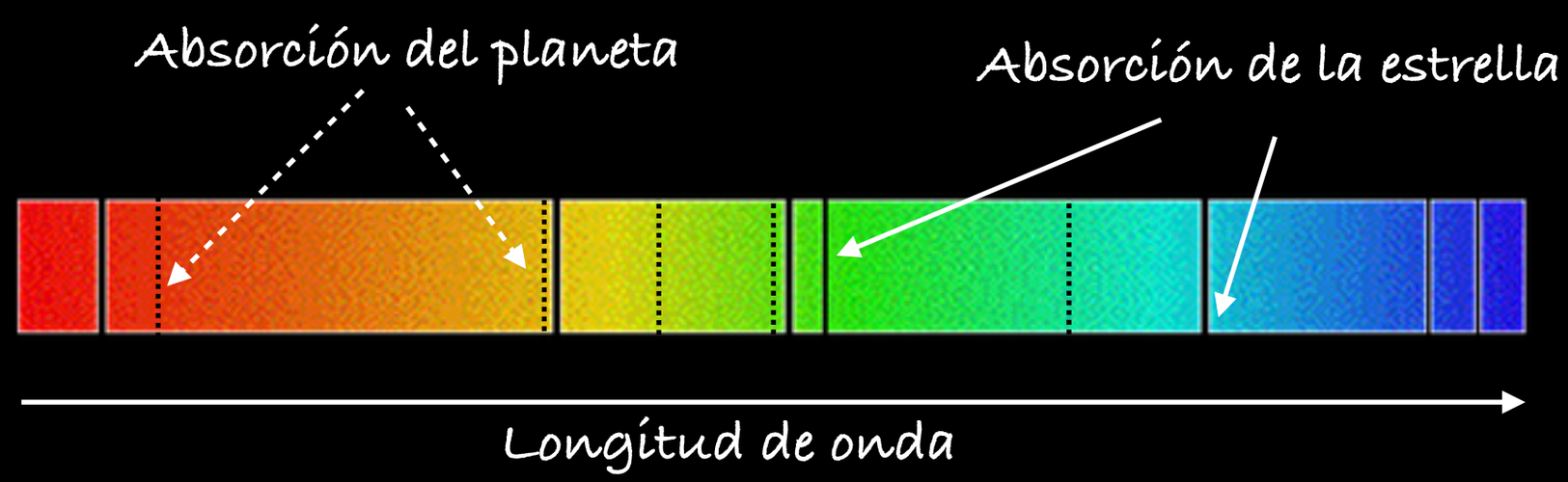
4. Caracterización de atmósferas



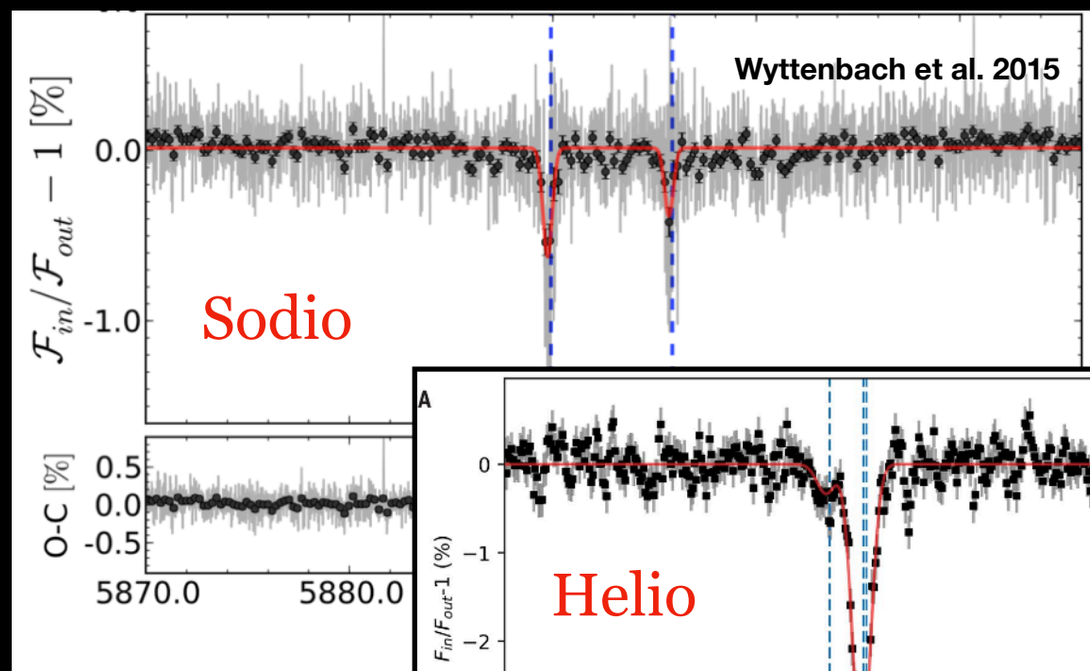
Credit: Paul Wilson, ExoClimes.com

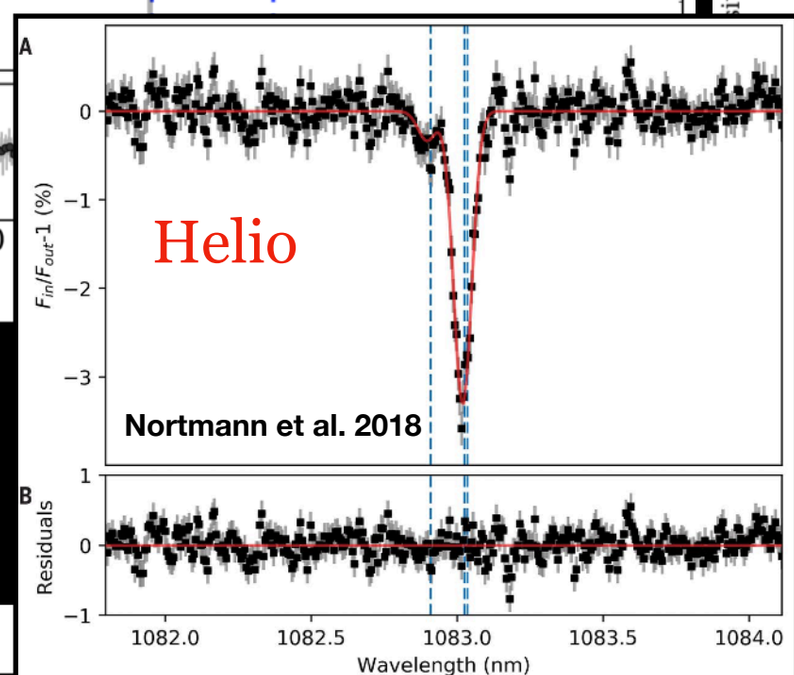
3. Caracterización de atmósferas

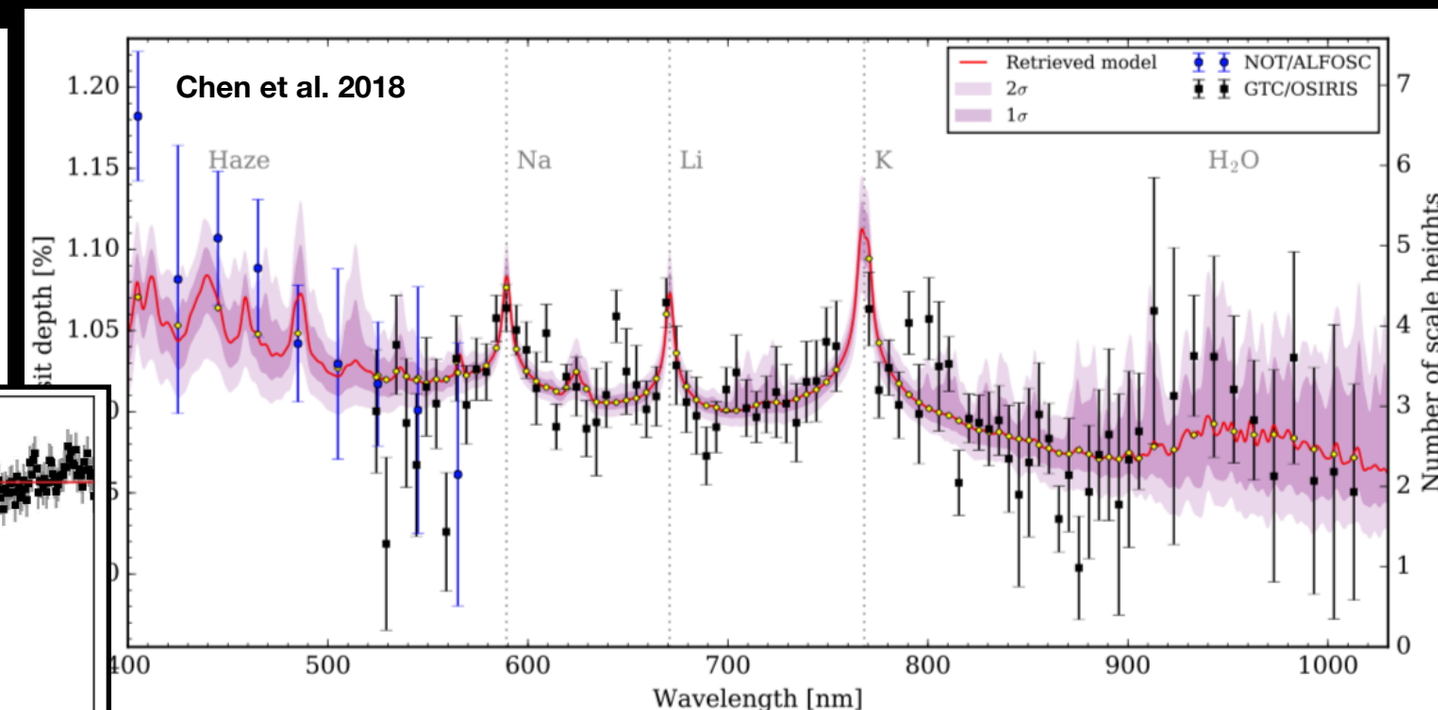
Espectroscopía de transmisión

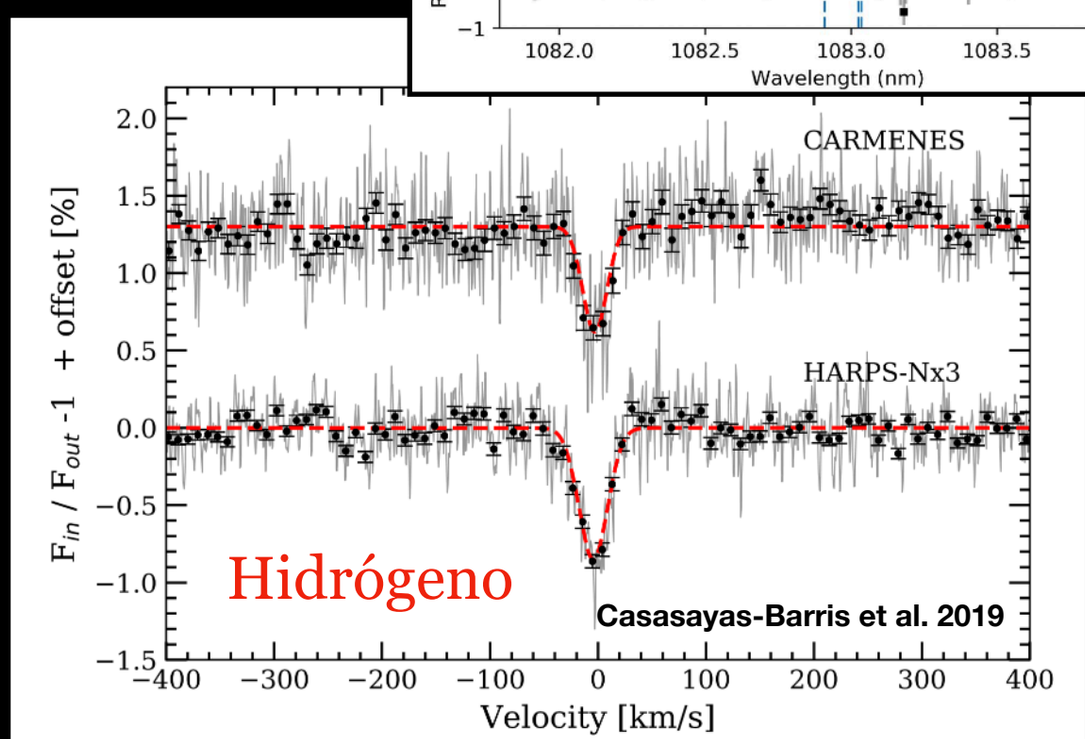


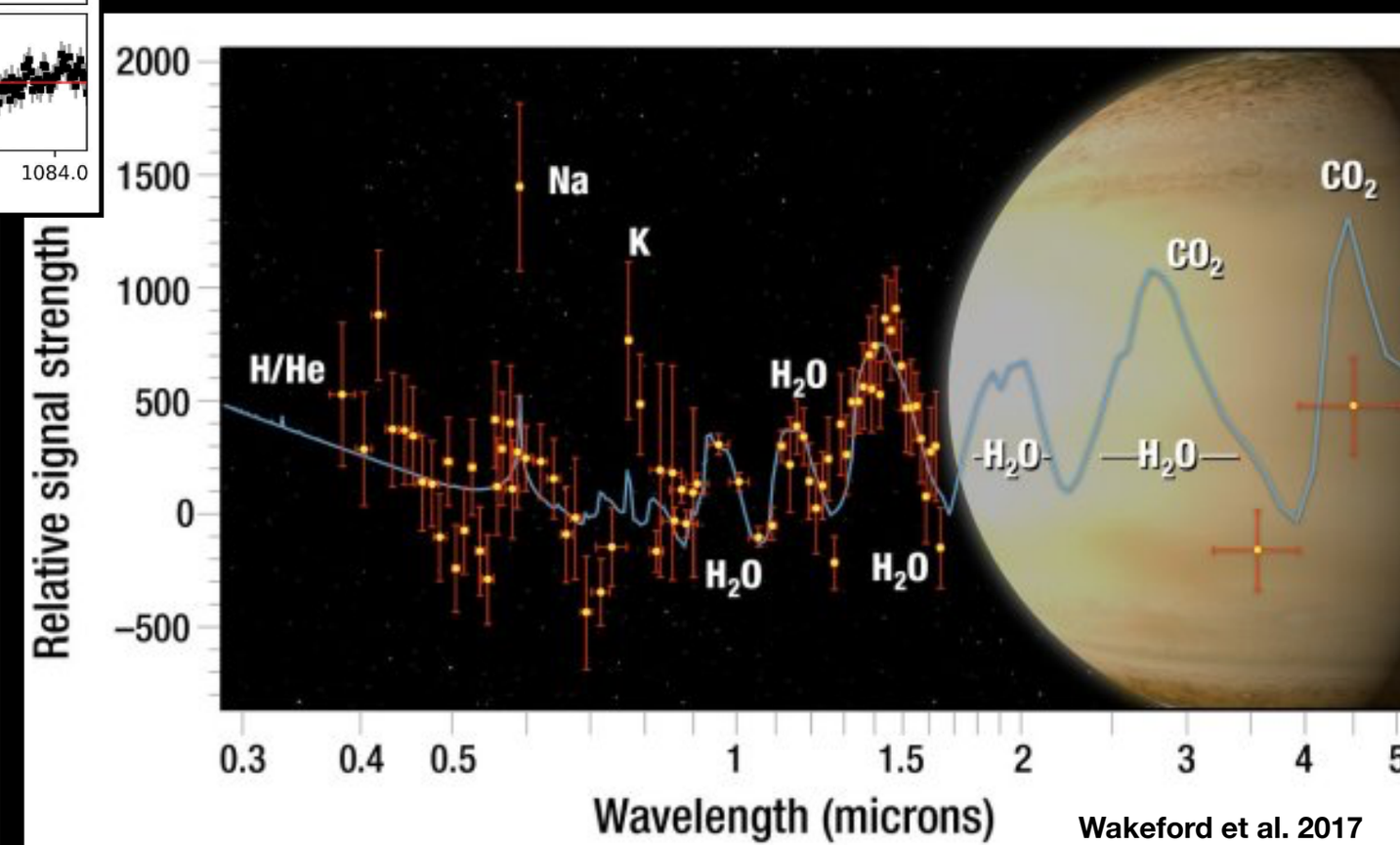
3. Caracterización de atmósferas





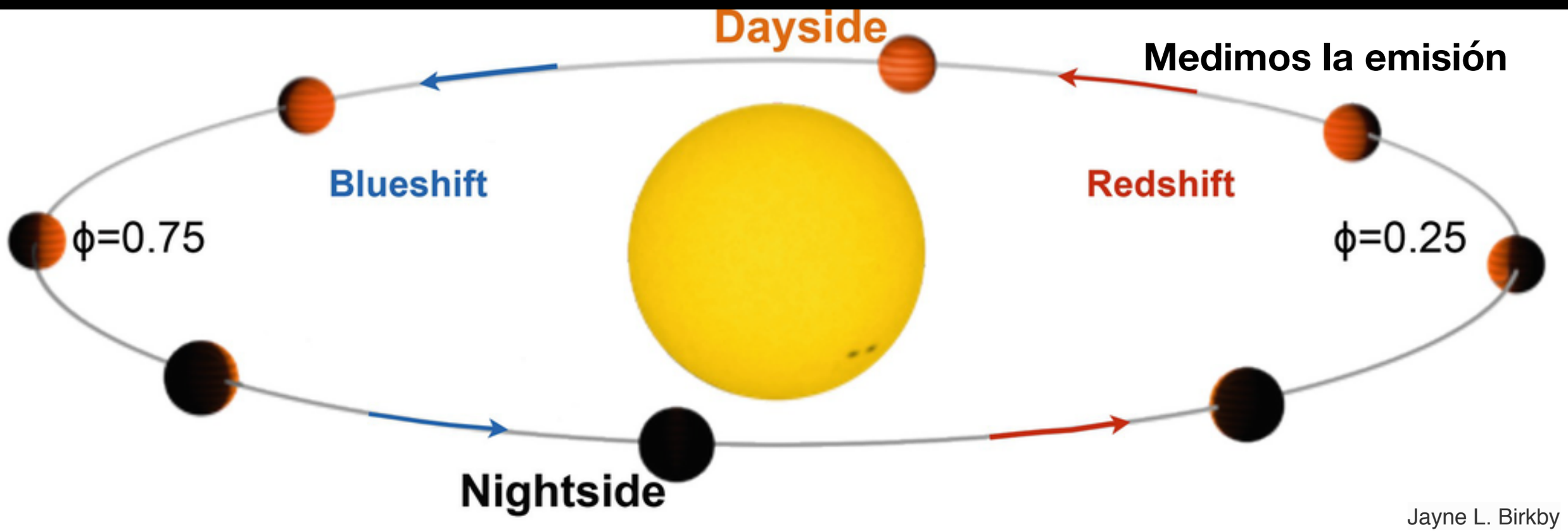






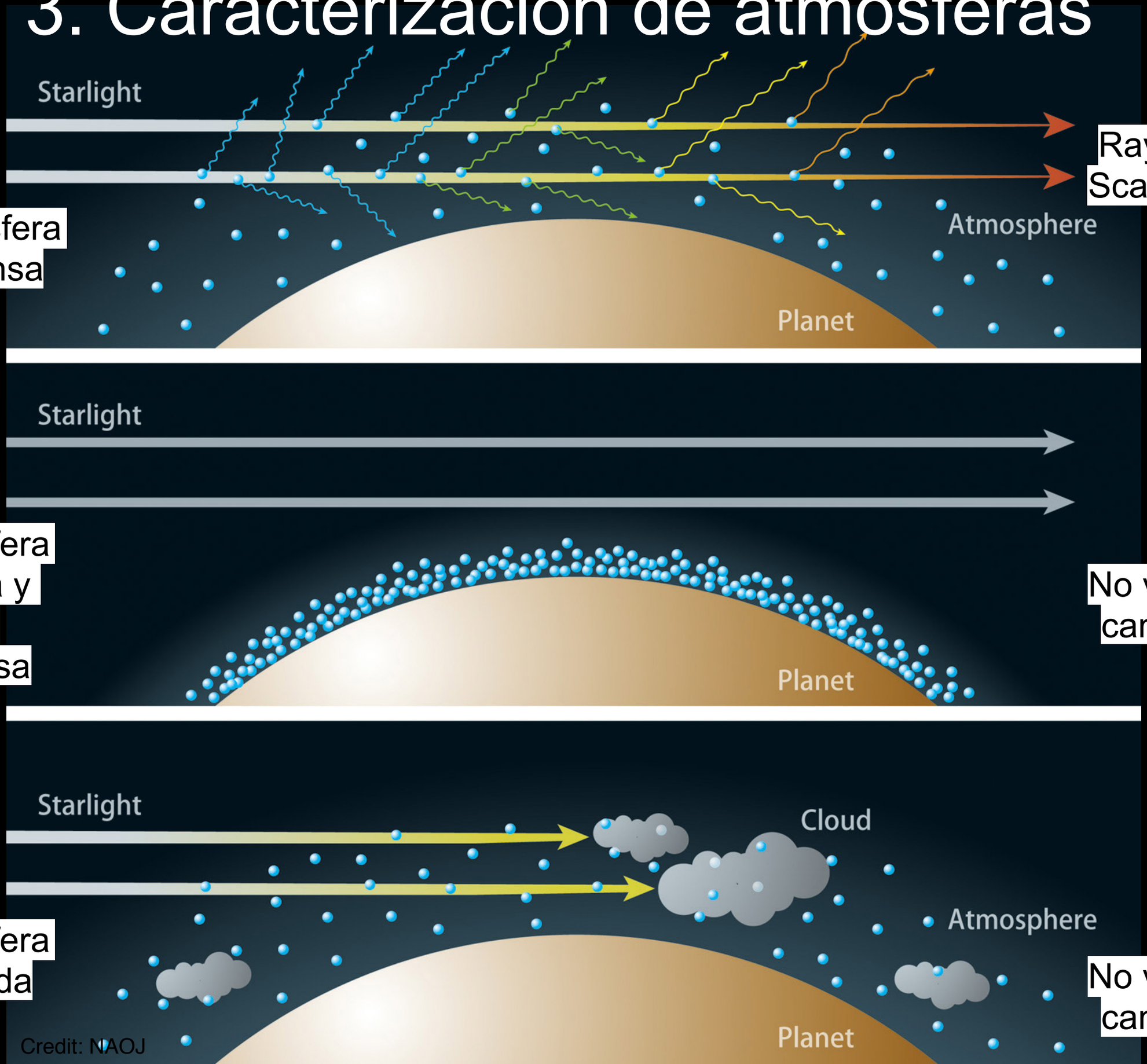
3. Caracterización de atmósferas

¿Qué pasa con los planetas que no transitan?



Jayne L. Birkby

3. Caracterización de atmósferas



Credit: NAOJ

3. Caracterización de atmósferas

Tierra: en ~11km se acumulan 3/4 partes del peso de la atmósfera

Júpiter caliente: ~190km

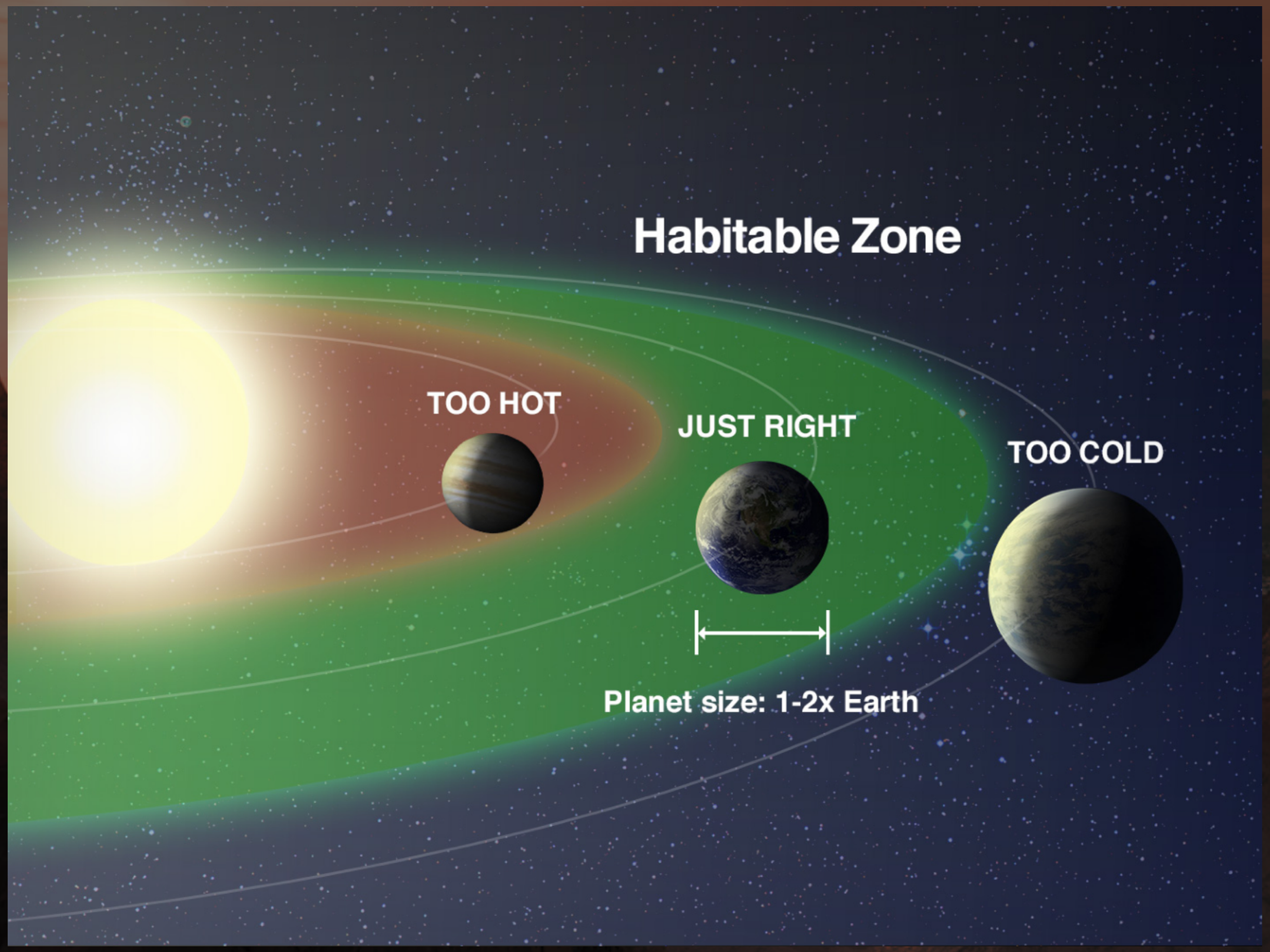
Cantidad de fotones estelares que pasan a través de su atmósfera

Caracterizar planetas tipo Tierra, con una atmósfera tan débil, es mucho más difícil…

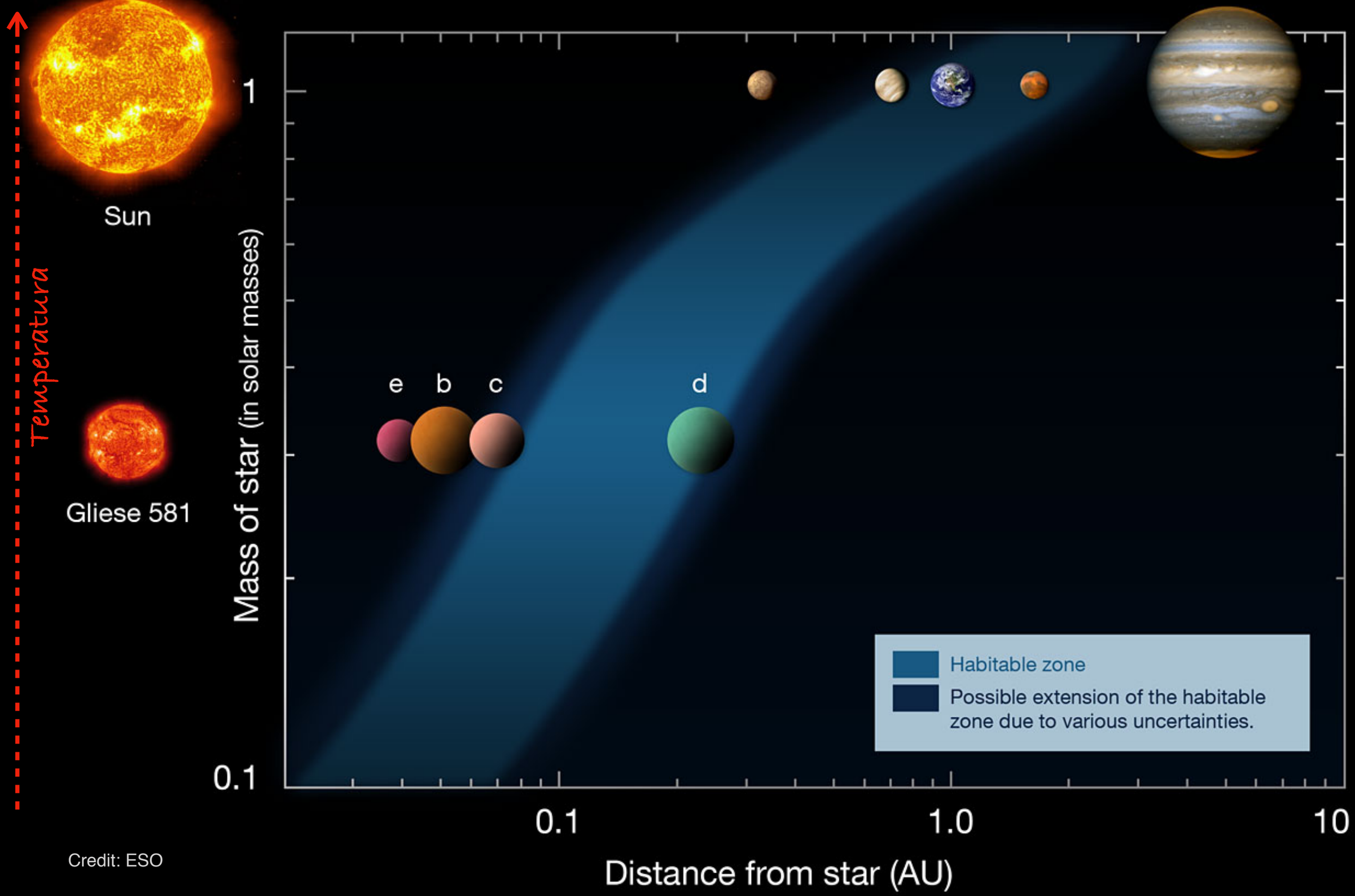
4.Planetas habitables

4.Planetas habitables

Zona de habitabilidad: área entorno a una estrella donde no es ni demasiado caliente ni demasiado frío para que exista agua líquida en la superficie de un planeta.

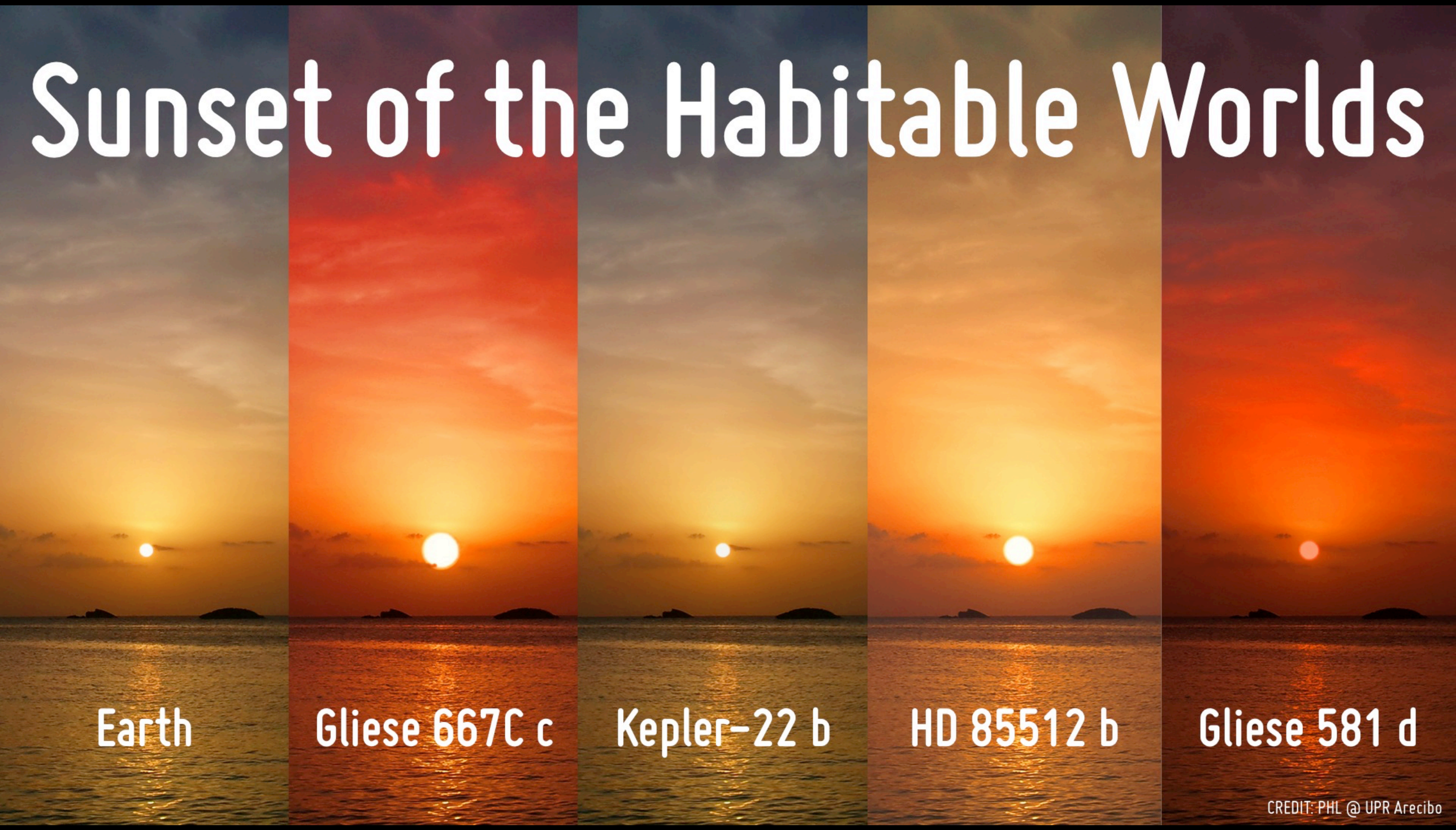


4.Planetas habitables



Credit: ESO

4.Planetas habitables



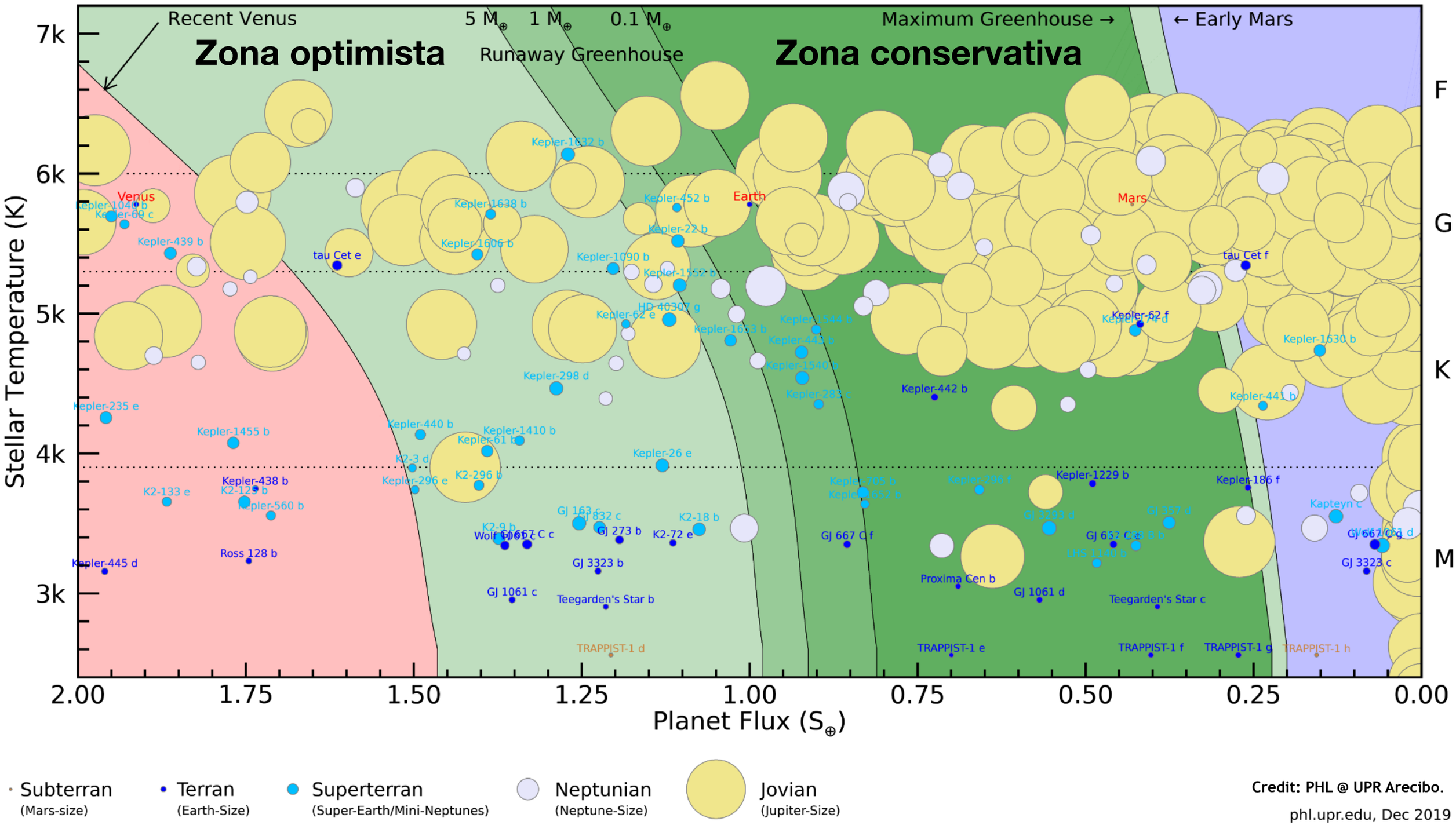
4.Planetas habitables

¿Qué hace que un mundo sea habitable?

- Distancia a la estrella
- Estrella de larga vida y estable
- Luminosidad de la estrella
- Efecto invernadero
- Rotación del planeta
- Propiedades atmosféricas: circulación de gases
- Planeta en orbita estable (excentricidad)

Habitable ≠ Habitado

4.Planetas habitables



4.Planetas habitables

Planetas potencialmente habitables

Planetas en la zona de habitabilidad y además tipo terrestre (tipo Tierra)

Current Number of Potentially Habitable Exoplanets

Subterran (Mars-size)	Terran (Earth-size)	Superterran (Super-Earths or Mini-Neptunes)	Total
1	23	36	60

subterran = 0.1 – 0.5 M_E or 0.4 – 0.8 R_E, **terran** = 0.5 – 5 M_E or 0.8 – 1.5 R_E, **superterran** = 5 – 10 M_E or 1.5 – 2.5 R_E. M_E = Earth masses, and R_E = Earth radii.

Credit: PHL @ UPR Arecibo.

4.Planetas habitables

Planetas potencialmente habitables

Planetas en la zona de habitabilidad y además tipo terrestre (tipo Tierra)

Current Number of Potentially Habi			Total
Subterran (Mars-size)	Terran (Earth-size)	Nept	
1			60

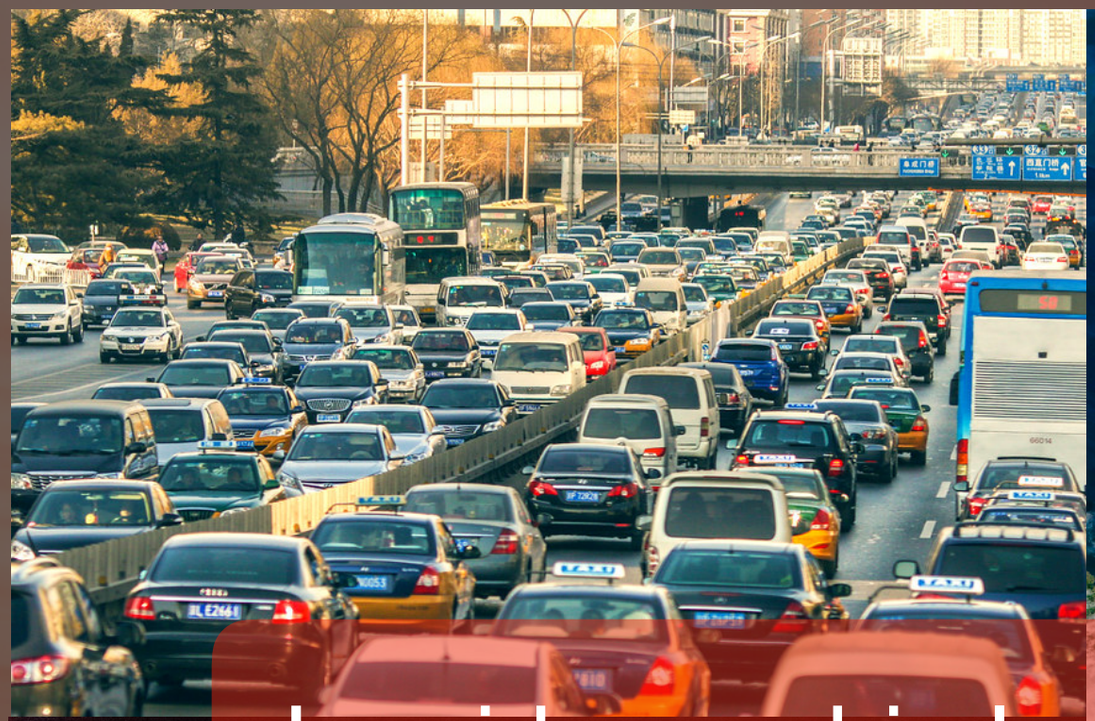
subterran = 0 … 5 M_E … 2.5 R_E. M_E = Earth masses, and R_E = Earth radii.

Credit: PHL @ UPR Arecibo.

¿Cómo podemos saber si está habitado?

Estudiando su atmósfera

4.Planetas habitables

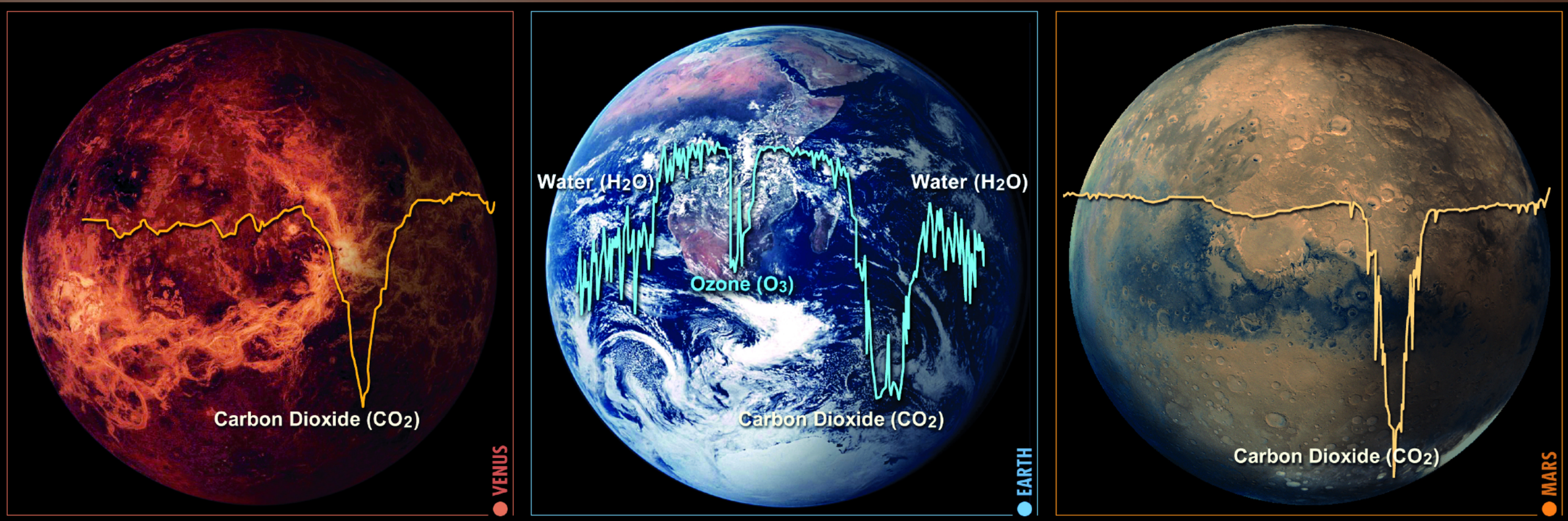


La vida cambia la atmósfera de un planeta

4.Planetas habitables

Biomarcadores

Indicadores de la biosfera que pueden ser detectados y monitorizaros de forma remota

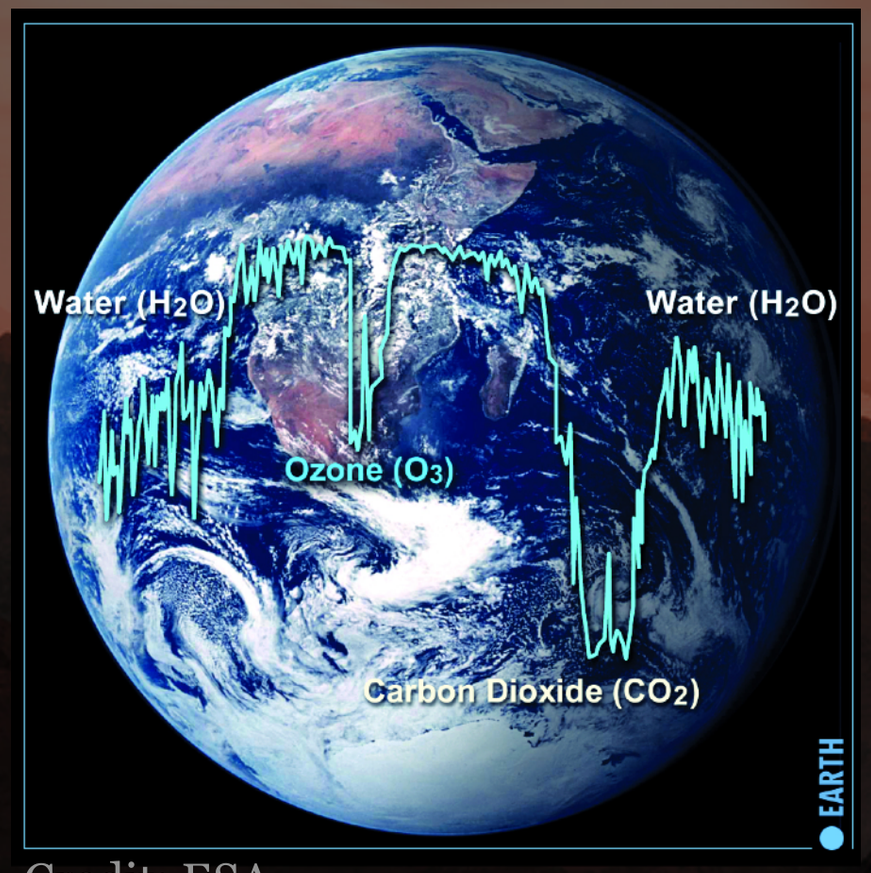


Credit: ESA

4.Planetas habitables

Biomarcadores

Indicadores de la biosfera que pueden ser detectados y monitorizaros de forma remota



Credit: ESA

La triple huella

- Agua (H_2O)
- Ozono (O_3)
- Dióxido de Carbono (CO_2)

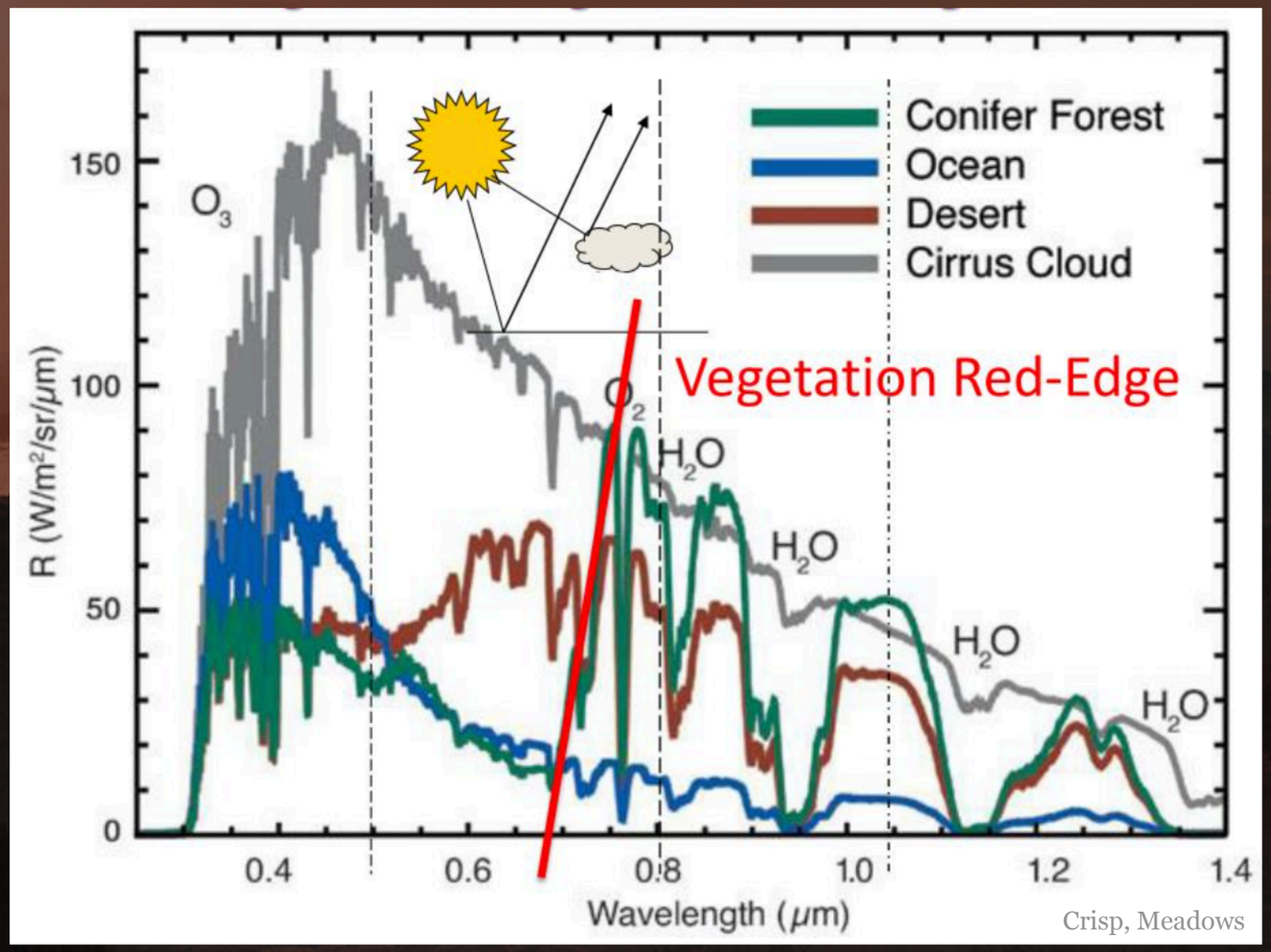
¡No pueden co-existir sin la presencia de vida!

4.Planetas habitables

Pero encontrar la triple huella en un exoplaneta, pero no nos asegura que haya vida compleja…

Red edge

Emisión de la vegetación entorno a 0.7μm
Indicador de vida compleja.



Crisp, Meadows

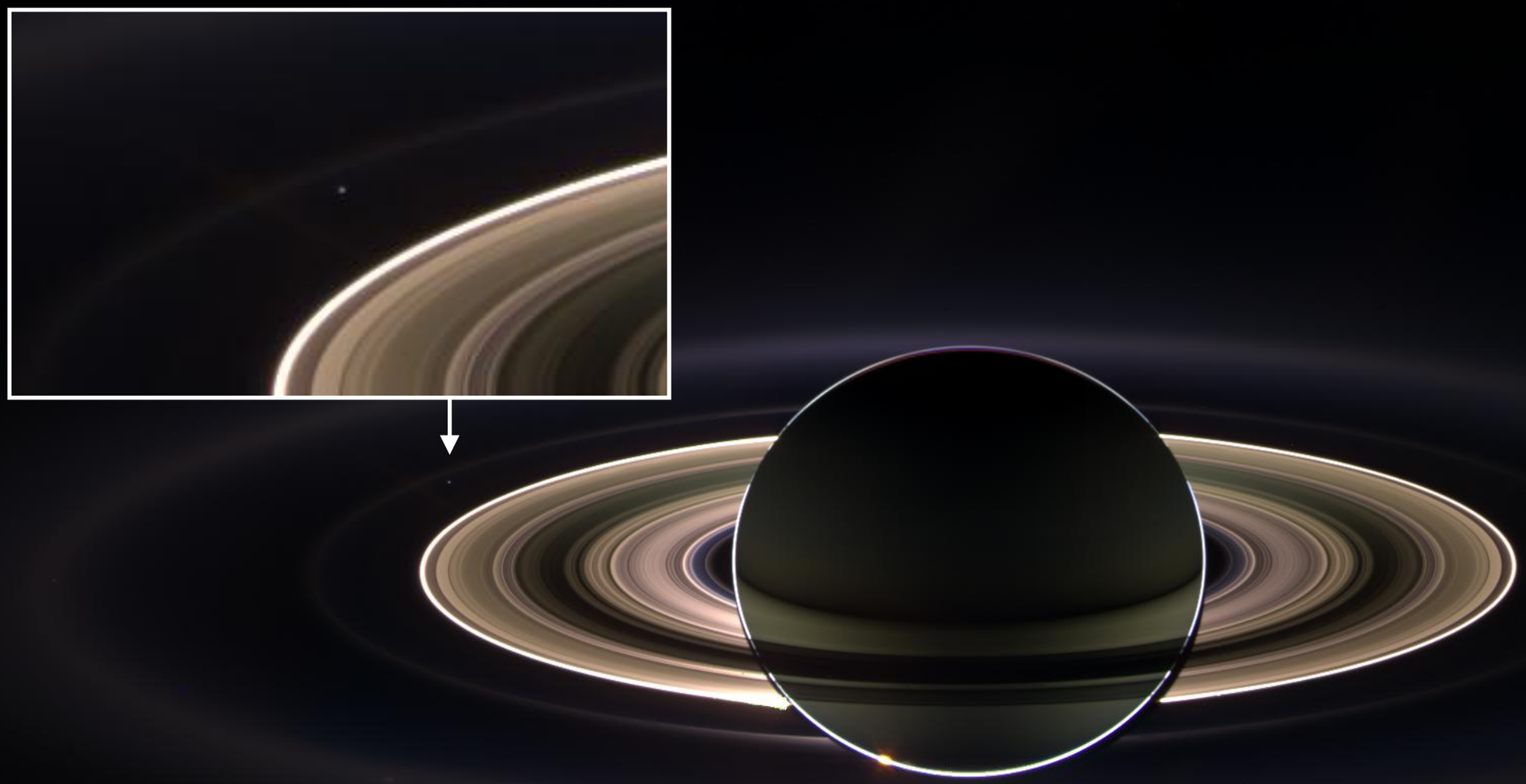
4.Planetas habitables

Pero encontrar la triple huella en un exoplaneta, pero no nos asegura que haya vida compleja…

Red edge

Emisión de la vegetación entorno a 0.7μm
Indicador de vida compleja.

4.Planetas habitables



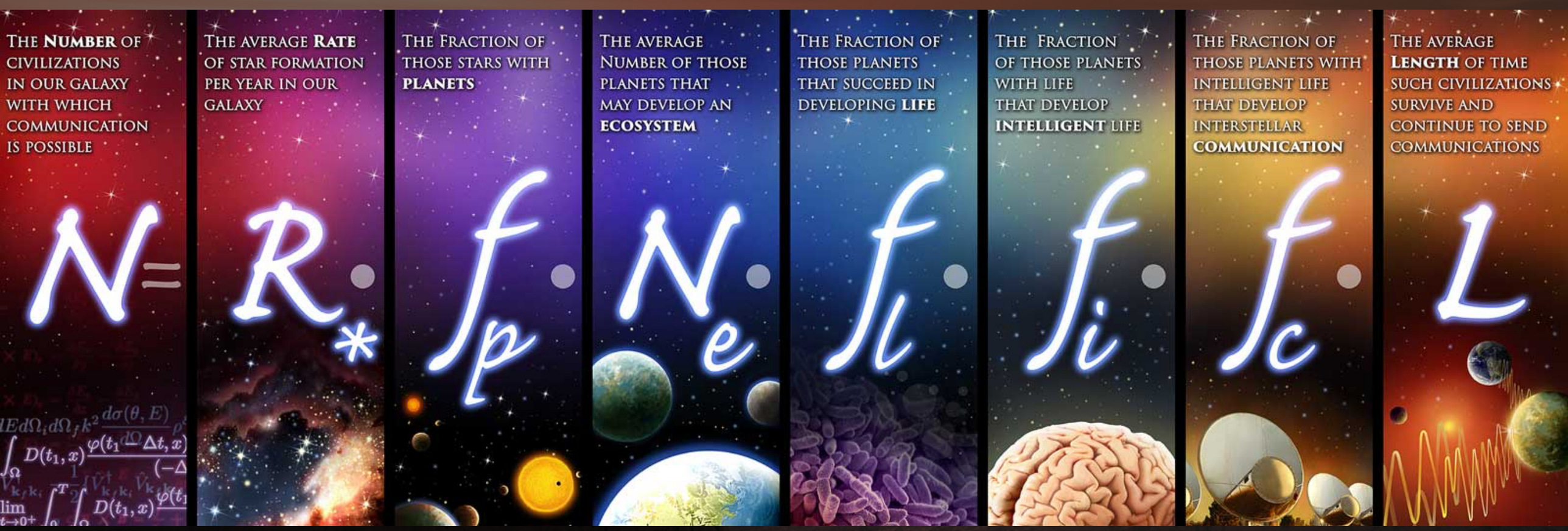
Credit: NASA

4.Planetas habitables

Ecuación de Drake (1961)

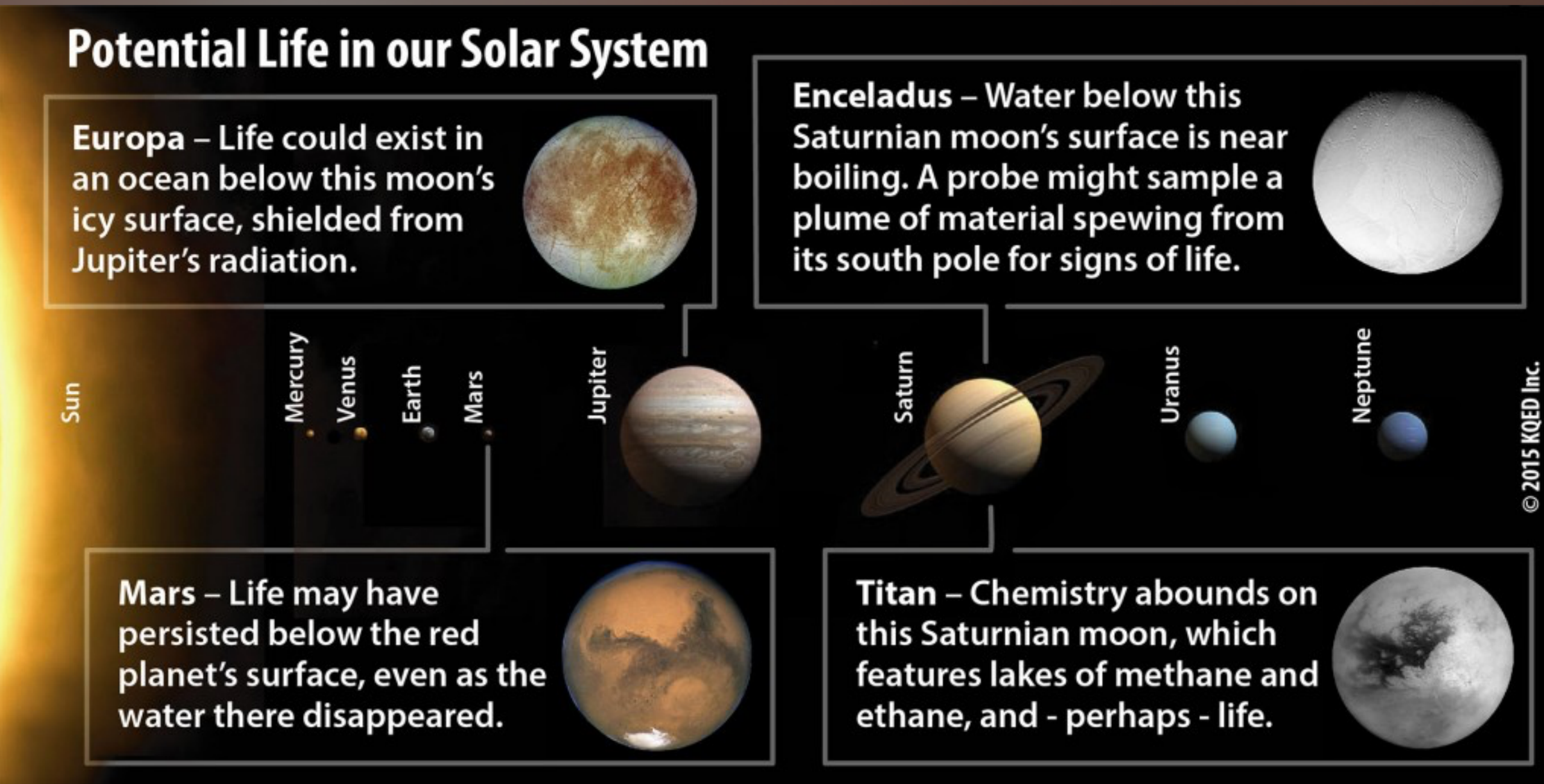
Nos indica la probabilidad de encontrar vida inteligente

$$N = 0.005 - 1200$$



seti.org

4.Planetas habitables



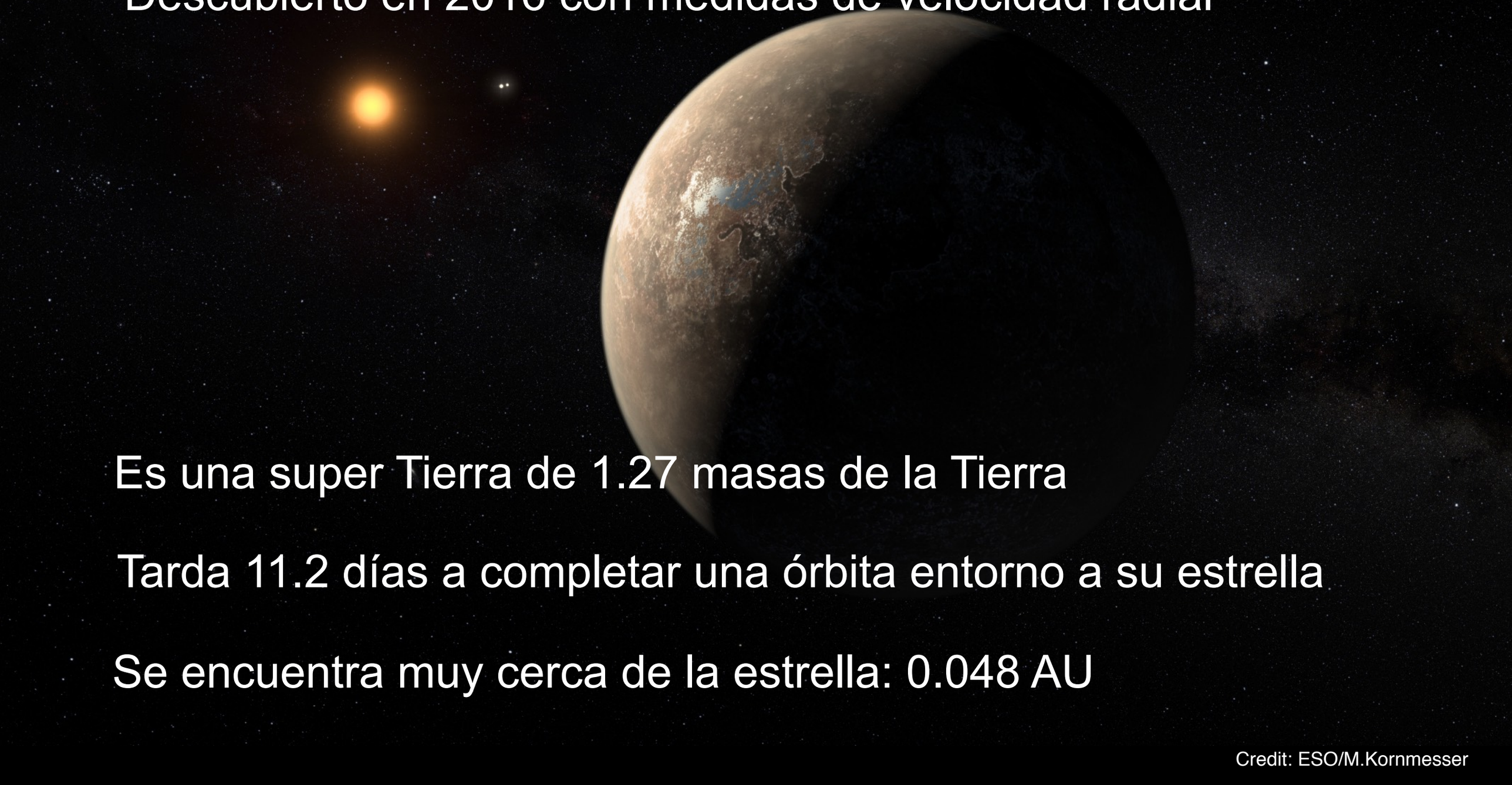
David Pierce/KQED

5.Casos particulares

5.1.Proxima Centauri b

Es el exoplaneta más cercano a la Tierra, a unos 4.25 años luz

Descubierto en 2016 con medidas de velocidad radial



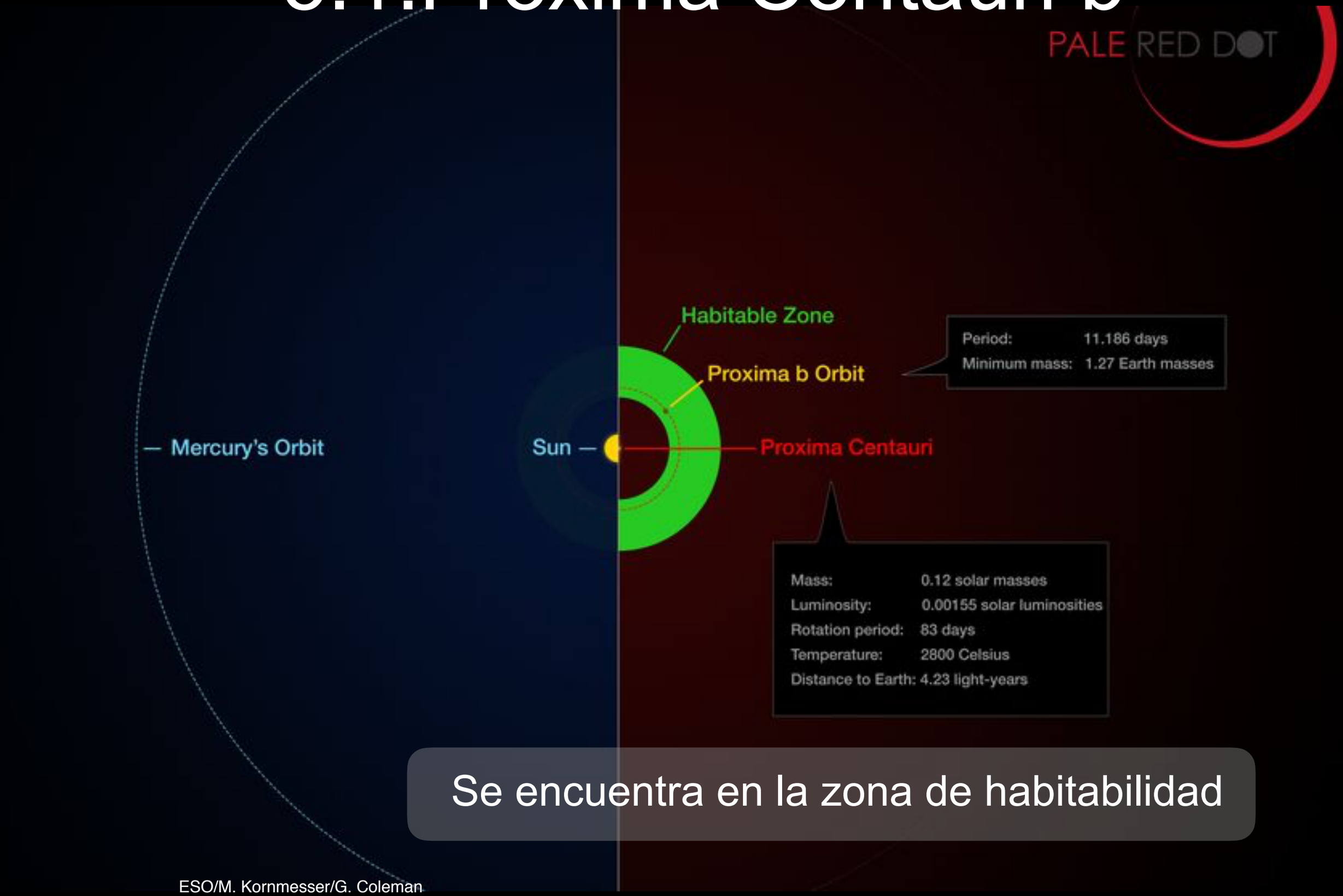
Es una super Tierra de 1.27 masas de la Tierra

Tarda 11.2 días a completar una órbita entorno a su estrella

Se encuentra muy cerca de la estrella: 0.048 AU

Credit: ESO/M.Kornmesser

5.1.Proxima Centauri b



Se encuentra en la zona de habitabilidad

ESO/M. Kornmesser/G. Coleman

5.1.Proxima Centauri b

La misión Voyager 1 se mueve a 17.3 km/s

Tardó 37 años a salir del Sistema solar

Tardaría unos 73 000 años en llegar a Próxima Centauri b

Credit: ESO/M. Kornmesser

5.2.TRAPPIST-1

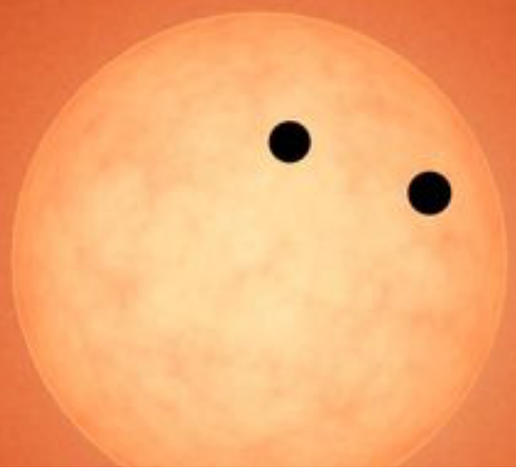
Sistema formado por 7 planetas

3 planetas descubiertos en 2015 y 4 más en 2017

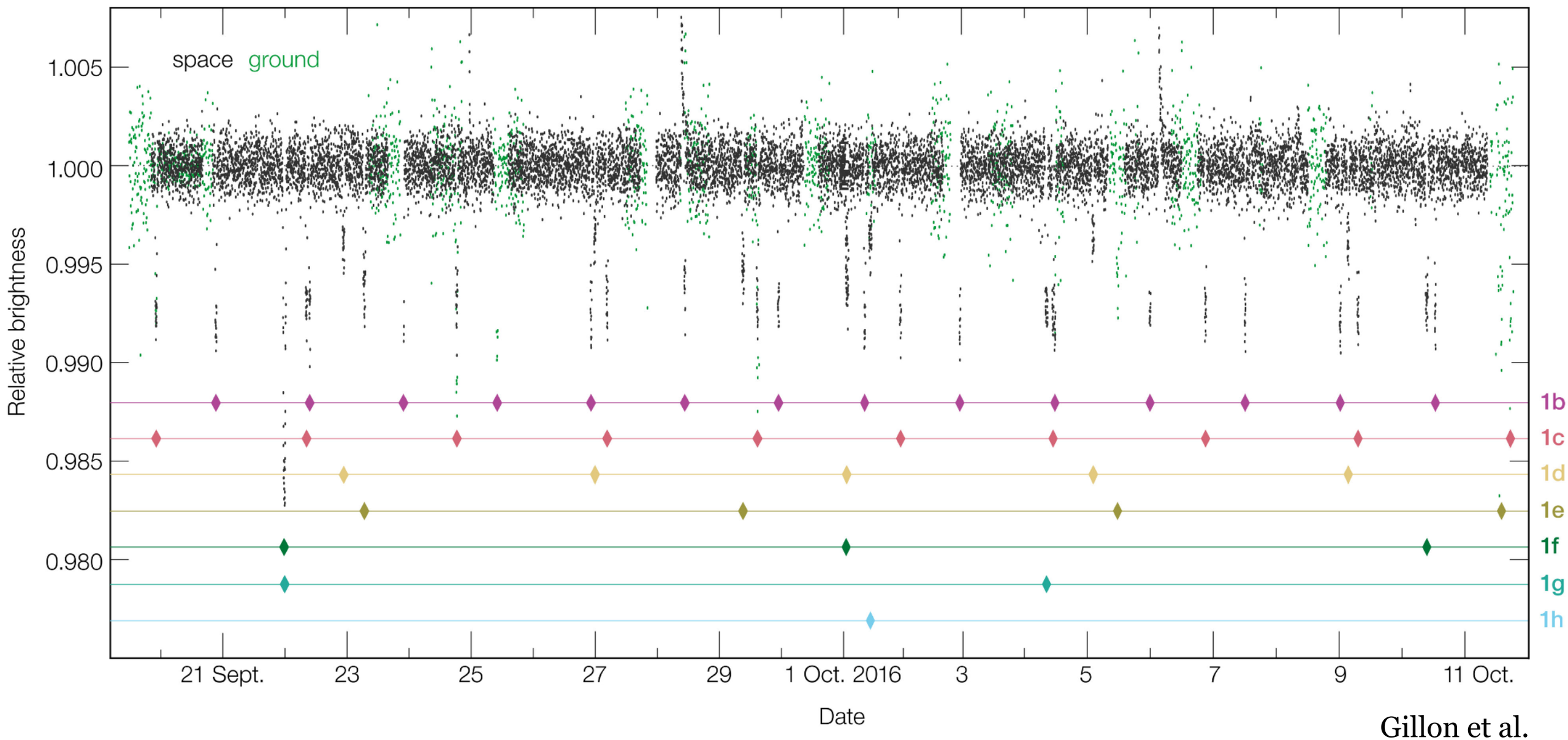
Se encuentra a unos 40 años luz

La estrella tiene el tamaño de Júpiter y solo un 8% de la masa del Sol

5.2.TRAPPIST-1



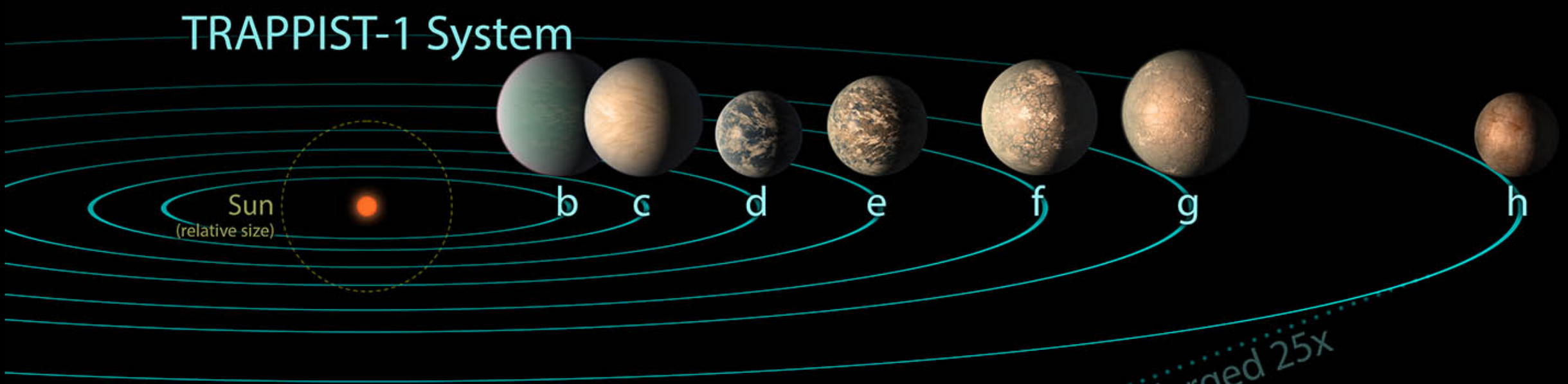
Descubierto por el método de los tránsitos

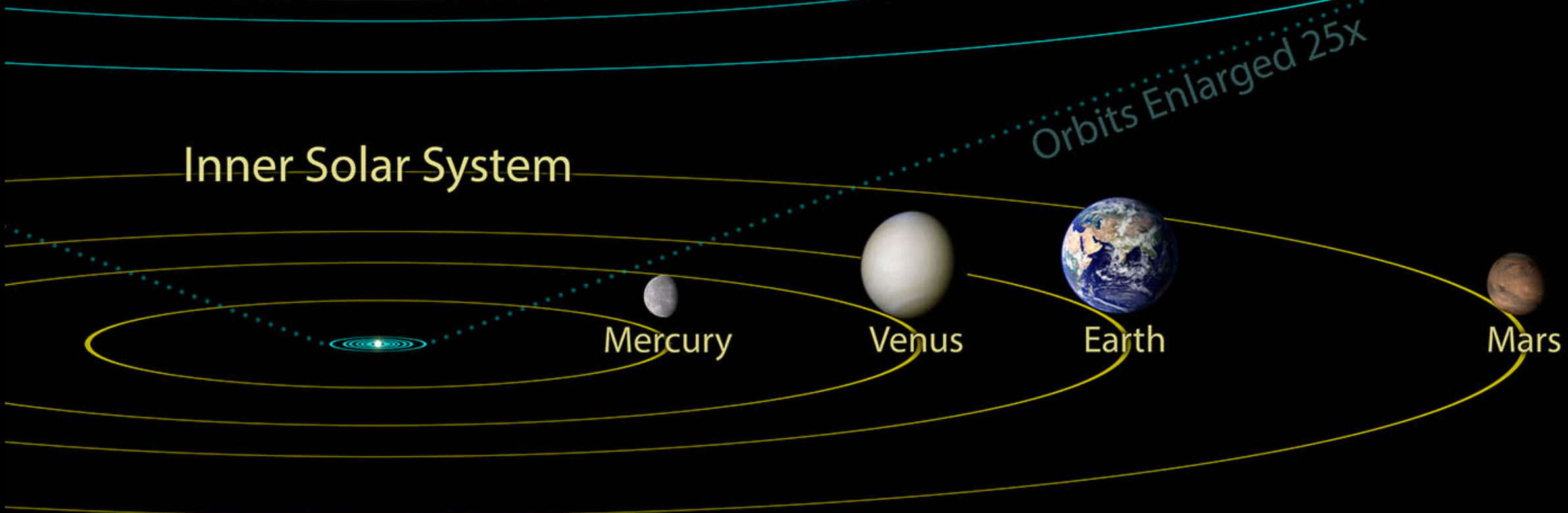


Gillon et al.

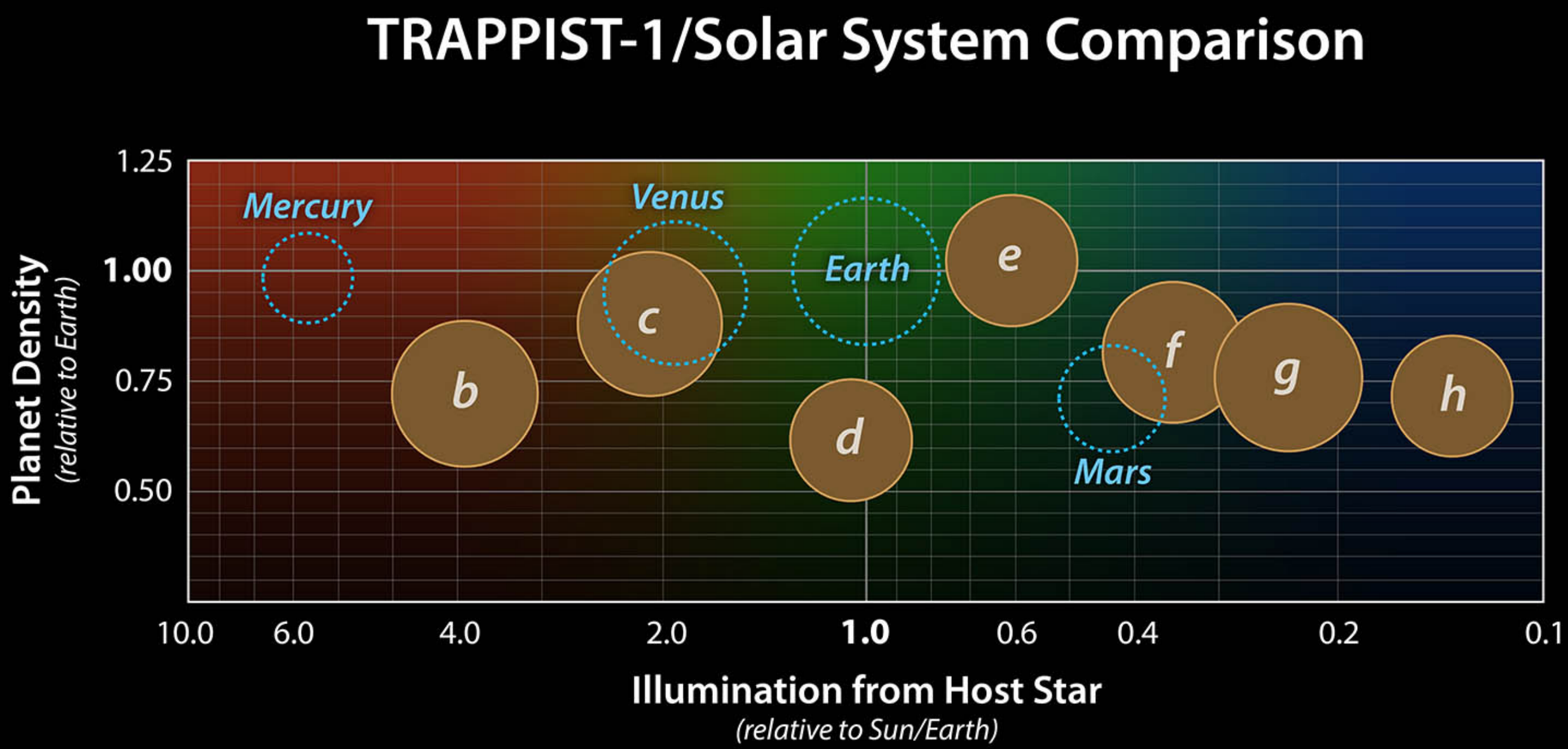
5.2.TRAPPIST-1

Todos los planetas tienen un tamaño similar al de la Tierra





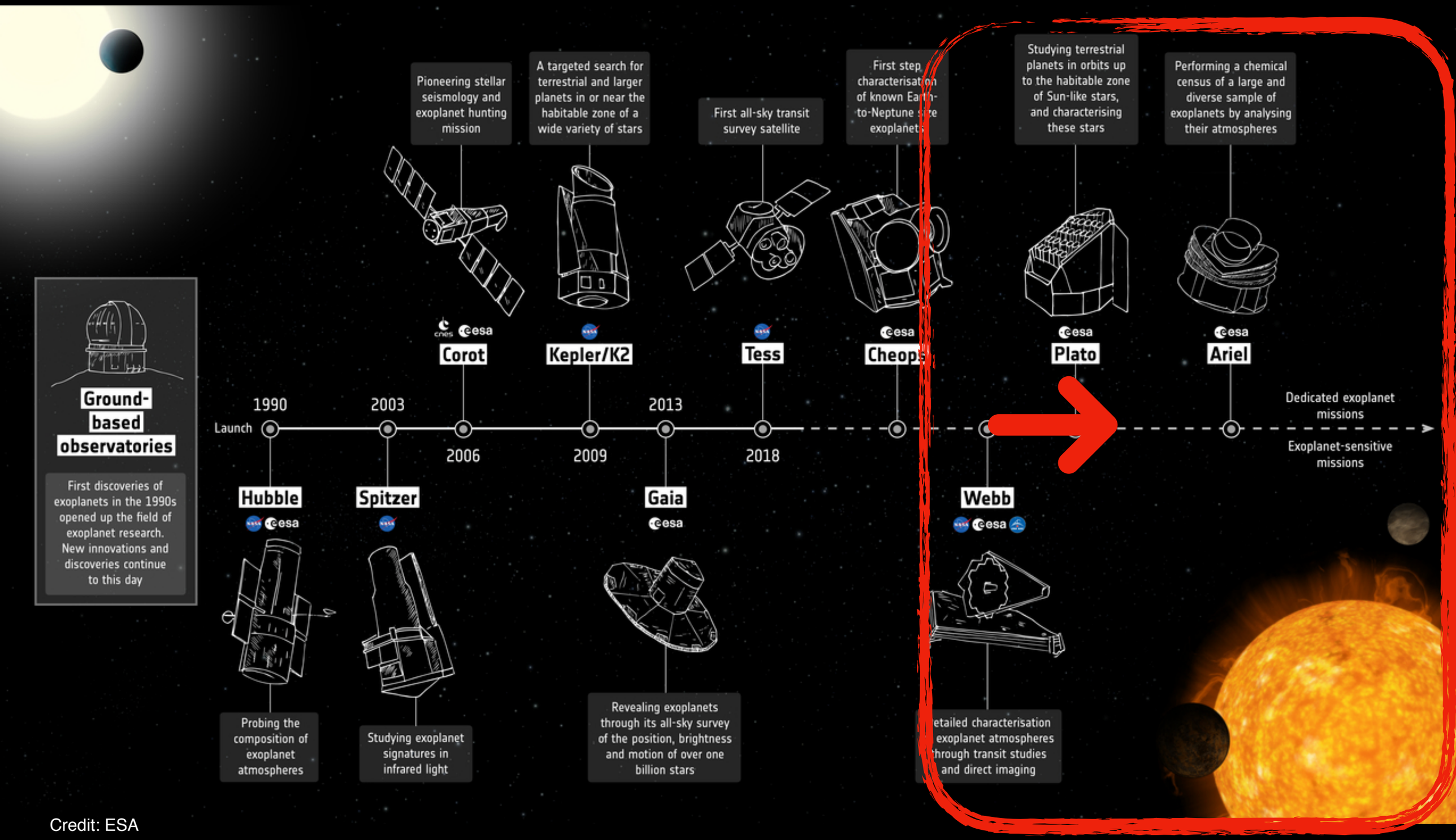
5.2.TRAPPIST-1



Tres de los planetas se encuentran en la zona de habitabilidad

6.Futuro

6.Futuro



Credit: ESA

6.Futuro

James Webb Space Telescope

6.5 metros de diámetro

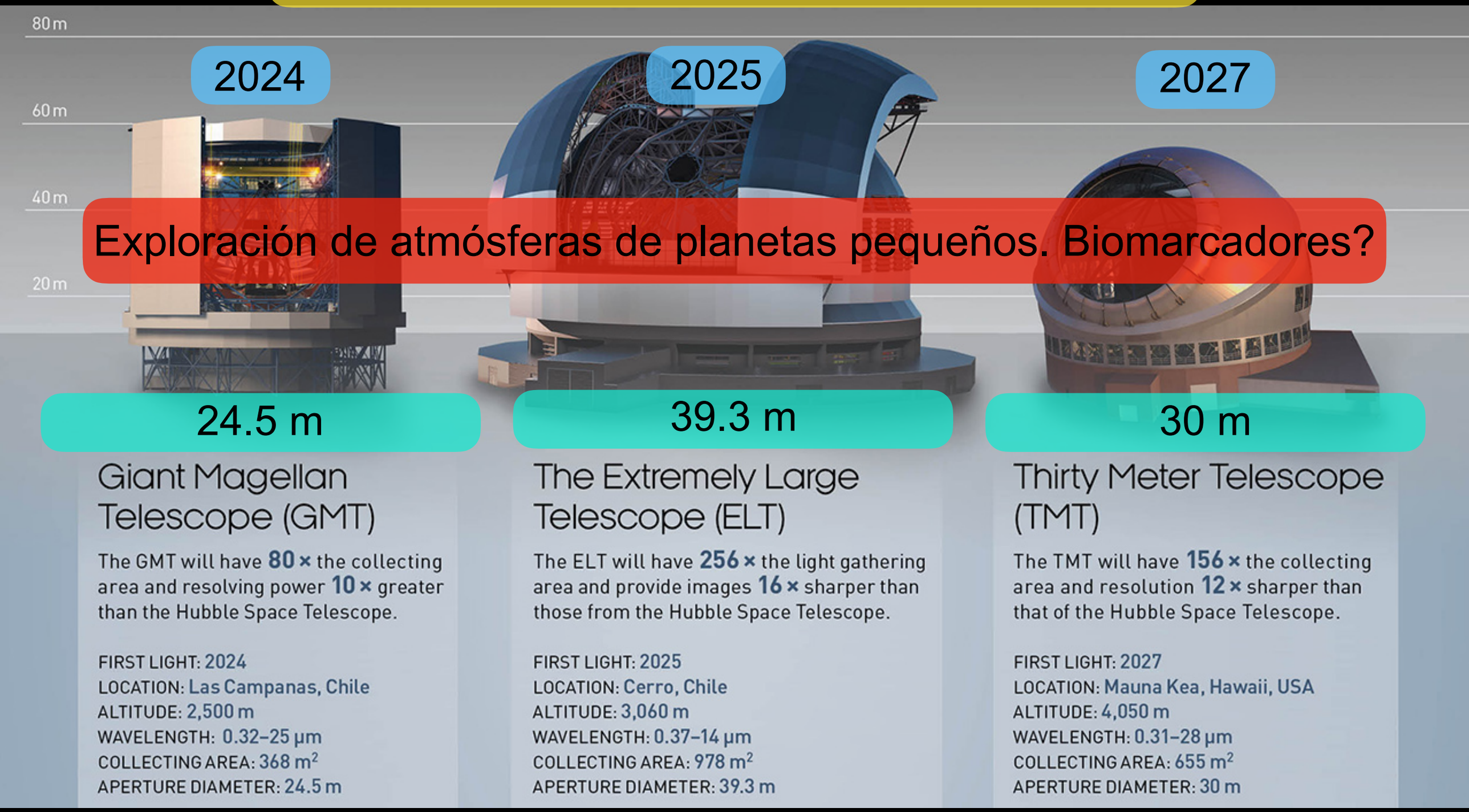
Lanzamiento el 2021

Estudio de las atmósferas de exoplanetas transitantes en el IR

Imagen directa de estrellas cercanas con planetas

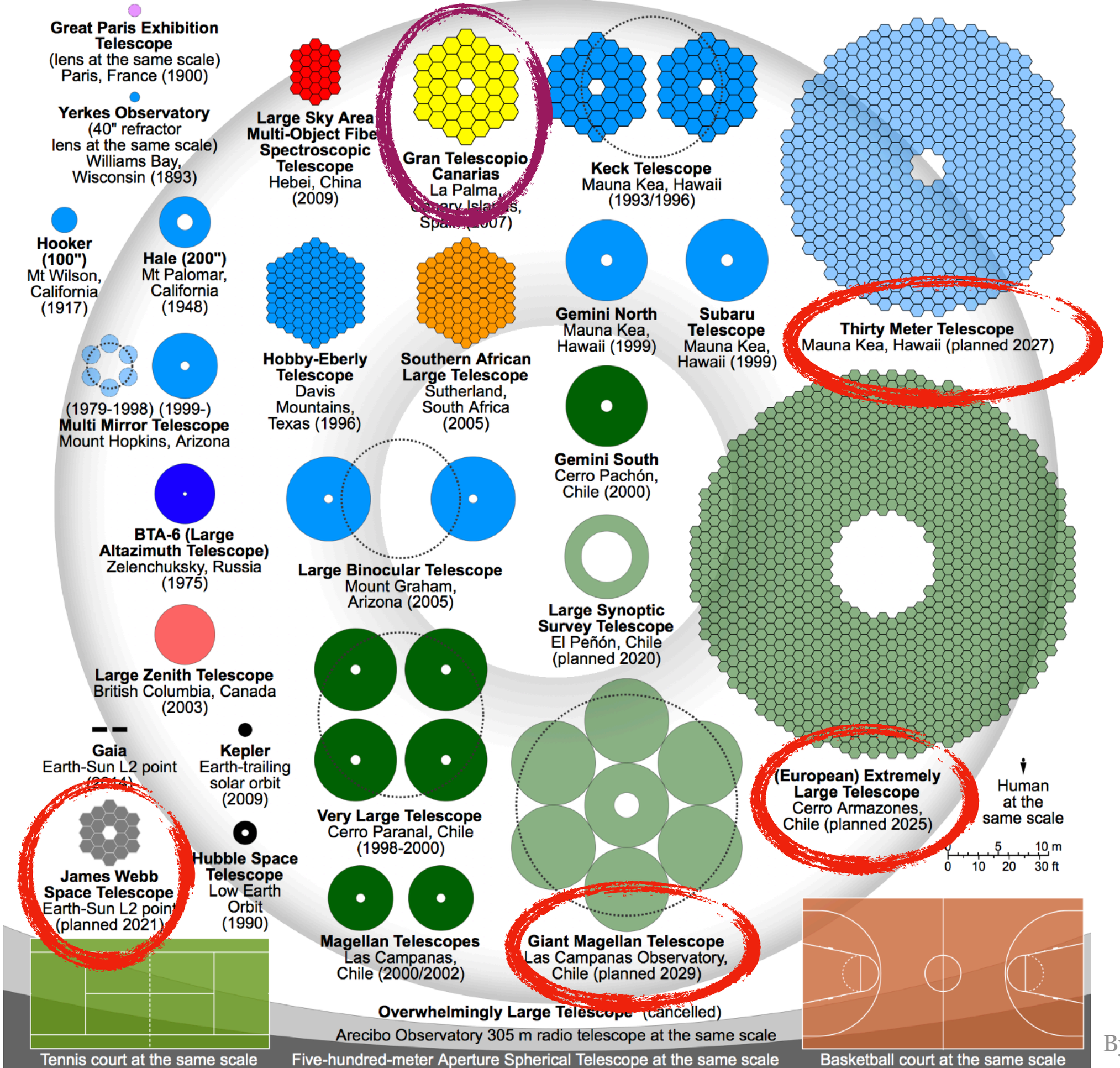
6.Futuro

Nueva generación de telescopios terrestres



Exploración de atmósferas de planetas pequeños. Biomarcadores?

Credit: osa-opn.org


Great Paris Exhibition Telescope
(lens at the same scale)
Paris, France (1900)
Yerkes Observatory
(40" refractor
lens at the same scale)
Williams Bay,
Wisconsin (1893)
Hooker (100")
Mt Wilson,
California
(1917)
Hale (200")
Mt Palomar,
California
(1948)
(1979-1998) (1999-)
Multi Mirror Telescope
Mount Hopkins, Arizona
BTA-6 (Large Altazimuth Telescope)
Zelenchuksky, Russia
(1975)
Large Zenith Telescope
British Columbia, Canada
(2003)
Gaia
Earth-Sun L2 point
Kepler
Earth-trailing
solar orbit
(2009)
James Webb Space Telescope
Earth-Sun L2 point
(planned 2021)
Hubble Space Telescope
Low Earth
Orbit
(1990)
Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope
Hebei, China
(2009)
Gran Telescopio Canarias
La Palma,
Canary Islands,
Spain (2007)
Keck Telescope
Mauna Kea, Hawaii
(1993/1996)
Hobby-Eberly Telescope
Davis
Mountains,
Texas (1996)
Southern African Large Telescope
Sutherland,
South Africa
(2005)
Gemini North
Mauna Kea,
Hawaii (1999)
Subaru Telescope
Mauna Kea,
Hawaii (1999)
Thirty Meter Telescope
Mauna Kea, Hawaii (planned 2027)
Gemini South
Cerro Pachón,
Chile (2000)
Large Binocular Telescope
Mount Graham,
Arizona (2005)
Large Synoptic Survey Telescope
El Peñón, Chile
(planned 2020)
Very Large Telescope
Cerro Paranal, Chile
(1998-2000)
Magellan Telescopes
Las Campanas,
Chile (2000/2002)
Giant Magellan Telescope
Las Campanas Observatory,
Chile (planned 2029)
(European) Extremely Large Telescope
Cerro Armazones,
Chile (planned 2025)
Human
at the
same scale
0 5 10 m
0 10 20 30 ft
Overwhelmingly Large Telescope (cancelled)
Arecibo Observatory 305 m radio telescope at the same scale
Tennis court at the same scale
Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope at the same scale
Basketball court at the same scale

By Cmglee

6.Futuro

PLATO

Lanzamiento ~2026

Conjunto de pequeños telescopios

<u>Objetivo</u>: estudio de planetas terrestres entorno a estrellas brillantes tipo Sol, preferentemente en la HZ.

ARIEL

Lanzamiento ~2028

Espejo elíptico 1.1m x 0.7 m

<u>Objetivo</u>: caracterización de las atmósferas de una muestra de ~1000 planetas desde gigantes gaseosos a planetas rocosos

6.Futuro

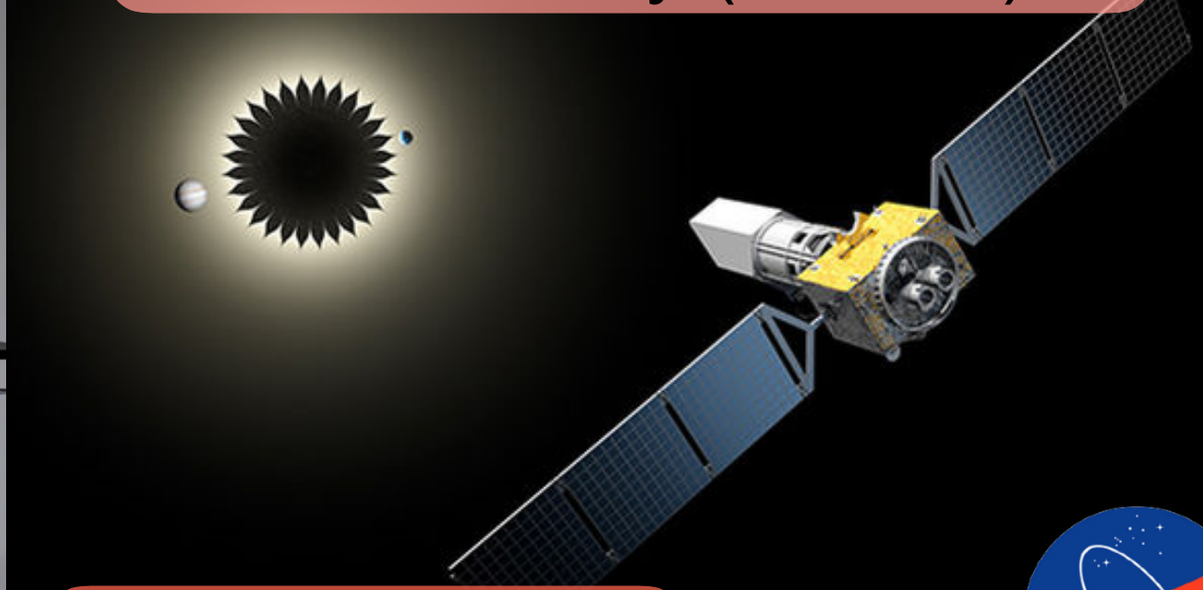
LUVOIR

Lanzamiento ~2030

LUVOIR-A : 15 m diámetro

LUVOIR-B : 8 m diámetro

Habitable Exoplanet Observatory (HabEX)



Lanzamiento ~ ?

4 m diámetro

Estudio de atmósferas de planetas tipo Tierra y otros

Búsqueda de signos de vida en planetas habitables con imagen directa: uso de coronógrafos y star shade

Star Shade

Credit: NASA

¡Gracias!