

Spain



Detective de exoplanetas

ESCONDIDOS
EN LA LUZ

Modelado de tránsitos
de exoplanetas.



DE-SB-01

Cuaderno del profesorado
Secundaria
Bachillerato

Spain



EUROPEAN SPACE EDUCATION RESOURCE OFFICE
A collaboration between ESA & national partners



Del espacio al aula

www.esero.es

ESERO Spain es la Oficina de Educación y Recursos Espaciales (*European Space Education Resource Office*) de la Agencia Espacial Europea (ESA) en España. Coordinada desde el Parque de las Ciencias de Granada y articulada mediante la colaboración activa de nodos en cada comunidad autónoma, tiene como objetivo utilizar el **contexto del espacio para fomentar las vocaciones CTIM** (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) proporcionando recursos a toda la comunidad educativa de Primaria y Secundaria, siguiendo las directrices establecidas por *ESA Education*.

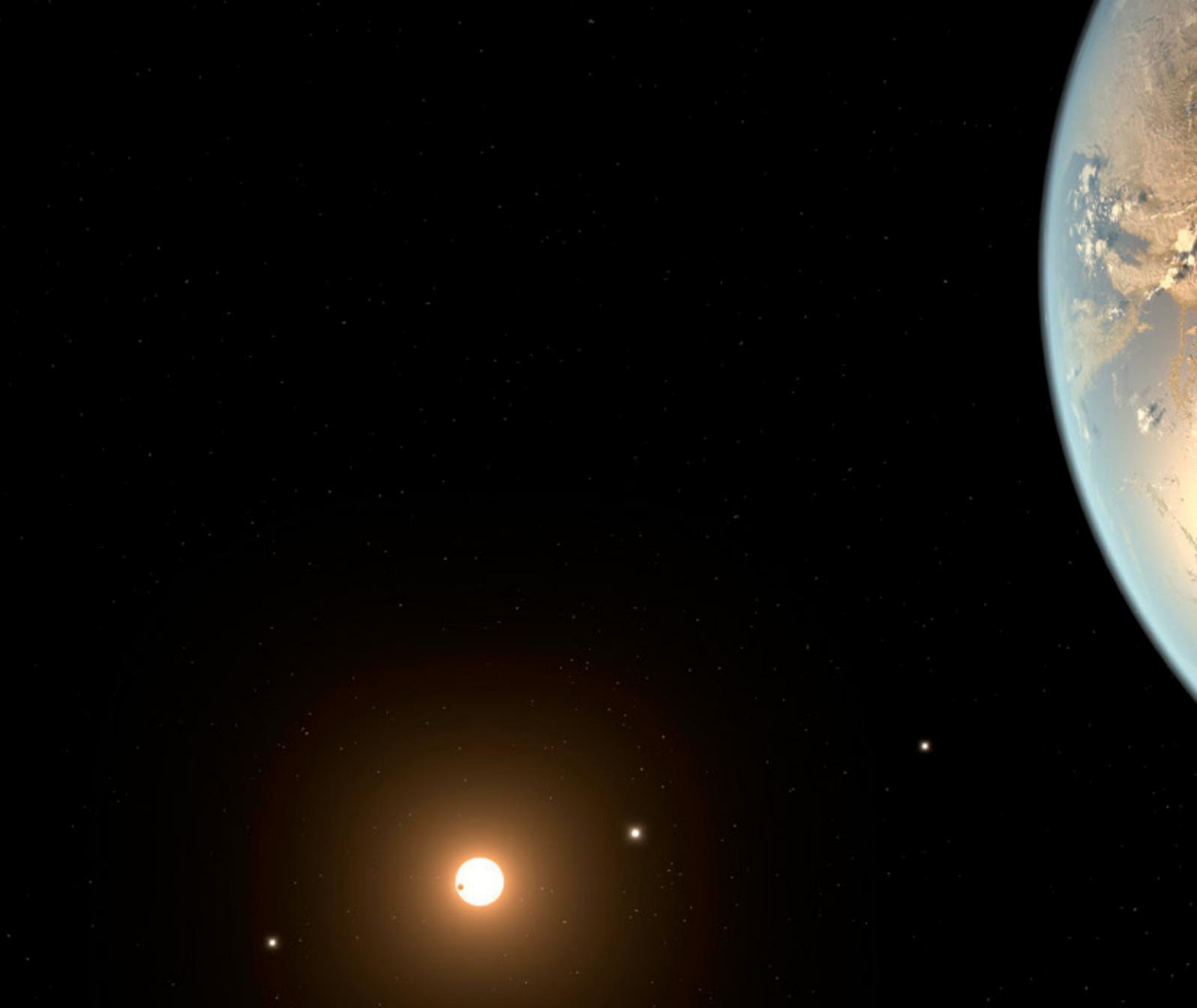
A punto de cumplir su primer año de actividad, ESERO Spain ha trabajado con más de 1600 docentes y constituido una red con los primeros 31 embajadores ESERO a nivel nacional. Además, la **colaboración con instituciones educativas ha seguido en aumento** y en los próximos meses la presencia de ESERO Spain se extenderá a todas las regiones. ESERO Spain ya participa activamente en 10 comunidades autónomas.

Durante este tiempo, **tres nuevas oficinas ESERO** han entrado a formar parte de la red europea: Alemania, Dinamarca y Luxemburgo, con quien ya se está trabajando en nuevos proyectos.

1600 profesores ESERO Spain

31 embajadores ESERO Spain

10 Comunidades Autónomas



Exoplanetas

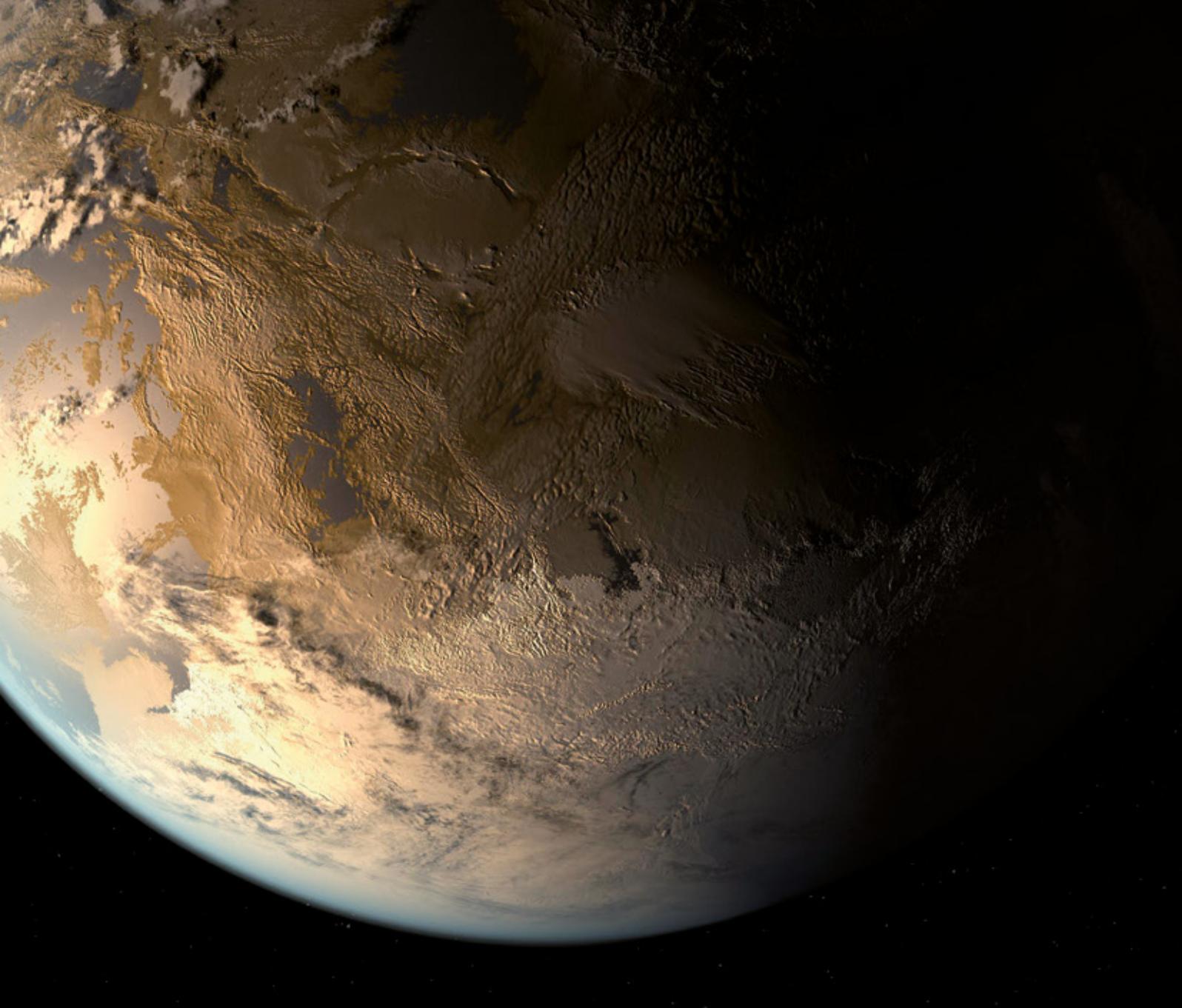
ESCONDIDOS EN LA LUZ

La Tierra es el único lugar que conocemos que tiene vida. Es especial porque está cubierta de agua en forma líquida debido a que se encuentra a la distancia correcta de nuestra estrella, el Sol, en la "zona de habitabilidad", ni demasiado caliente ni demasiado fría. Pero ¿podría haber otra "Tierra" en algún lugar de la inmensidad del espacio orbitando a su propia estrella. ¿Tendrá condiciones para albergar vida? Los instrumentos modernos están ayudando a científicos a aprender más sobre estos mundos alienígenas y las atmósferas que los rodean. El primer exoplaneta descubierto se parece a lo que co-

nocemos como "Júpiter caliente", un planeta gigante que orbita cerca de su estrella. Lo descubrió el profesor Michel Mayor de la Universidad de Ginebra en 1995. Entonces fue considerado una revolución para la astronomía. En 2018 se han conseguido localizar casi 4000 exoplanetas y el contador sigue activo.

En las últimas dos décadas los expertos se han focalizado en la caza de planetas pequeños como el nuestro.

La mayoría de los exoplanetas no pueden ser observados directamente porque su visibilidad es muy débil comparada con la estrella alrededor de la cual orbitan



pero los científicos se las han ingeniado para detectarlos a distancia. Uno de estos métodos consiste en registrar los movimientos de la estrella, perturbados debido a la traslación del planeta y así se puede medir su masa.

En ciertas ocasiones tenemos suerte y podemos ver al planeta pasar delante de su estrella, un pequeño eclipse que nos revela el tamaño del planeta. Eso es precisamente lo que va a medir desde el espacio la misión CHEOPS.

CHEOPS es un telescopio espacial de la Agencia Espacial Europea que será lanzado al espacio en el 2018. Será capaz de medir el radio de los exoplanetas con una precisión hasta ahora desconocida.

¿Podremos descubrir otro planeta como el nuestro, rocoso con agua líquida y una atmósfera respirable?

Cazar exoplanetas parecidos a la Tierra requiere una alta precisión. El mundo de la ciencia recompensa este tipo de búsqueda incitando a que nuevos investigadores secunden los pasos de los pioneros.

Desde gigantes gaseosos a pequeños planetas rocosos parecidos a la Tierra, se cree que nuestra Vía Láctea está poblada por miles de millones de exoplanetas, ¡y muchos miles de millones más en el Universo!

Este recurso emocionante, innovador, interdisciplinar y basado en STEM se compone de cuatro actividades prácticas basadas en la búsqueda de planetas más allá de nuestro sistema solar. Las actividades creativas orientadas para alumnado de 12-18 años de edad fomentan un enfoque investigativo y trabajo científico. Asumiendo el papel de especialistas en astronomía, ingeniería y matemáticas aprenderán sobre la amplia variedad de disciplinas relacionadas con el espacio que la industria espacial demanda. Cada actividad contiene instrucciones fáciles de seguir y utiliza recursos cotidianos para motivar e inspirar al alumnado.

Aunque se escondan en la luz, nuestros detectives de exoplanetas los encontrarán. //

- 02 Del espacio al aula
- 04 Exoplanetas: escondidos en la luz
- 08 **Bloque 1**
Detective de exoplanetas.
Actividades
- 12 Actividad 1
Discusión inicial
- 14 Actividad 2
Exoplaneta en una caja
- 16 Actividad 3
Análisis de las curvas de luz
- 17 Actividad 4
Calculando el tamaño relativo
de un exoplaneta

Detective de exoplanetas

Escondidos en la luz

Modelo de tránsitos de exoplanetas

2ª Edición. Septiembre 2018

Guía para el profesorado

Ciclo
Secundaria

Edita
ESERO Spain
Parque de las Ciencias. Granada

Esero Spain, 2018 ©

Dirección

Parque de las Ciencias, Granada.

ESERO Spain

Domingo Escutia Muñoz. *ESERO Manager*
María del Carmen Botella Almagro. *ESERO Educator*

Asesoramiento científico

Vicente López García. Catedrático de Física
Víctor Costa Boronat. Instituto Astrofísica Andalucía. IAA
Manuel Roca Rodríguez. Parque de las Ciencias

Asesoramiento educativo

Juan Antonio Torres Lara. Profesor Física y Química
Guadalupe de la Rubia Sánchez. Profesora Biología y Geología
Vicente J. Fernández Rodríguez. Maestro

sumario

20 Bloque 2 Anexos

23 Anexo A

27 Anexo B

32 Anexo C

41 Anexo D

43 Anexo E

Diseño gráfico

Inmaculada Melero Martínez. Parque de las Ciencias
Raquel M^a Lozano García
Maica Hervás Fernández

Colaboradores

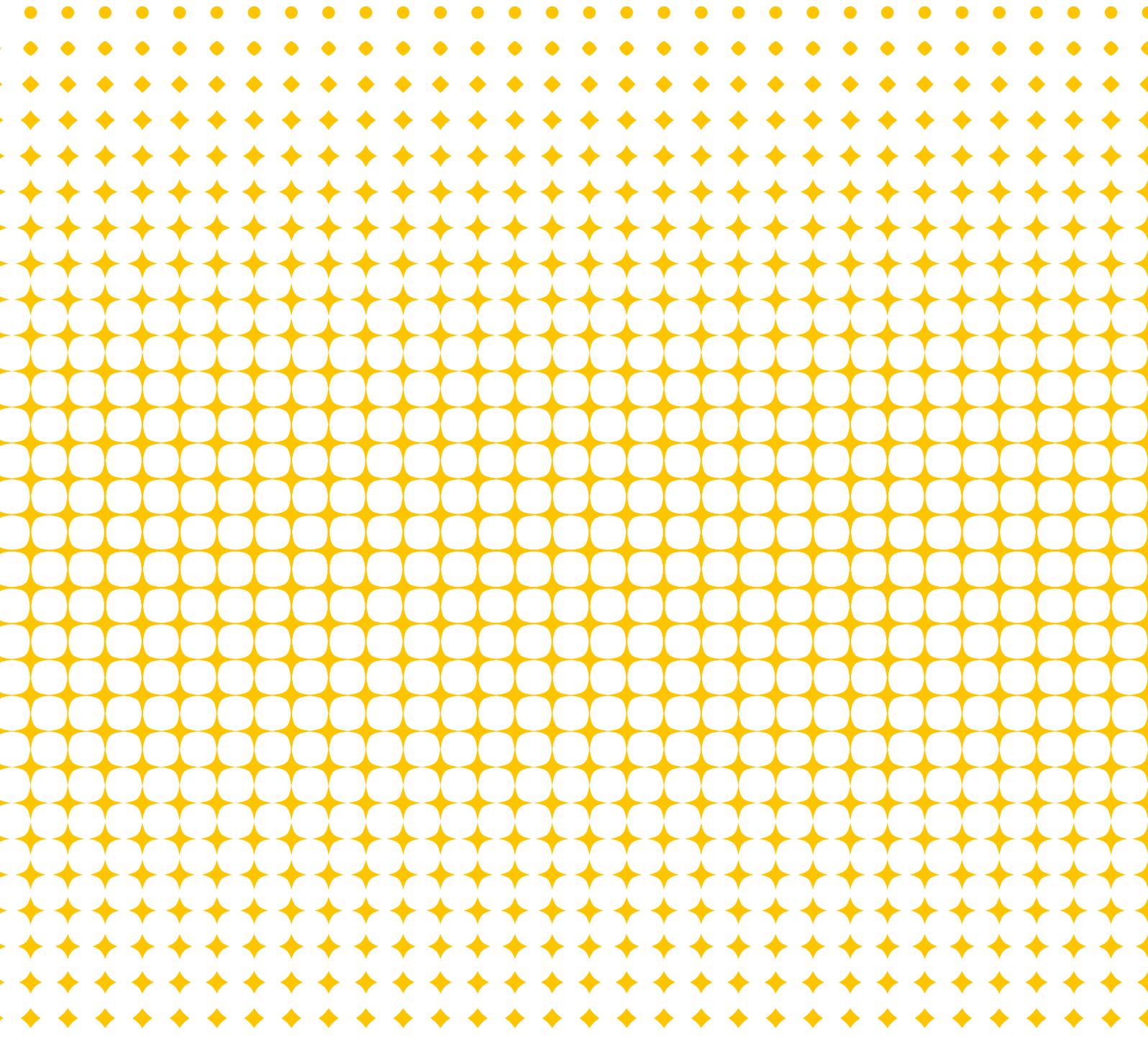
Jerónimo Terrés Roig. Maestro
Lola Bernal González. Profesora Biología y Geología
Lola Castillo Pérez. Maestra

Agradecimientos

IES Bulyana y alumnado de 4^o ESO

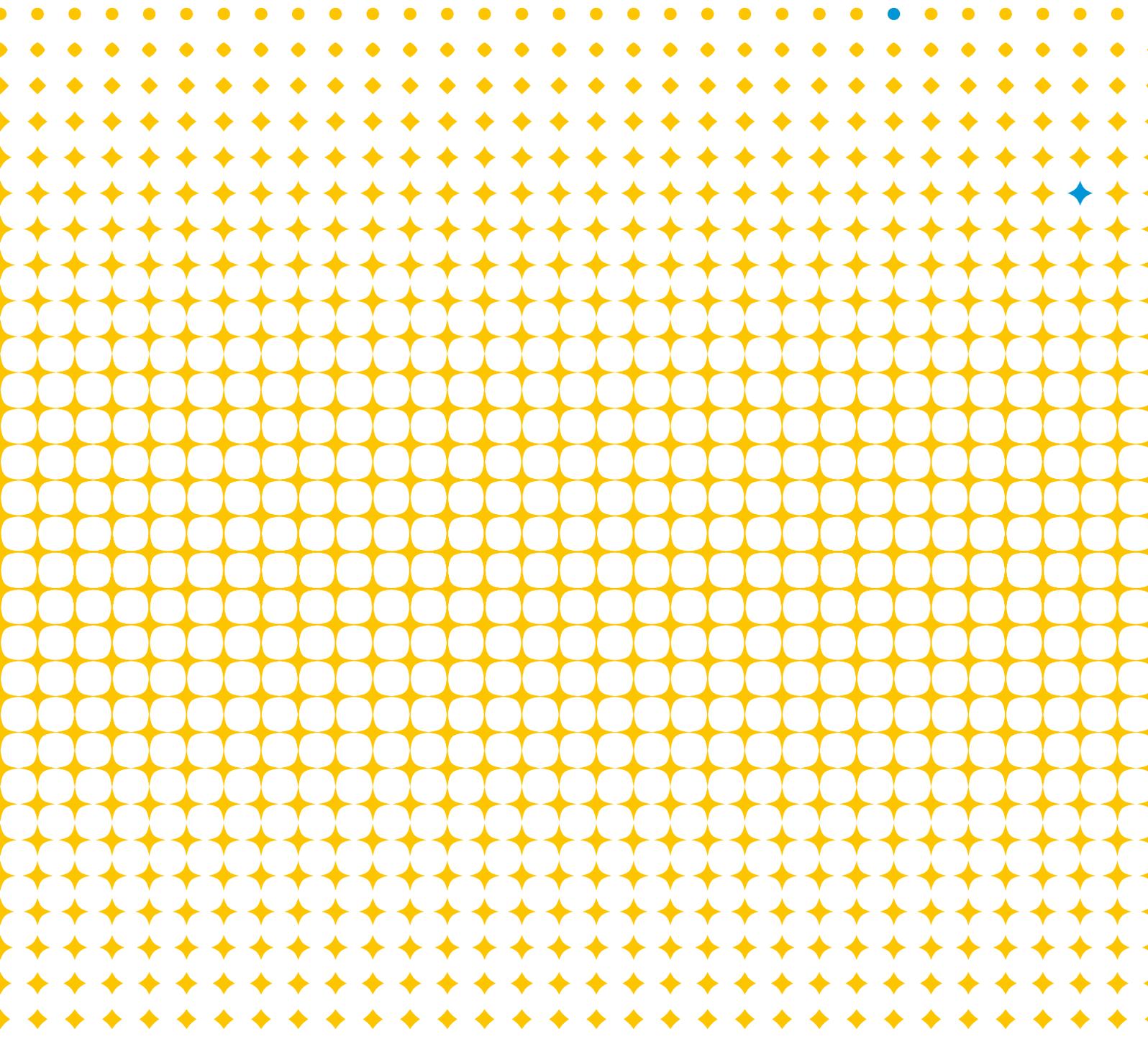
Material didáctico basado en las publicaciones:

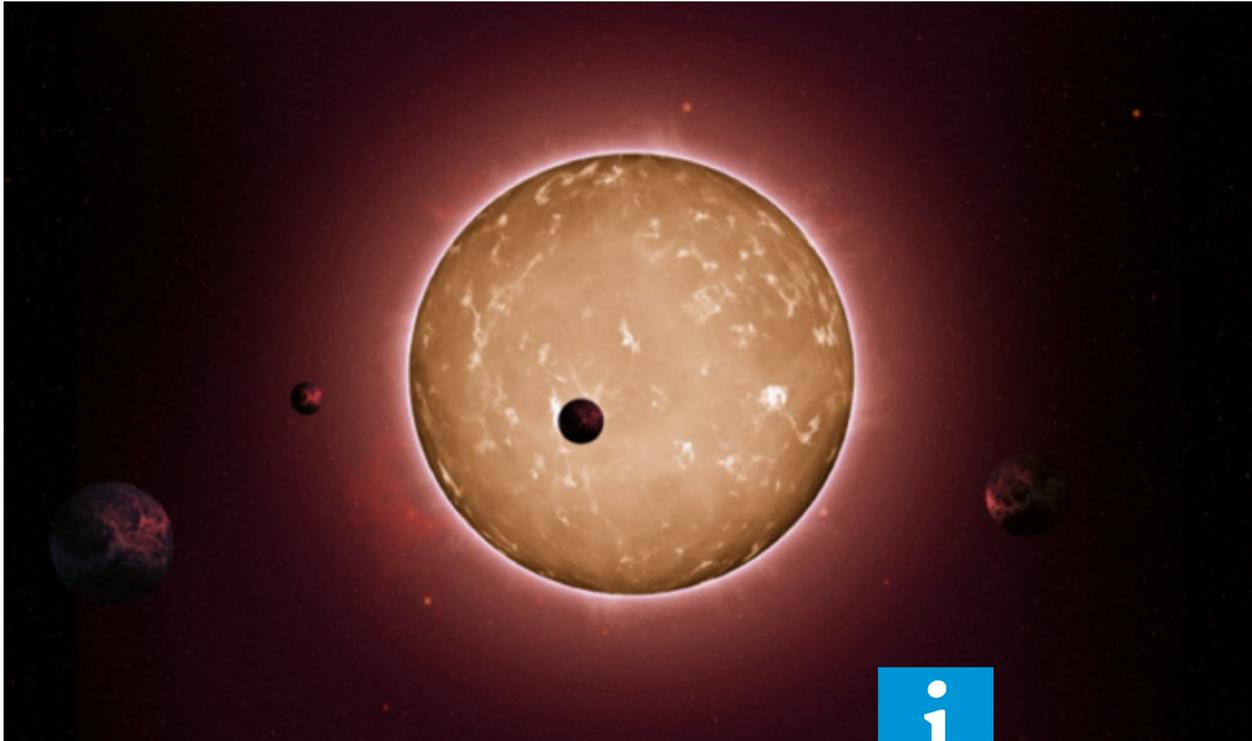
- *Exoplanets detective*. Secundaria
Colección *Teach with space*. ESA Education
- *Are we alone?* Primaria
Sue Andrews y colaboradores ESERO UK
www.esero.org.uk



bloque 1

DETECTIVE DE EXOPLANETAS
actividades





> NASA | JPL-Caltech | AMES | Univ. of Birmingham



EDAD
12-18 años

DIFICULTAD
Media

LUGAR
Aula Lab

DURACIÓN
90 min.

COSTE
5-25 €

Detective de exoplanetas

ESCONDIDOS EN LA LUZ

Modelado de tránsitos de exoplanetas

Resumen

Durante esta actividad los estudiantes trabajarán en grupos pequeños para simular el tránsito de un exoplaneta frente a su estrella principal usando el simulador "Exoplaneta en una caja" y trazarán una curva de luz para este tránsito. Los estudiantes desarrollarán su propio experimento:

- Decidirán qué variables medir y cuáles son sus unidades
- Qué mantendrán constante
- Qué equipo/instrumentos necesitarán para tomar las medidas
- Cómo presentarán sus datos (tablas y gráficas)
- Desarrollarán sus habilidades en registro y análisis de datos y gráficos
- Llegarán a conclusiones

DATOS DE INTERÉS

- Edad: **12-18 años**
- Complejidad: **Media**
- Localización: **Aula o laboratorio**
- Duración de la actividad: **90 minutos**
- Coste por kit: **Medio** (5-25 € para la construcción de un simulador "Exoplaneta en una caja")
- Necesidades: **Data logger o smartphone con sensor de luz y aplicación instalada que mida la luminosidad**
- Metodología: **Actividad dirigida por los alumnos/as**

OBJETIVOS

- Ser capaz de describir lo que es un exoplaneta
- Dar una estimación del número de exoplanetas que puede haber en nuestra Galaxia
- Explicar por qué los exoplanetas son difíciles de detectar

CONTENIDOS

- Detección de un exoplaneta usando el método del tránsito
- Importancia de los avances tecnológicos e implicaciones sociales
- Aplicación del método científico y diseño de experimentos que validen las hipótesis
- Utilización de un equipo de registro de datos
- Interpretación de gráficos

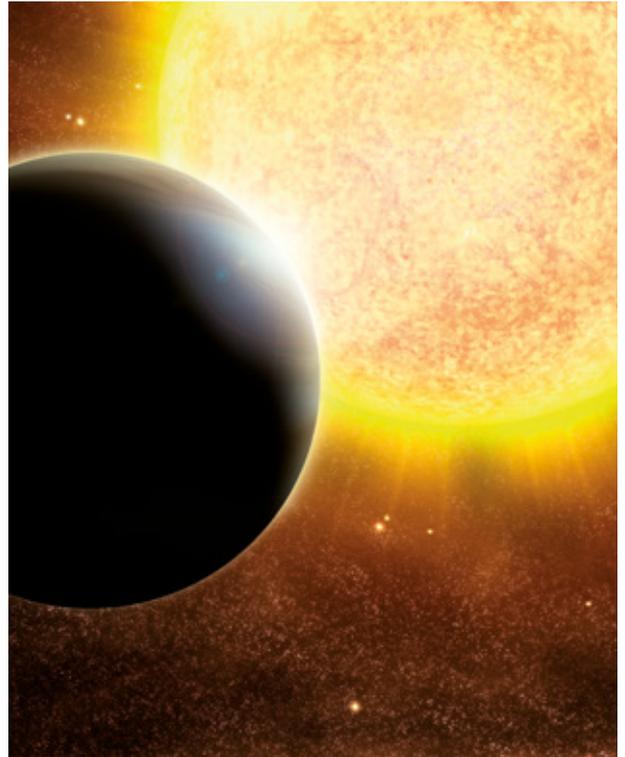
actividad 1

Discusión inicial

Utilizaremos una presentación para introducir el tema de los exoplanetas. Mediante preguntas conduciremos a los alumnos a que se planteen, según sus conocimientos:

- Qué es un exoplaneta
- Dar una estimación del número de exoplanetas que puede haber en nuestra galaxia
- La dificultad que entraña su detección
- Idear y describir una manera de detectarlos

👁 *En el Anexo A se encuentran dos presentaciones que puede visualizarse como introducción. Discutiremos con el alumnado las siguientes preguntas:*



> <http://www.eso.org/public/images/eso0638a/>

¿Crees que hay vida fuera de nuestro Sistema Solar?

Podemos analizar las condiciones que el alumnado cree que son necesarias para la vida y qué formas de vida podríamos encontrar. La respuesta convencional implicaría una discusión sobre las formas de vida basadas en el carbono pero también se les puede alentar a discutir otras posibilidades.

¿Cuántos planetas crees que hay en nuestra galaxia?

Se estima que la Vía Láctea contiene cientos de miles de millones de estrellas. Las observaciones indican que puede haber más estrellas con planetas que sin ellos, por lo que es probable que haya muchos miles de millones de planetas dentro de nuestra galaxia.

¿Cuántos de estos planetas crees que serían aptos para la vida?

Los datos de la nave espacial Kepler de la NASA dan una estimación de que alrededor de 40 mil millones de planetas se encuentran en las zonas habitables¹. También es importante tener en cuenta que podemos encontrar vida en otros cuerpos dentro de nuestro Sistema Solar. Las lunas Encelado (Saturno) y Europa (Júpiter) son buenos candidatos.

👁 *El Anexo A también contiene un cálculo para dar una idea de la enorme escala de la galaxia.*

¹ <http://www.nytimes.com/2013/11/05/science/cosmic-census-finds-billions-of-planets-that-could-be-like-earth.html>

El primer exoplaneta no se encontró hasta la década de 1990. ¿Por qué?

En comparación con las estrellas, los planetas son relativamente pequeños y no emiten luz propia, por lo que pasan desapercibidos entre la brillante luz emitida por las estrellas a las que orbitan.

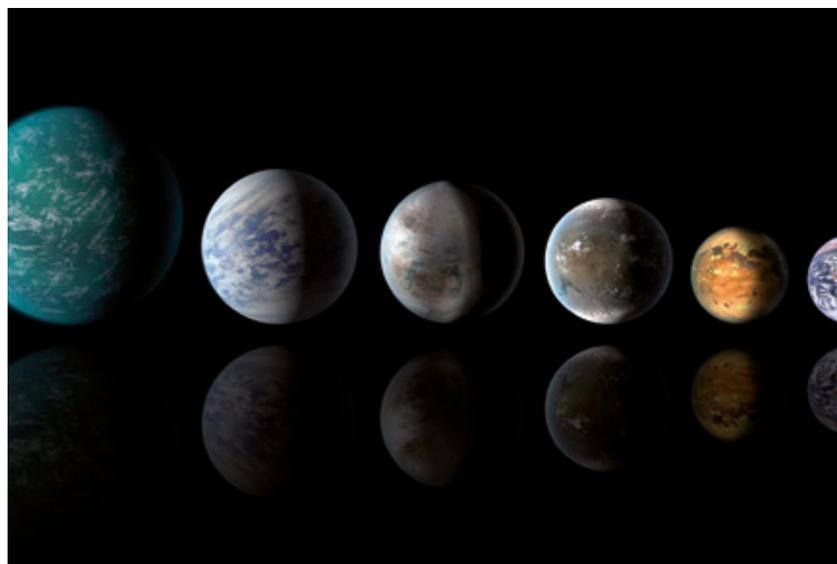
👁 *En una de las presentaciones del Anexo A se proporciona una imagen del tránsito de Venus para dar una idea de la diferencia de tamaño entre un planeta del tamaño de la Tierra y una estrella similar a nuestro Sol.*

En realidad la **clave para el descubrimiento de exoplanetas** ha sido la observación cuidadosa de la luz de las estrellas. Para saber hoy sobre exoplanetas se requirió la experiencia acumulada durante más de un siglo de observación de las estrellas.

Por ello, para poder detectar exoplanetas, se necesitan detectores que sean muy sensibles a los pequeños cambios de luz. El primer exoplaneta orbitando una estrella similar al Sol fue descubierto utilizando un nuevo tipo de instrumento diseñado específicamente para tal fin. Este instrumento fue capaz de detectar, con una precisión sin precedentes, pequeños movimientos (o bamboleos) de la estrella mientras el exoplaneta orbitaba a su alrededor.

El primer exoplaneta se descubrió con estudios y observaciones en tierra, sin embargo, el gran avance en cuanto a la cantidad de exoplanetas descubiertos llegó con el lanzamiento de misiones de exploración en el espacio como CoRoT y Kepler.

👁 *En el Anexo B se puede encontrar más información que puede propiciar preguntas abiertas para ser discutidas en el aula. Podemos acabar haciendo una reflexión sobre qué método creen que es mejor para reproducirlo en este taller.*



> NASA Ames | JPL-Caltech



ANOMALÍAS PARA LA DETECCIÓN DE EXOPLANETAS

Las anomalías de las que hablamos están relacionadas con:

- Variaciones en la radiación infrarroja
- En la espectroscopía de la luz de la estrella
- En los cambios (o pérdidas) en la luminosidad (o brillo) de una estrella
- En otros fenómenos relativistas denominados microlentes gravitacionales
- Solo unos pocos han sido descubiertos por observación directa

SUGERENCIAS DE PREGUNTAS INTRODUCTORIAS DE LAS SIGUIENTES ACTIVIDADES

- ¿Qué se mide cuando un planeta se mueve delante de una estrella?
- ¿Qué va a cambiar? (sus variables independientes)
- ¿Qué se usará para tomar medidas?
- Si está presentando sus resultados en un gráfico, ¿Cuáles serán los ejes? ¿Cuáles son las unidades?
- ¿Qué incertidumbres hay en sus mediciones? ¿Cómo pueden minimizar las incertidumbres?

actividad 2

Exoplaneta en una caja

Introducción

Después de haber eclipsado la luz de una fuente luminosa debemos comenzar con un debate acerca de las magnitudes a evaluar y sus unidades.

Para introducir este debate, podemos presentar la diferencia de tamaños.

También sobre cuáles medir. Cuáles jugarán el papel de variables dependientes y cuáles serán las independientes, cuáles se mantendrán constantes, etc. Por ejemplo: diferentes tamaños de planeta y de estrella, diferentes distancias a la estrella, etc.

Otra discusión será sobre los instrumentos de medida necesarios para realizar las mediciones así como la forma de presentar los datos experimentales y las gráficas resultantes.

i

Construcción de la caja

Los alumnos/as crearán su propio modelo físico de un exoplaneta en tránsito para comprender cómo las variaciones observadas en la luz de una estrella pueden usarse para detectar exoplanetas (el método del tránsito). Durante esta actividad los estudiantes aprenderán cómo usar aplicaciones de registro de datos e interpretar gráficas de luminosidad en función del tiempo.

Materiales

Esta actividad se puede presentar de dos maneras dependiendo de los grupos de estudiantes y las limitaciones de tiempo.

Una vez que se ha discutido el método del tránsito, los materiales pueden ser entregados a cada grupo y los estudiantes pueden crear su propio diseño para modelar la detección de exoplanetas. Hay dos guías de construcción disponibles que muestran formas alternativas de hacer la caja: Un método usa una caja de zapatos, mientras que el otro usa una caja de tóner de impresora.

Para ahorrar tiempo cambiando entre exoplanetas de diferentes tamaños se podrían usar varios palillos con varios planetas de distinto diámetro previamente preparados.

 *Las instrucciones para ambos diseños del 'exoplaneta en una caja' se encuentran en el Anexo C.*

RESULTADOS DE LA ACTIVIDAD

Los resultados del aprendizaje que esperamos:

- Entender cómo podemos usar variaciones en el brillo de una estrella para detectar exoplanetas
- Ser capaz de crear un modelo físico del método del tránsito
- Saber utilizar las aplicaciones de registro de datos e interpretar gráficas de luminosidad en el tiempo



SEGURIDAD Y SALUD

¡Cuidado! La construcción de la caja implica el uso de herramientas afiladas y cortantes.

Preparación del experimento

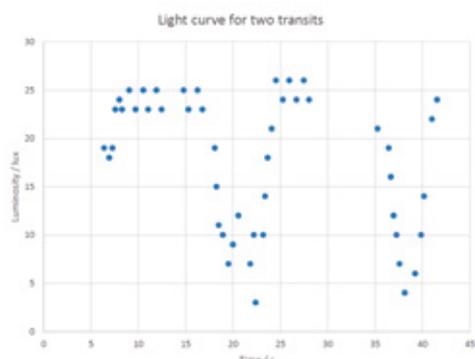
Para explicar en qué consiste el método del tránsito podemos ver una animación que se incluye en el **Anexo A** <http://sci.esa.int/gaia/58789>

Podemos comprobarlo moviendo una pequeña esfera delante de una fuente de luz. El alumnado debatirá qué variable/s necesitan medir, qué cambiará y qué se mantendrá constante. ¿Qué equipo necesitarán para tomar sus datos? y ¿cómo los presentarán?

👁 Hay una plantilla disponible en el **Anexo D**.

Registro de datos

Para esta actividad podemos usar cualquier medidor de luz. Si no disponemos de ninguno podemos usar un teléfono móvil, hay muchas aplicaciones disponibles para smartphones. Hay que tener en cuenta que algunas aplicaciones usan la cámara frontal para medir los niveles de luz y puede variar dependiendo del modelo del teléfono y la aplicación utilizada. Tiene la desventaja de que la pantalla queda bloqueada mientras lee los niveles de luz. Una forma de evitar esto es usar una aplicación de registro de datos. Se recomienda **Physics Toolbox Sensor Suite** o similar que nos permite grabar los datos obtenidos. En nuestro caso la magnitud a medir será la iluminancia o nivel de iluminación o densidad luminosa y sus unidades son los lux. Los datos grabados se pueden exportar a formato csv y analizarlos con la ayuda de una hoja de cálculo. Esta aplicación también tiene la ventaja de poder ejecutar otras herramientas de registro de datos, como un magnetómetro y un acelerómetro. El gráfico 1 es un ejemplo creado con Physics Toolbox.



> Gráfico 1. Ejemplo de gráfico de una curva de luz creada usando la aplicación Physics Toolbox

En la gráfica se muestran dos tránsitos. Si nos fijamos, antes de que el exoplaneta esté bloqueando la luz de la estrella, comprobamos que hay una diferencia de alrededor de 2 lux entre el primer y el segundo tránsito. Esto nos permitiría propiciar un debate entre los alumnos sobre la necesidad de tener en cuenta las incertidumbres en la medida y los motivos que la provocan.



VERSIÓN CAJA DE ZAPATOS

- Caja de zapatos de cartón o similar con tapadera
- Pintura negra o papel negro (suficiente para cubrir el interior de la caja)
- Linterna LED
- Sensor de luz (por ejemplo smartphone con sensor de luz y aplicación que mida luminosidad o un datalogger con sensor específico)
- Cúter o tijeras + Regla + Folios + Lápiz
- Transportador de ángulos semicircular
- Pinza de la ropa
- Palillos de dientes o palos de pinchitos de madera
- Cinta adhesiva
- Plastilina o similar

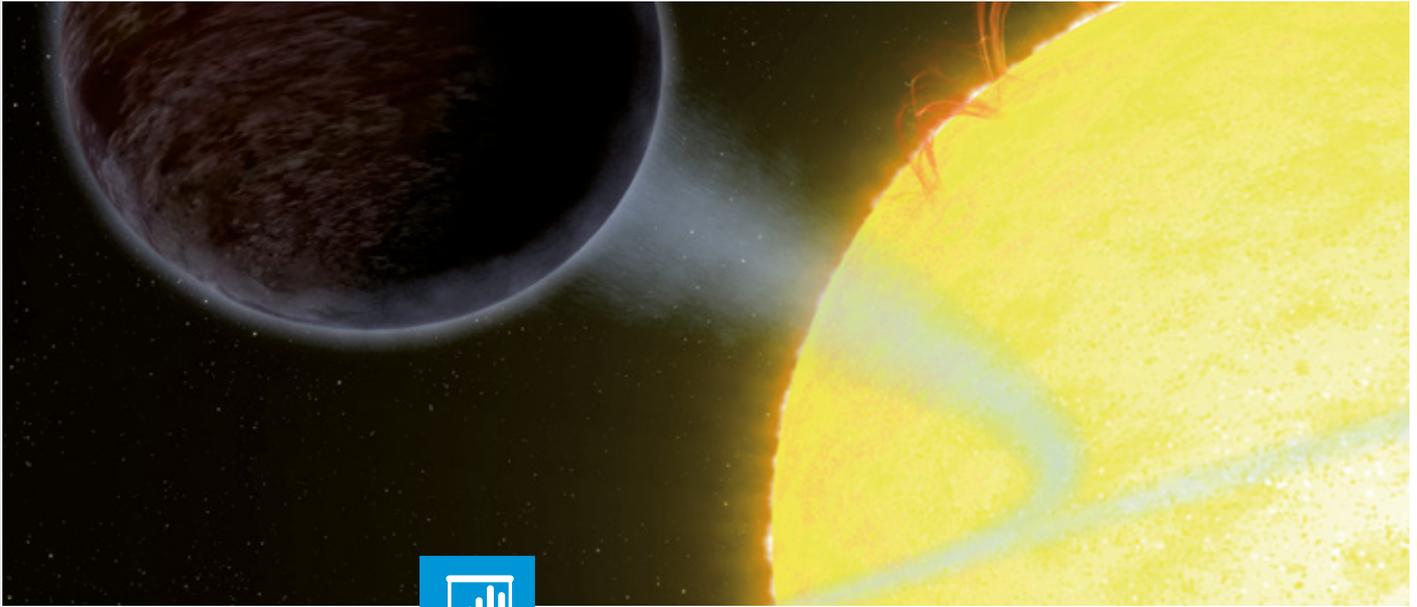
VERSIÓN CAJA DE TÓNER DE IMPRESORA

- Caja de tóner de cartón
- Pintura negra o papel negro (suficiente para cubrir el interior de la caja)
- Linterna LED circular (aproximadamente 5 cm de diámetro)
- Sensor de luz (por ejemplo smartphone con sensor de luz y aplicación que mida luminosidad o un datalogger con sensor específico)
- Cúter o tijeras + Regla + Lápiz
- Compás de dibujo
- Cartón y papel para construir dos círculos de 8 cm de radio
- Cartón extra para construir el soporte para la fuente de luz y el luxómetro
- Palillos o palos de pinchitos de madera
- Plastilina o similar
- Encuadernador
- Cinta aislante negra



INCERTIDUMBRE EN LA MEDIDA

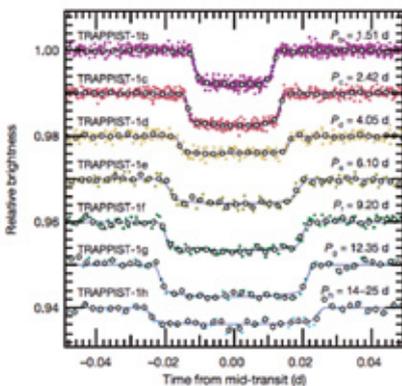
La linterna no es una fuente de iluminación homogénea, pueden existir posibles reflejos de la luz en la caja o que se produzca dispersión de la luz en la caja, el efecto del palillo...



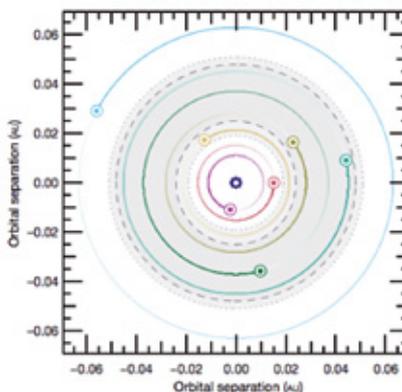
> ESA | Hubble

actividad 3

Análisis de las curvas de luz



Los tránsitos para cada uno de los siete planetas del sistema Trappist-1.



Una representación de los siete planetas en órbita, en gris está la zona de habitabilidad.

Alentaremos al alumnado a que propongan variaciones sobre este experimento, las realicen y razonen sobre las implicaciones que tendrán.

Se pueden obtener múltiples gráficos para analizar. Algunos ejemplos serían:

- Utilizar planetas de diferente tamaño.
- Modificar el periodo orbital.
- Variar la distancia entre el planeta y el detector (en este caso puede ser necesario recordarles que en el mundo real la distancia entre la estrella y el exoplaneta siempre va a ser minúscula comparada con la distancia entre el exoplaneta y el detector. Sería un ejemplo de variaciones sin sentido).

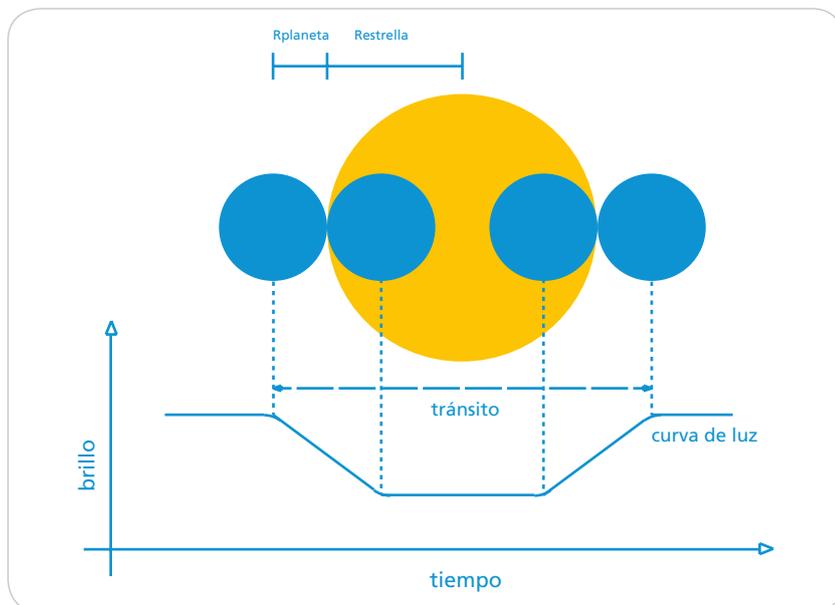
Los estudiantes con sus datos deberían ser capaces de demostrar lo siguiente:

- Que un exoplaneta más grande conllevará un descenso más acusado en el nivel de luz.
- Que un periodo orbital más corto significará una curva más estrecha en su gráfico, pero estas curvas les aparecerán con más frecuencia porque el planeta completaría más órbitas en un mismo tiempo.

actividad 4

Calculando el tamaño relativo de un exoplaneta

Mirando el cambio relativo en el brillo, los estudiantes pueden calcular el tamaño de su exoplaneta. La caída en el brillo está relacionada con la fracción del disco solar que el planeta eclipsa, más concretamente está relacionada con el área del disco del planeta y con el área del disco de la estrella.



> Gráfico 2. La caída en la iluminancia observada está relacionada con las áreas de los discos de la estrella y planeta. Donde R_{e} es el radio de la estrella, y R_{p} es el radio del planeta.

Observando la curva de luz obtenida, que muestra las variaciones de la intensidad de la luz en función del tiempo, y suponiendo que nuestro exoplaneta orbitara alrededor de *Proxima Centauri*, los estudiantes pueden calcular el tamaño de su exoplaneta. La única información que necesitan es conocer el radio de la estrella que es de 107.000 km.

ALFA CENTAURI

835.000 km (1,2 R_{\odot})

PROXIMA CENTAURI

107.000 km (0,1542 R_{\odot})

R_{\odot} significa radio del Sol



DIFERENCIA ENTRE ESTRELLAS Y PLANETAS

Tendríamos que definir la diferencia entre estrellas y planetas

- Las estrellas son bolas de gas muy caliente (cohesionado por su propia atracción gravitatoria) que producen luz y energía propias a partir de las reacciones nucleares que tienen lugar en sus núcleos. Para tener una temperatura lo suficientemente alta como para que ocurran reacciones nucleares (fusión del hidrógeno), un objeto debe tener una masa de al menos 75 veces la masa de Júpiter. A diferencia de las estrellas, los planetas no generan luz o energía a través de reacciones nucleares.
- Las estrellas se forman a partir de nubes de gas molecular que colapsan bajo la influencia de la gravedad.
- Los planetas se forman cuando el polvo y el gas que está presente en el disco que rodea a una estrella comienza a condensar.

Nota: Los objetos denominados enanas marrones generan cierta ambigüedad a estas definiciones ya que su masa es demasiado baja para que se alcance la temperatura necesaria para iniciar la fusión nuclear del hidrógeno; sin embargo, se forman de la misma manera que las estrellas.

UNA PREGUNTA INTERESANTE

¿Cuál sería la masa del objeto en tránsito si tuviera la misma composición que Júpiter? ¿y si tuviera la misma composición que la Tierra? Para calcular las masas necesitamos saber las densidades medias de Júpiter y de la Tierra. Usando la relación entre masa, radio y densidad, podemos calcular la masa del objeto suponiendo que tuviera una densidad similar a Júpiter o a la Tierra.

Cálculo del radio

👁️ Hay que repetir los cálculos con datos reales

Usando la curva de luz del gráfico 1, la iluminancia de nuestra estrella “sin tránsito” es de 25 lux, y durante el tránsito, cuando el planeta pasa entre la fuente de luz (estrella) y el detector (Tierra), es 5 lux. La diferencia es de 20 lux, lo que nos da:

$$R_p^2 = \frac{\Delta \text{brillo}}{\text{brillo máximo}} \cdot R_e^2 \quad R_p = \sqrt{\frac{\Delta f}{f} \cdot R_e^2}$$

$$\Delta f(\text{lux}) = 20 \text{ lux} \quad f(\text{lux}) = 25 \text{ lux}$$

Calculamos los resultados para dos estrellas diferentes de radio conocido:

ALFA CENTAURI

$$R_p^2 = 20/25 \times 835.000^2 = 557,78 \times 10^9 \text{ km}^2 \quad | \quad R_p = 746.847 \text{ km}$$

PROXIMA CENTAURI

$$R_p^2 = 20/25 \times 107.000^2 = 9,159 \times 10^9 \text{ km}^2 \quad | \quad R_p = 95.700 \text{ km}$$

El tamaño obtenido para este planeta podría conducir a una discusión sobre si un planeta de este tamaño es posible, o si sería otra estrella. Otra opción es investigar acerca de los tamaños relativos de los exoplanetas existentes y sus estrellas progenitoras y luego modelarlos en nuestra caja.

¿Qué tamaño tiene el exoplaneta descubierto orbitando a *Proxima Centauri*?

Al exoplaneta que orbita a *Proxima Centauri* se le conoce como *Proxima Centauri b* y fue descubierto en 2016 usando el método de velocidad radial (👁️ ver Anexo B).

Sabemos, a partir de mediciones de velocidad radial, que su masa es de 0,004 veces la masa de Júpiter (equivalente a 1,3 veces la masa de la Tierra) y que su periodo orbital es de 11,2 días. La geometría de la órbita de este planeta, desde nuestro punto de vista en la Tierra, hace que el planeta no transite a su estrella anfitriona, por lo que no sería posible determinar su radio utilizando el método del tránsito y las técnicas mostradas en esta actividad. Podemos usar argumentos similares a los utilizados en la pregunta anterior para estimar el tamaño del planeta, usando la relación entre masa, radio y densidad para calcular el radio de *Proxima Centauri b* si tuviera una densidad similar a la Tierra o a Júpiter.

Conclusiones y discusión

Una vez realizados los cálculos, los estudiantes deben poner en común sus resultados con los obtenidos por los otros grupos. Una ampliación podría ser que los grupos no solo comunicaran los resultados, sino

que formateen correctamente sus gráficos, presenten sus cálculos y expliquen sus conclusiones a los otros grupos. Una actividad más enriquecedora implicaría que investigaran e incluyeran en la exposición otro método de detección de exoplanetas.

👁️ *Algunos de los cuales se describen en la información general, Anexo B.*

En un debate sería útil para el alumnado pensar sobre las limitaciones de este modelo y la detección de exoplanetas mediante el método del tránsito. Algunas de estas limitaciones se deben a que:

- En el modelo hemos hecho una simplificación consistente en suponer que el tamaño de la fuente de luz del modelo (estrella) está fija. En realidad, el tamaño de estrellas y planetas varía en tres órdenes de magnitud, por lo que es importante mirar el tamaño relativo entre la estrella y el exoplaneta. En el experimento, la caída observada del brillo de la estrella durante el tránsito es ampliada para una mejor visibilidad. En realidad, la disminución es muy pequeña ya que corresponde a la fracción del disco de la estrella eclipsada por el disco del planeta.
- En nuestro experimento, el tamaño del planeta es demasiado grande para el tamaño de la estrella. En la realidad, sabemos que las estrellas son muchísimo más grandes que los planetas.
- Los exoplanetas pueden encontrarse en cualquier plano orbital respecto a nosotros, por eso no necesariamente pasan por la línea de visión entre nosotros y su estrella.
- El periodo orbital de un exoplaneta puede ser tan grande que no se vea un tránsito en años, o podemos perdérselo completamente si no estamos continuamente observando a la estrella. Además, cuanto mayor sea la órbita, menos probabilidades hay de que el planeta se encuentre en un punto del tránsito.
- En la realidad, nuestro detector también se movería debido al movimiento relativo de la Tierra y la estrella bajo observación, por lo que tendríamos que realizar una corrección.
- Necesitamos observar más de un tránsito para determinar el periodo orbital de un planeta.

En general, es más fácil para los instrumentos detectar el tránsito de grandes exoplanetas, con periodos orbitales cortos, alrededor de estrellas relativamente pequeñas. Esto podría darnos una impresión sesgada de la distribución global de exoplanetas en nuestra galaxia.

Las limitaciones del método de detección por tránsito podrían generar un debate sobre otros métodos de detección de exoplanetas. Por ejemplo, muchos exoplanetas podrían ser detectados por el satélite Gaia usando astrometría. Con este sistema se miden las posiciones de las estrellas de forma tan precisa que se pueden detectar pequeñas oscilaciones en sus órbitas debidas a la interacción gravitacional con los planetas que la orbiten. En este enlace podemos encontrar una animación que ilustra esto: <http://sci.esa.int/gaia/58787-star-and-planet-orbiting-their-common-centre-of-mass/>



ENLACES

ESA misiones relacionadas y ciencia

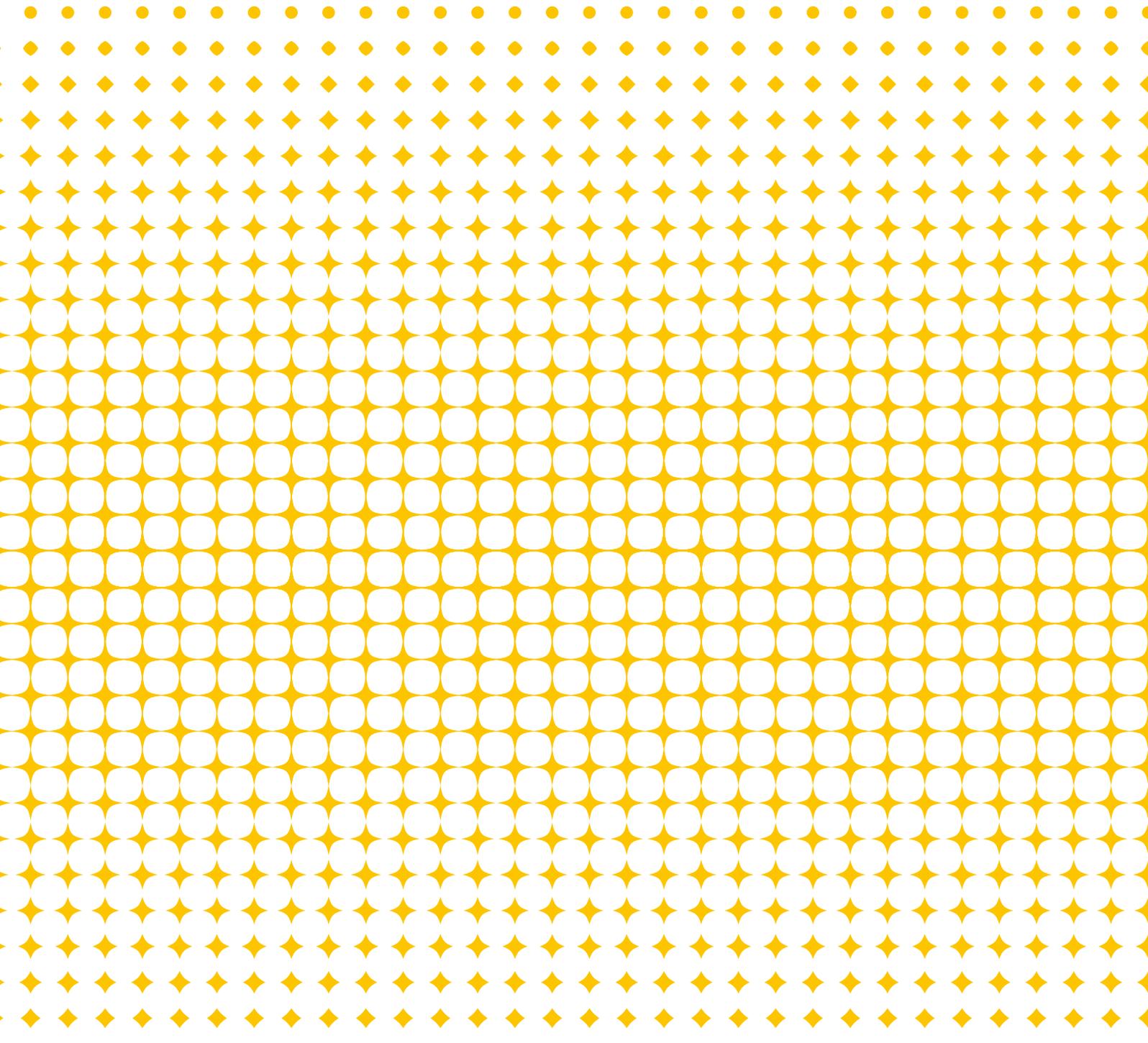
- All about ESA: www.esa.int/About_Us/Welcome_to_ESA Transit method animation: <http://sci.esa.int/gaia/58789>
- CoRoT homepage: <https://corot.cnes.fr/en/COROT/index.htm>
- CHEOPS homepage: <http://sci.esa.int/cheops/>
- Gaia homepage (ESA Science): <http://sci.esa.int/gaia/>
- Gaia exoplanets: <http://sci.esa.int/gaia/58784-exoplanets/>
- Gaia homepage (ESA portal): www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Gaia JWST homepage (ESA Science): <http://sci.esa.int/jwst/>
- JWST homepage (ESA portal): www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/JWST

Exoplanetas

- The Extrasolar Planets Encyclopaedia: <http://exoplanet.eu>
- NASA exoplanet archive: <http://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/index.html> NASA Kepler mission: www.nasa.gov/mision_pages/kepler/overview/index.html
- Interview about the discovery of the first exoplanet around Sun-like star: <https://palereddott.org/interview-to-didier-queloz-from-51-pegasus-to-the-search-for-life-around-small-stars/>
- NASA Solar System planet factsheet: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/>
- New York Times article - Far-Off Planets Like the Earth Dot the Galaxy: <http://www.nytimes.com/2013/11/05/science/cosmic-census-finds-billions-of-planets-that-could-be-like-earth.html>

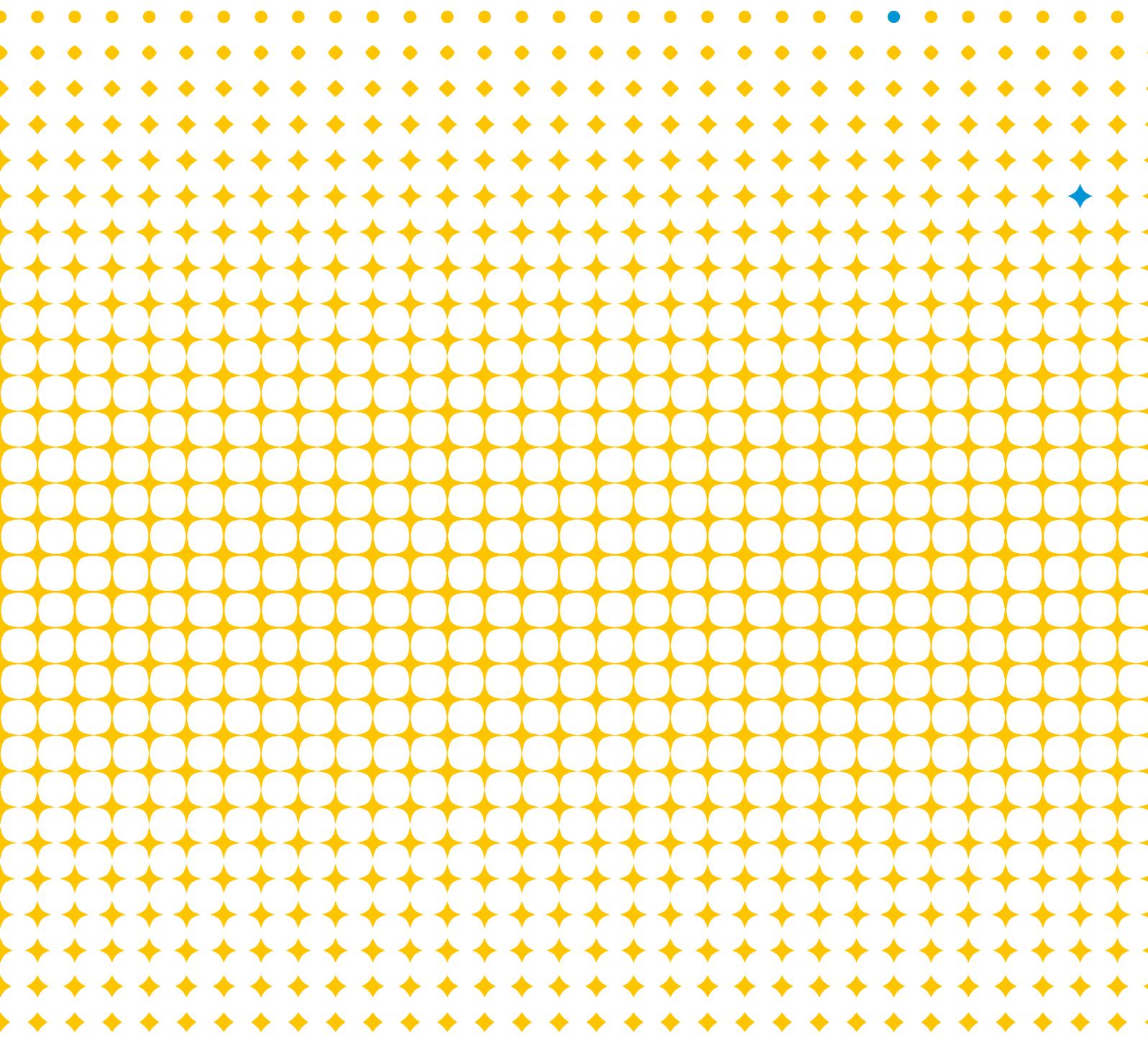
Aprende con una colección del espacio

- Classroom resources: http://www.esa.int/Education/Classroom_resources



bloque 2

anexos



Anexo A

Presentación A. Introducción

12 DIAPOSITIVAS (6/12)

esero **exoplanetas** escondidos en la luz

Buscando exoplanetas

	B	G	H	I	J	K	L
Distancia (a.u.)	1.52	0.72	1.05	1.52	5.20	9.38	12.24
Radio orbital (a.u.)	0.715	0.36	0.525	0.76	2.60	4.69	6.12
Radio orbital (a.u.)	1.52	0.72	1.05	1.52	5.20	9.38	12.24
Radio orbital (a.u.)	0.715	0.36	0.525	0.76	2.60	4.69	6.12

esero **exoplanetas** escondidos en la luz

esa

esero **exoplanetas** escondidos en la luz

Encontrando planetas

- ¿Crees que hay vida en otro planeta?
- ¿Y fuera del Sistema Solar?
- ¿Cuántos planetas crees que hay en nuestra Galaxia?
- De esos planetas, ¿cuántos crees que pueden soportar vida?
- El primer exoplaneta se encontró pasado el 1990, ¿por qué no se encontró ninguno antes?

esero **exoplanetas** escondidos en la luz

esa

esero **exoplanetas** escondidos en la luz

Encontrando planetas

¿Cómo observan el universo los astrónomos?

esero **exoplanetas** escondidos en la luz

esa

esero **exoplanetas** escondidos en la luz

¿Cómo localizarlos?

Las CLAVES para localizarlos han sido:

- La observación cuidadosa de la luz de las estrellas desde hace más de 150 años
- El estudio de las "anomalías" detectadas en la luz que nos llega de las estrellas

esero **exoplanetas** escondidos en la luz

esa

esero **exoplanetas** escondidos en la luz

Las anomalías

- En la radiación infrarroja de una estrella (Hay luz que se "ve" y luz "que no se ve")
- En la espectroscopia de la luz de una estrella
- En la posición de las estrellas

esero **exoplanetas** escondidos en la luz

esa

esero **exoplanetas** escondidos en la luz

Métodos de detección

- Detección directa
- Tránsito
- Velocidad radial
- Microlente gravitacional
- Astrometría

esero **exoplanetas** escondidos en la luz

esa

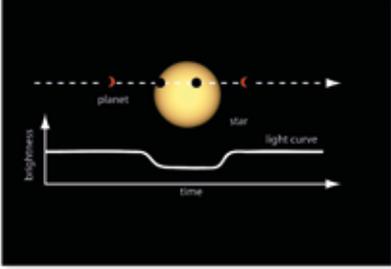
Anexo A

Presentación A. Introducción

12 DIAPOSITIVAS (12/12)

esero **exoplanetas** escondidos en la luz

Tránsitos planetarios



planet star light curve

esero ESA PARQUE DE LAS CIENCIAS

esero **exoplanetas** escondidos en la luz

Exoplanetas descubiertos

3.559

Los científicos han conseguido detectar actualmente 3.559 pero puede haber miles de millones... ¡solo en nuestra galaxia!

esero ESA PARQUE DE LAS CIENCIAS

esero **exoplanetas** escondidos en la luz

Exoplanetas de muchos tipos



Cercanos
Errantes

esero ESA PARQUE DE LAS CIENCIAS

esero **exoplanetas** escondidos en la luz

Exoplanetas de muchos tipos

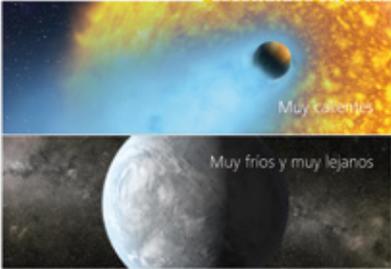


Con atmósfera
Longevos

esero ESA PARQUE DE LAS CIENCIAS

esero **exoplanetas** escondidos en la luz

Exoplanetas de muchos tipos



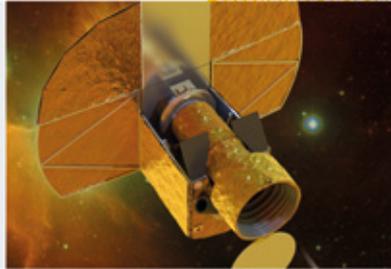
Muy calientes
Muy fríos y muy lejanos

esero ESA PARQUE DE LAS CIENCIAS

esero **exoplanetas** escondidos en la luz

La búsqueda continúa

La Agencia Espacial Europea prepara Cheops, una misión con una fuerte contribución de la ciencia e ingeniería españolas que ahondará en el estudio de los exoplanetas.



esero ESA PARQUE DE LAS CIENCIAS

Anexo A

Presentación B. Discusión inicial

10 DIAPOSITIVAS (5/10)

Spain **esero** **exoplanetas** buscando exoplanetas

Buscando exoplanetas

Simulando tránsitos de exoplanetas



esa PARQUE DE LAS CIENCIAS

Spain **esero** **exoplanetas** buscando exoplanetas

Objetivos

- Comprender cómo podemos usar las **variaciones en la medida del brillo** de una estrella para detectar exoplanetas (método del tránsito).
- Ser capaces de crear un **modelo físico** para representar el **método del tránsito**.
- Conocer cómo usar una **aplicación de recogida de datos e interpretar gráficos de iluminancia** en función del tiempo.

esa PARQUE DE LAS CIENCIAS

Spain **esero** **exoplanetas** buscando exoplanetas

¿Estamos solos?

- ¿Crees que hay vida fuera de nuestro Sistema Solar?
- ¿cuántos planetas crees que puede haber en nuestra galaxia?
- ¿cuántos de esos planetas crees que podrían albergar vida?

A un planeta que **orbite una estrella fuera de nuestro Sistema Solar** se le conoce como **planeta extrasolar o exoplaneta**.

esa PARQUE DE LAS CIENCIAS

Spain **esero** **exoplanetas** buscando exoplanetas

La Vía Láctea contiene alrededor de **doscientos mil millones** de estrellas. Muchas de ellas tienen sistemas planetarios.

Nuestro Sistema Solar
La luz tarda 0,0005 años en llegar de Sol a Neptuno. La luz tarda 5 años en llegar hasta la estrella más próxima.

La galaxia mide aproximadamente 100.000 años luz de diámetro.

De Madrid a Tokio hay aproximadamente 10.000 km. Si este fuera el tamaño de la galaxia, ¿cómo de lejos estaría Neptuno? ¿5 cm!!



esa PARQUE DE LAS CIENCIAS

Spain **esero** **exoplanetas** buscando exoplanetas

¿Cómo podemos encontrar estos planetas?

El primer exoplaneta no fue encontrado hasta 1990s
¿A qué crees que se debe?



esa PARQUE DE LAS CIENCIAS

Anexo A

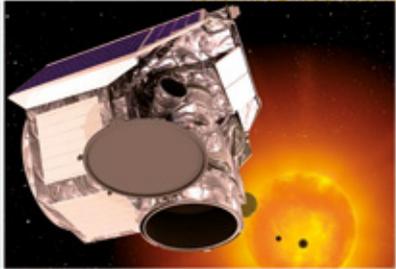
Presentación B. Discusión inicial

10 DIAPOSITIVAS (10/10)

esero exoplanetas
buscando exoplanetas

¿Cómo podemos encontrar estos planetas?

Futuras misiones dedicadas a...

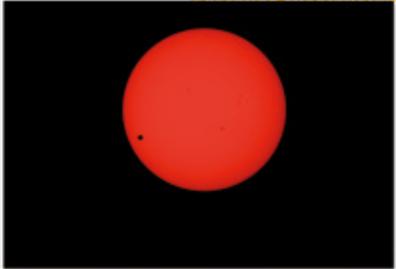


esa PARQUE DE LAS CIENCIAS

esero exoplanetas
buscando exoplanetas

Tránsito de Venus

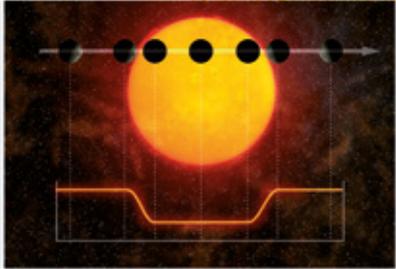
Imagina tratar de ver esto, no desde 8 minutos luz, sino desde 80 años luz!



esa PARQUE DE LAS CIENCIAS

esero exoplanetas
buscando exoplanetas

El método del tránsito



esa PARQUE DE LAS CIENCIAS

esero exoplanetas
buscando exoplanetas

Exoplanetas en una caja



esa PARQUE DE LAS CIENCIAS

esero exoplanetas
buscando exoplanetas

Calculando el tamaño de un exoplaneta

Radio de Próxima Centauri: 107.000 km.
Calculad el radio de vuestros exoplanetas si estuvieran orbitando esta estrella

ECUACIÓN PARA EL ÁREA DE UN CÍRCULO

$$\pi r^2$$

Variación del brillo durante el tránsito = $\frac{\text{área del planeta}}{\text{área de la estrella}}$ x brillo fuera del tránsito

$$\Delta \text{brillo} = \frac{\pi R_p^2}{\pi R_e^2} \times \text{brillo fuera del tránsito}$$

$$R_p^2 = \frac{\Delta \text{brillo}}{\text{brillo máximo}} \cdot R_e^2$$

esa PARQUE DE LAS CIENCIAS

Anexo B Información complementaria



El primer descubrimiento confirmado de un planeta fuera de nuestro Sistema Solar fue en 1992 y la primera confirmación de un planeta orbitando una estrella similar al Sol fuera de nuestro Sistema Solar ocurrió en 1995. Desde entonces, los avances en telescopios espaciales y terrestres han aumentado ese número hasta los más de 3700 planetas en 2018. Hoy sabemos que los sistemas con planetas múltiples (como nuestro Sistema Solar) son relativamente comunes, llegando a más de 620 los descubiertos hasta enero de 2018².

De igual forma que los planetas de nuestro Sistema Solar orbitan al Sol, los exoplanetas orbitan estrellas formando otros sistemas planetarios. Desde su descubrimiento, los exoplanetas han aparecido en cualquier parte y han demostrado ser mucho más diversos de lo que estamos acostumbrados en nuestro Sistema Solar. Por ejemplo, planetas del tamaño de Júpiter han sido descubiertos orbitando a su estrella más cerca de lo que Mercurio orbita al Sol. También hay “super-Tierras” que no son comparables a nada en nuestro Sistema Solar.

Los exoplanetas descubiertos hasta la fecha son muy variados en masa y tamaño.

¿Por qué estudiar exoplanetas?

Aprender más sobre los exoplanetas y la formación de jóvenes sistemas planetarios puede ayudarnos a entender mejor nuestro propio Sistema Solar y su formación. Además de intentar resolver la fascinante pregunta ¿hay vida en algún otro lugar del Universo?

Cada estrella tiene su propia “zona habitable”. Esta región alrededor de las estrellas suele depender del rango de temperatura en el que puede existir agua líquida en la superficie de un planeta. La distancia de esta zona a su estrella, así como su extensión, dependerán de la energía que emita la estrella y de cuánta energía sea absorbida por el planeta.

El gráfico 1 muestra la distribución de exoplanetas confirmados en función de su masa y la distancia a la estrella a la que orbitan.

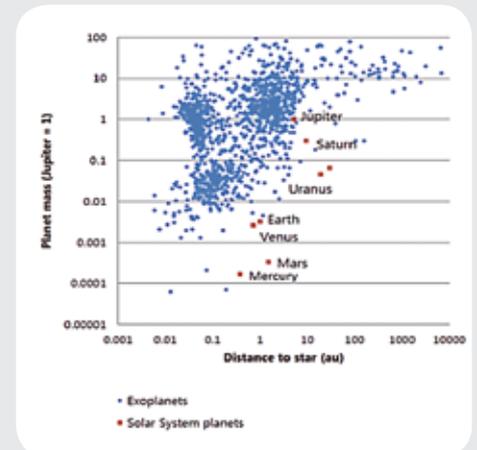


Gráfico 1. Diagrama Masa-Distancia para exoplanetas y planetas del Sistema Solar.

Fuente: <http://exoplanet.eu/>

El gráfico 2 muestra la distribución de planetas confirmados en términos de su tamaño y periodo orbital.

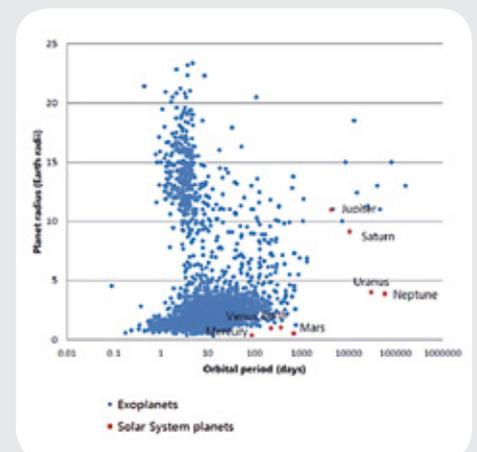
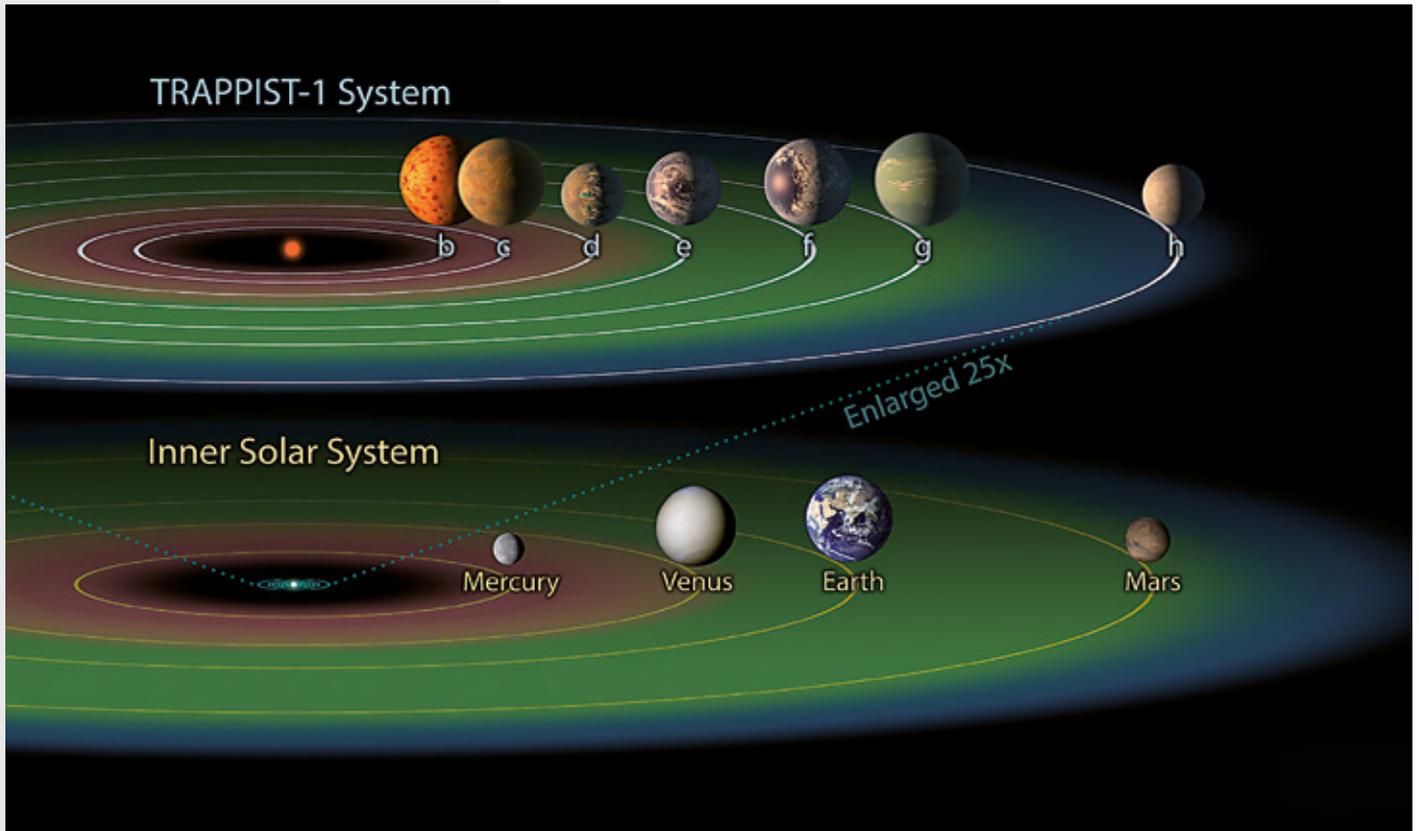


Gráfico 2. Diagrama Radio-Periodo orbital para exoplanetas y planetas del Sistema Solar.

Fuente: <http://exoplanet.eu/>



> Gráfico 3. NASA | JPL-Caltech

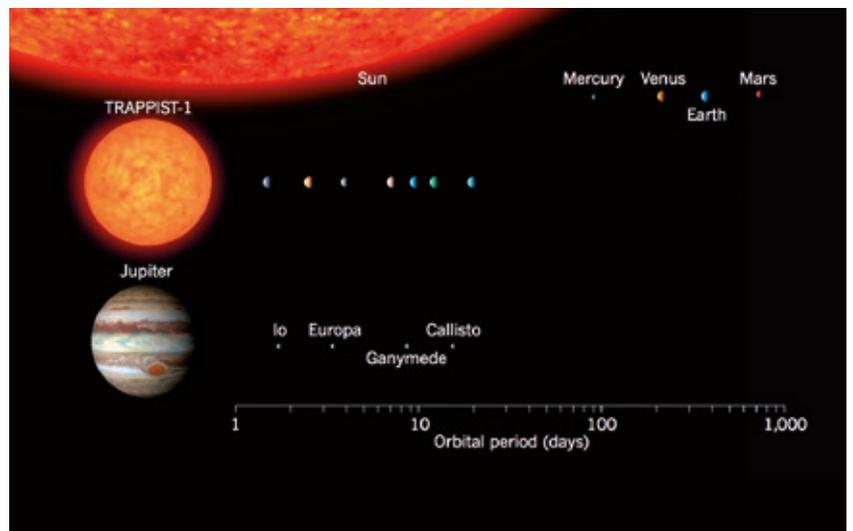


Gráfico 3. El Sistema TRAPPIST-1 contiene un total de siete planetas, todos de un tamaño parecido a la Tierra. La zona de habitabilidad se muestra en verde. El rojo indica la zona que estaría demasiado caliente para que pueda haber agua líquida en el planeta, y el azul es la zona demasiado fría.

Fuente: <https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/details.php?id=PIA21424>

El gráfico 3 muestra una comparativa entre la zona de habitabilidad del sistema recién descubierto TRAPPIST-1 y el nuestro. La estrella del sistema TRAPPIST-1 es ligeramente mayor que el tamaño de Júpiter, casi 10 veces más pequeña que el Sol.

Gráfico 4. Podemos ver los tamaños a escala de planetas de Trappist-1 y la estrella Trappist-1, planetas del sistema solar y el Sol, y lunas de Júpiter y Júpiter. Los periodos orbitales están en escala logarítmica.



> Gráfico 4. NASA

Buscando exoplanetas

Los exoplanetas son difíciles de observar porque están muy lejos, son más pequeños que las estrellas y no emiten luz visible propia (solo emiten radiación infrarroja). Además, pasan desapercibidos entre la brillante luz que emiten las estrellas que orbitan. Hay varias formas para detectar exoplanetas que proporcionan diferente información sobre el sistema planetario.

Método de detección	Descripción	Más información	Nº planetas descubiertos (hasta enero de 2018)	Programas de búsqueda y telescopios espaciales de exoplanetas
Imagen directa o detección directa	Para poder obtener la imagen de un planeta directamente, la luz de la estrella necesita ser enmascarada de alguna manera, ya que de lo contrario ahogaría la luz del planeta. Esto puede lograrse usando un instrumento que bloquee la superficie brillante de la estrella u observando en longitudes de onda infrarrojas en lugar de visibles.	Usando este método se pueden encontrar menos exoplanetas ya que a menudo la estrella es demasiado brillante. La imagen directa se limita a observar planetas que están más distantes de la estrella.	92	Sphere Gemini Planet Imager
Tránsito	Se produce un tránsito cuando un planeta se mueve entre nosotros y la estrella que está orbitando. Cuando esto ocurre, el planeta bloquea algo de la luz de las estrellas. Esto provoca un ligera pero periódica disminución de la cantidad de luz detectada desde la estrella.	Para que este método se pueda utilizar el planeta tiene que pasar delante de la estrella a lo largo de la línea de visión del observador. Es más favorable cuando los planetas están cerca de la estrella. La importancia de este método de detección radica en que con él es posible inferir el período orbital del planeta, su tamaño, su masa e información sobre su atmósfera.	2.780	SuperWASP CoRoT* Kepler and K2*
Velocidad radial	Cuando un planeta orbita alrededor de su estrella hace que ésta también se mueva o se tambalee. La estrella orbita alrededor del centro de masa de todo el sistema planetario. Este movimiento causará cambios en las líneas espectrales de la estrella debido al efecto Doppler.	De la amplitud y el período del desplazamiento Doppler se puede saber el número de planetas que orbitan una estrella. Cuanto mayor es la masa del planeta, mayor es el efecto que tiene sobre la estrella, por lo que los planetas más pesados suelen descubrirse usando este método.	741	Harpis Espresso Carmenes
Microlente gravitacional	Una estrella y su exoplaneta pueden hacer que la luz de una estrella más lejana se doble, debido a su campo gravitatorio. Este efecto actúa como una lente. La gravedad de una estrella y de un planeta puede doblar y enfocar la luz de una estrella más distante de modo que parezca más brillante visto por un observador.	Pocos planetas son detectados usando este método, ya que requiere una alineación altamente improbable entre todos los cuerpos. Si se detecta un planeta mediante la microlente gravitacional el fenómeno nos puede dar información sobre la distancia del planeta a su estrella y sobre su masa.	65	Ogle
Astrometría	Al igual que el método de velocidad radial, implica buscar el pequeño bamboleo de una estrella causado por un planeta que la orbita. Sin embargo, en este método la estrella parece describir una pequeña circunferencia contra el cielo de fondo. El radio de esta circunferencia depende de la masa del planeta y de su distancia a la estrella.	La astrometría requiere mediciones repetidas de la misma estrella durante un período de tiempo. También requiere instrumentos extremadamente precisos para medir los movimientos de la estrella.	1	Gaia
Otros			49	Gaia

El Método de los Tránsitos de Exoplanetas

El método en el que se centra esta actividad ha permitido detectar la mayoría de los exoplanetas descubiertos hasta el momento.

Un tránsito ocurre cuando un cuerpo celeste pasa por delante de otro. Dentro de nuestro Sistema Solar, y desde nuestro punto de vista en la Tierra, los dos planetas más internos, Mercurio y Venus pueden transitar el disco del Sol. Los exoplanetas se pueden observar transitando su estrella siempre que el planeta se mueva entre nosotros y la estrella a lo largo de la línea de visión del observador.

Cuando un planeta cruza delante de su estrella el planeta bloquea una pequeña parte de la luz de la estrella, por lo tanto, se detectará un ligero oscurecimiento de la luz de ésta.

¿Qué información podemos obtener de los tránsitos?

La cantidad de luz que nos llega de una estrella en función del tiempo puede representarse como una curva de luz que puede variar en un periodo de tiempo. El gráfico 5 muestra la típica curva de caída de luz que presentaría una estrella transitada por un planeta.

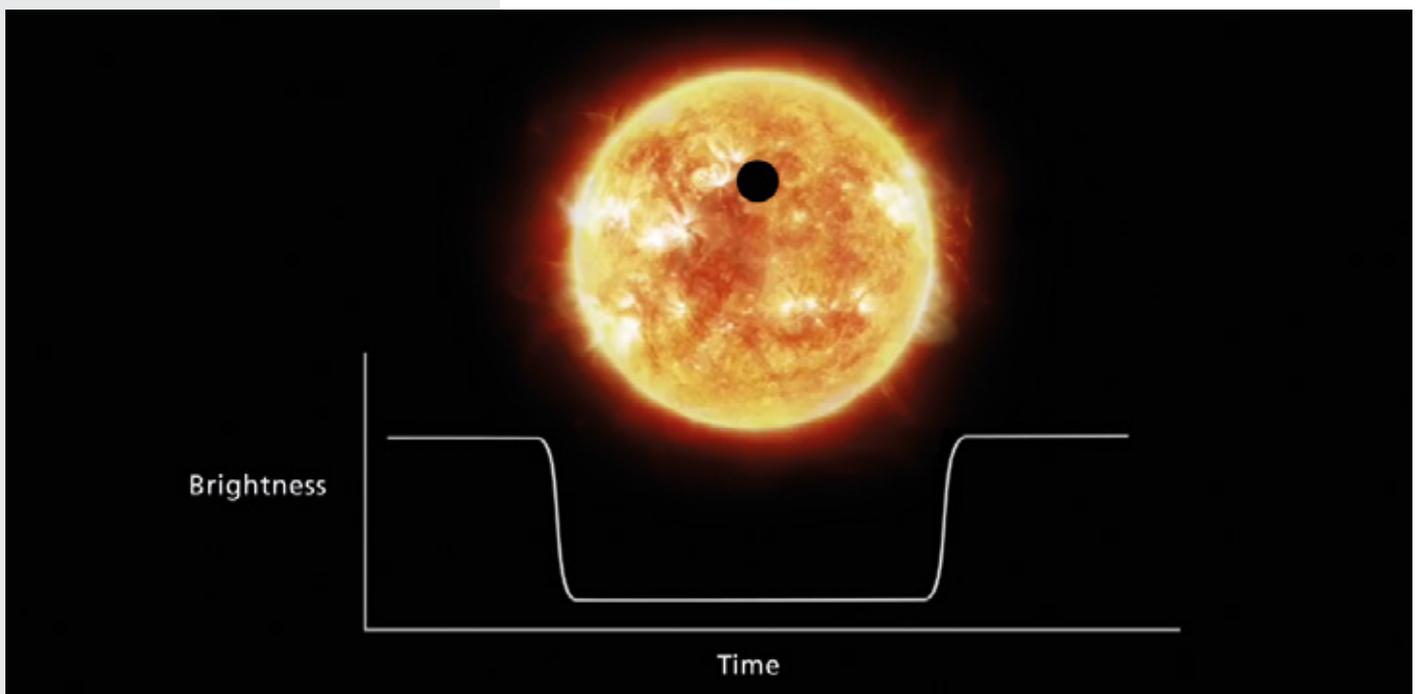


Gráfico 5. Impresión artística de un planeta transitando una estrella. Crédito ESA/ATG medialab.

Un tránsito se muestra como una disminución en la curva de luz. Si combinamos la profundidad y duración de esa caída de luz con los datos conocidos sobre la estrella y su masa, obtendremos mucha información sobre el planeta en órbita. Por ejemplo, un planeta más grande creará una disminución más profunda porque eclipsará más luz de la estrella.

Este método es particularmente útil para calcular el radio de un exoplaneta por el porcentaje de oscurecimiento en el brillo de la estrella causado por el planeta. El cambio relativo en el brillo es igual a la relación del área de los discos de la estrella y el planeta, por lo tanto, el radio del planeta puede entonces calcularse como sigue:

$$\text{variación del brillo durante el tránsito} = \frac{\text{área del planeta}}{\text{área de la estrella}} \times \text{brillo fuera del tránsito}$$

$$\text{variación del brillo durante el tránsito} = \frac{\pi R_p^2}{\pi R_s^2} \times \text{brillo fuera del tránsito}$$

$$\pi R_p^2 = \frac{\text{variación del brillo durante el tránsito}}{\text{brillo fuera del tránsito}} \times \pi R_s^2$$

¿Qué más información nos puede dar?

Además de esto, podemos aplicar las leyes de Kepler y las leyes de movimiento y gravitación de Newton para obtener información sobre la órbita del planeta: semieje mayor, velocidad orbital, radio, inclinación de la órbita...

Con algunas suposiciones sobre las propiedades de la atmósfera del planeta (por ejemplo, albedo, recirculación del calor) también es posible estimar la temperatura de equilibrio del planeta utilizando nuestro conocimiento de la órbita del planeta y la temperatura efectiva de la estrella.

Cuando un planeta transita por la estrella, la luz de la estrella pasa a través de la atmósfera del planeta. Usando la espectroscopía es posible descubrir qué elementos están en la atmósfera y si contiene indicadores de vida como, por ejemplo, oxígeno libre o dióxido de carbono.

Un tránsito planetario típico dura solo unas pocas horas. Por lo tanto, es necesario monitorizar continuamente la estrella durante muchos días (según el período orbital del planeta) para ver el tránsito, o saber cuándo debemos observar. Otra consideración al determinar el tamaño de un exoplaneta a partir de un tránsito es que para un planeta del tamaño de la Tierra que transita una estrella similar al Sol, la relación del área de la estrella al área del planeta es solo del 0.01%. Por lo tanto, los instrumentos diseñados para detectar tránsitos de exoplanetas, particularmente de planetas del tamaño de la Tierra, necesitan realizar mediciones de alta precisión del brillo.

OBSERVANDO EXOPLANETAS

Desde el descubrimiento del primer exoplaneta, la búsqueda de exoplanetas ha continuado con muchos telescopios terrestres y espaciales.

Algunos de los principales proyectos terrestres son los siguientes:

- HARPS, un espectrógrafo instalado en el telescopio de 3,6 m de la ESO en el Observatorio de La Silla, en Chile.
- SuperWASP, que consta de dos telescopios: uno en La Palma (Islas Canarias) y uno en Sutherland, Sudáfrica.

Los telescopios terrestres tienen una sensibilidad limitada debido al efecto distorsionador de la atmósfera terrestre.

PROYECTOS EN EL ESPACIO

CoRoT (2006). Esta misión, encabezada por la Agencia Espacial Nacional de Francia (CNES), fue la primera misión espacial dedicada a la investigación exoplanetaria y diseñada para este fin. CoRoT reveló varios cientos de exoplanetas candidatos, de los cuales 34 fueron confirmados.

KEPLER. Lanzado en 2009 por la NASA, Kepler ha descubierto más de 2000 planetas fuera de nuestro Sistema Solar también utilizando el método de detección del tránsito.

Hasta hoy son más de 3700 (enero 2018) exoplanetas conocidos y más de 620 sistemas planetarios con más de un planeta en órbita. Las futuras misiones de exoplanetas están siendo diseñadas, no necesariamente para buscar nuevos planetas, sino para dar los primeros pasos en caracterizar los exoplanetas conocidos.

FUTURAS MISIONES

CHEOPS es una misión de la Agencia Espacial Europea planeada para su lanzamiento en 2018. CHEOPS se dirigirá a exoplanetas conocidos que transitan cerca de estrellas brillantes para determinar con mayor precisión sus radios. Para aquellos planetas de masa conocida la densidad también será estudiada, dando una indicación de la composición y estructura de los planetas.

También identificará objetivos para estudios de habitabilidad utilizando futuros telescopios terrestres y espaciales, incluyendo el Telescopio Espacial Internacional James Webb que se lanzará en 2018.

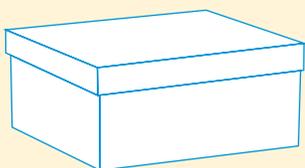
Anexo C

Instrucciones para la construcción del módulo “Exoplaneta en una caja”

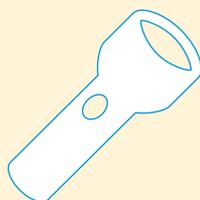
Hay dos guías de construcción que muestran dos alternativas para construir la caja. Un método usa una caja de zapatos y el otro, una caja de tóner de Impresora. Las instrucciones para los dos diseños de “Exoplaneta en una caja” se adjuntan a continuación:

C.1. Versión caja de zapatos

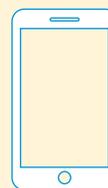
A/ Materiales



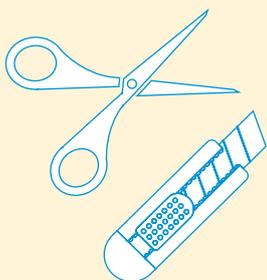
**Caja de zapatos
de cartón**
o similar con tapa



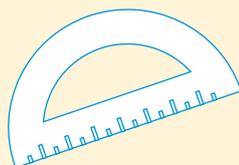
Linterna LED



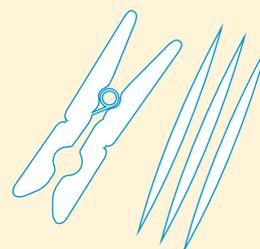
Medidor de luz
(por ejemplo, teléfono
inteligente con aplicación
o un *datalogger*)



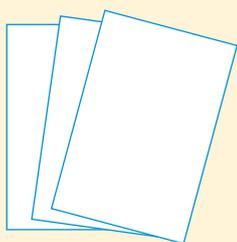
Cúter | Tijeras



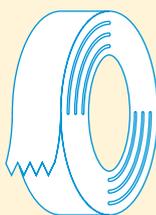
**Transportador
de ángulos
semicircular**



**Pinza de la ropa
y palillos o palos de
pinchitos de madera**



Folios



Cinta adhesiva



Plastilina
o similar

B/ Instrucciones

1

Si la parte exterior de la tapa de su caja tiene una superficie oscura, puede colocarle una hoja de papel en blanco para facilitar la lectura de las medidas una vez que comience a hacer el experimento.

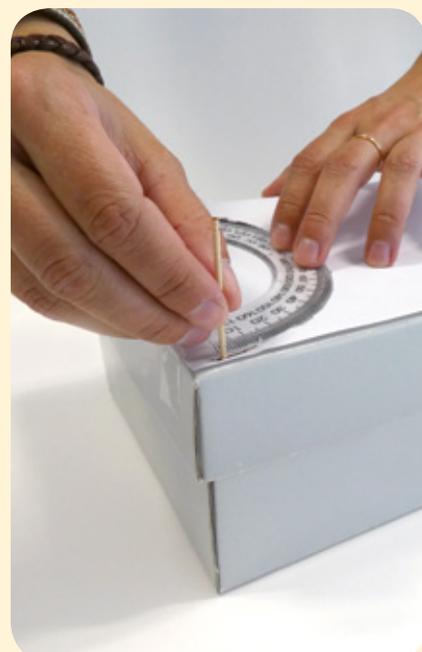


2

Use cinta adhesiva para unir su transportador a la tapa de la caja de forma que quede alineado con uno de los lados estrechos.

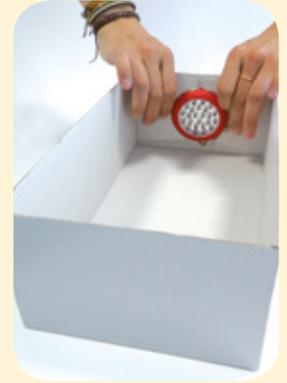
3

Use un cúter para cortar cuidadosamente alrededor del borde del transportador. Puede ajustar la órbita del exoplaneta cortando un semicírculo más alejado de la fuente de luz. Un camino orbital más alejado de la fuente de luz puede producir una sombra más enfocada. Mueva el palillo en la ranura para facilitar el movimiento durante la toma de datos.



4

Haga un agujero en el extremo de la caja (en el mismo lado del transportador) que sea lo suficientemente grande como para que pase la linterna. Sujete la linterna firmemente en el agujero.

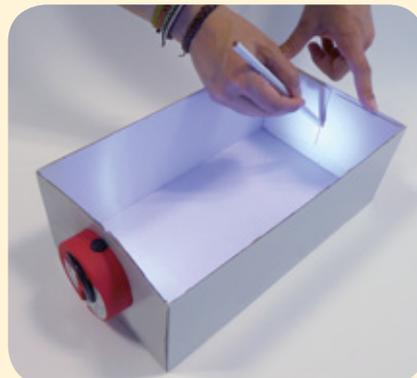
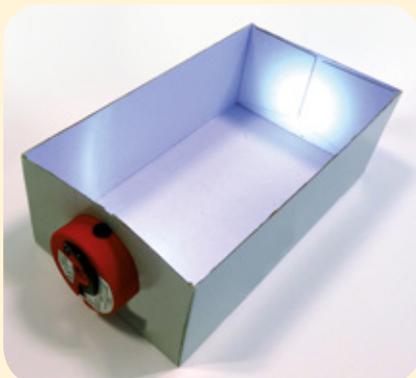


5

Use un palillo para medir la profundidad al centro de la linterna. Haga una marca en el palillo y coloque la pinza de la ropa en esa marca.

6

Inserte el palillo en la ranura alrededor del transportador. Compruebe que puede moverlo los 180° del semicírculo completo. Es posible que necesite usar de nuevo el cúter para que el movimiento sea fluido.

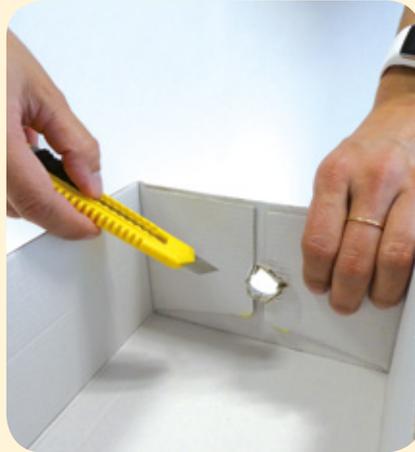


7

Encienda su linterna y haga una marca en el lado opuesto a ésta, justo en el centro del haz de luz.

8

En la marca realizada en el paso anterior, haga un agujero suficientemente grande como para que pueda entrar el sensor de luz.



9

Construya su exoplaneta y pínchelo en el extremo del palillo. Cierre la tapa de la caja.

10

Encienda su *datalogger* y sitúe el sensor en el agujero para tomar lecturas. Alternativamente, podemos situar el *datalogger* dentro de otra caja, sujeto por una solapa de cartón o pegado con cinta adhesiva.



11

Mueva la pinza para que el exoplaneta transite a nuestra fuente de luz y compruebe que el *datalogger* muestra un descenso en el nivel de luz. Es probable que necesite ajustar la posición del exoplaneta y/o del *datalogger*.

12

Se recomienda oscurecer el interior de la caja pintándolo de negro o cubriéndolo con cartulina negra para evitar reflejos.

C.2. Versión caja de tóner de impresora A/ Materiales



**Caja de tóner
de cartón
rectangular**



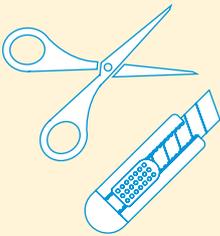
**Pintura negra
o papel negro**
suficiente para cubrir
el interior de la caja



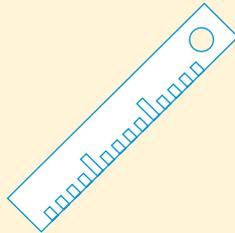
**Linterna LED
circular**
5 cm de diámetro
aproximadamente



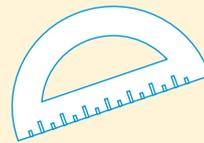
Luxómetro
(*Datalogger*)



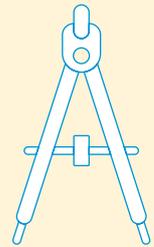
Cúter | Tijeras



Regla



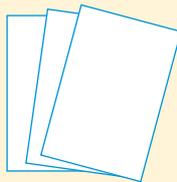
**Transportador
de ángulos**



**Compás
de dibujo**



Cartón y papel
para construir dos
círculos de 8 cm
de radio



Cartón extra
para construir el
soporte para la fuente
de luz y el luxómetro



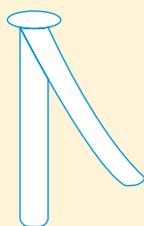
**Palillos o palos
de pinchitos de
madera**



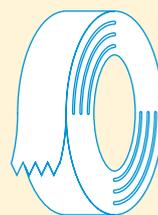
Plastilina
o similar



Lápiz



Encuadernador



**Cinta aislante
negra**

B/ Instrucciones

1

En primer lugar, prepare el disco sobre el que irá montado el exoplaneta. En una cartulina o cartón dibujaremos un círculo de 8 cm de radio. Se pueden recortar dos círculos, que pegaremos entre sí, en lugar de uno solo, para darle más resistencia.



2

Trace una línea que divida en dos mitades iguales el círculo. Con un transportador dividiremos una de las mitades en segmentos de 5° o 10° . Este paso puede realizarse de dos maneras: dibujando las líneas directamente sobre el cartón o con un programa de dibujo digital e imprimiendo el círculo con sus divisiones.





3

Usando un cúter, recortaremos una sección rectangular en la parte superior de uno de los extremos de la caja. Debe ser suficientemente grande para que el exoplaneta pueda orbitar libremente frente a la fuente de luz, pero más pequeña que el disco, de forma que al colocarlo encima no entre luz exterior.



4

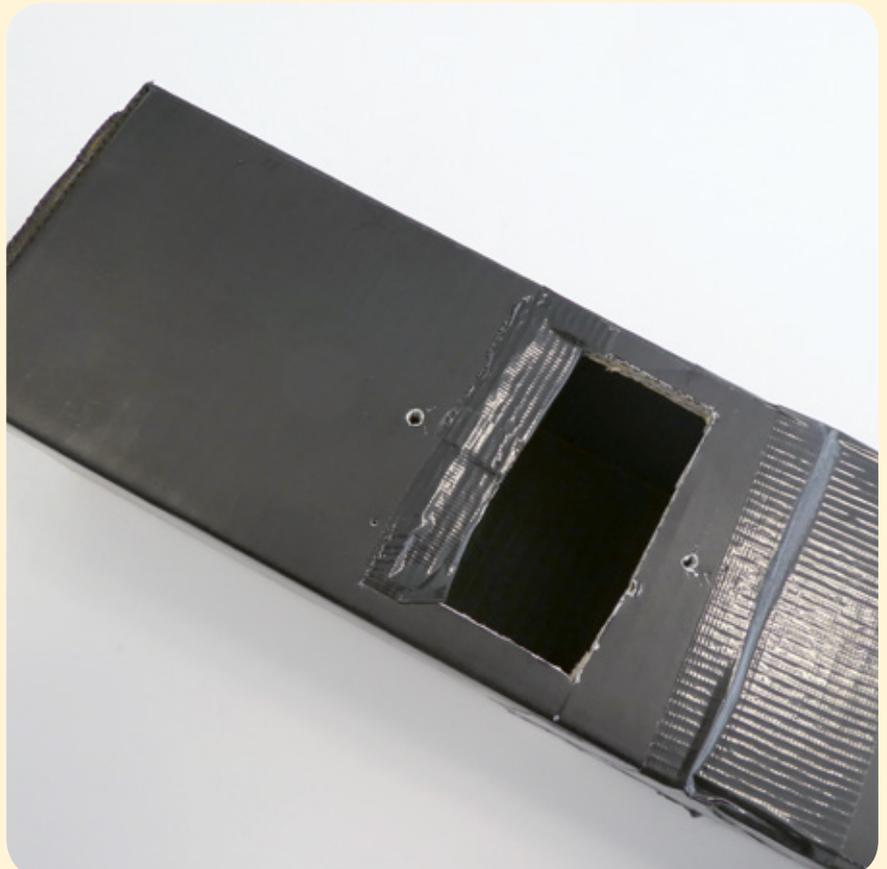
Es posible que sea necesario retocar la abertura que acabamos de realizar hasta que el exoplaneta orbite con fluidez.

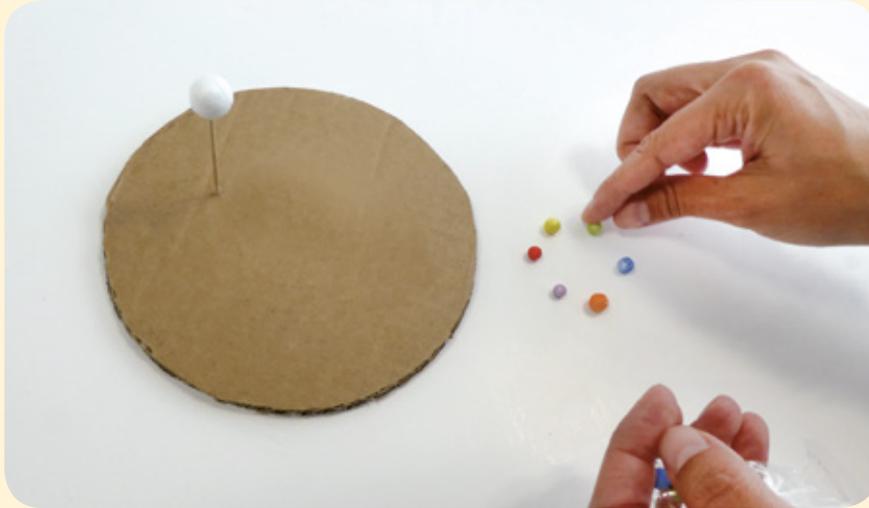
5

El interior de su caja debe quedar lo más oscuro posible para evitar reflejos. Se puede pintar el interior de negro o cubrirlo con cartulina o papel negro. En el ejemplo, la caja se ha pintado por dentro y por fuera con pintura negra.

6

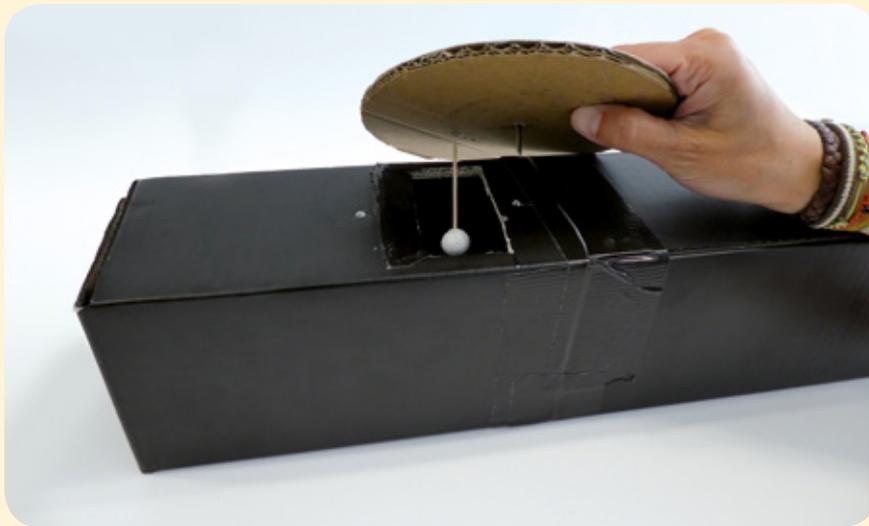
Será necesario usar cinta adhesiva (lo ideal es hacerlo con cinta aislante negra) para sellar cualquier ranura.





7

Construiremos el planeta haciendo una bolita de plastilina (o similar) y la uniremos al extremo de un palillo. Lo sujetaremos al disco, por el lado sin graduar, con masilla o cinta adhesiva. Debe quedar a una altura que coincida con la línea central de la fuente de luz, si es más largo cortaremos el palillo por donde proceda.



8

Colocaremos el encuadernador en el centro del disco graduado y lo fijaremos encima de la caja, de forma que el planeta pueda girar libremente al mover el disco.

10

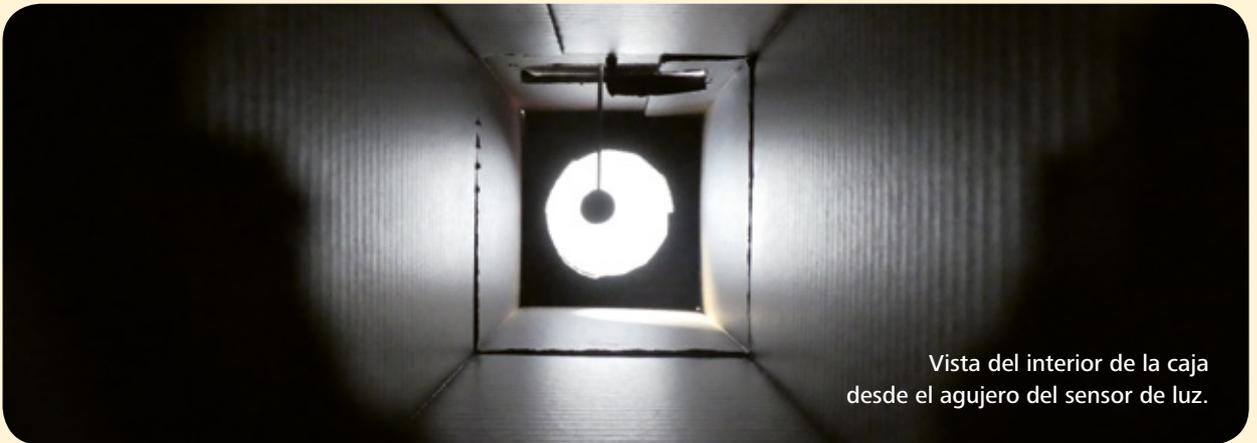
Para montar la fuente de luz se puede realizar un agujero del tamaño de nuestra linterna o construir un módulo de cartón para alojarla. Es importante que encaje bien para que no entre luz del exterior.





11

Para colocar el sensor de luz, realizaremos un agujero en el lado opuesto de la caja justo en el centro del haz de luz e introduciremos nuestro sensor. Si es necesario podemos envolverlo en un pequeño tubo de cartón o PVC para que ajuste mejor.



Vista del interior de la caja desde el agujero del sensor de luz.



i Anexo D

Cuaderno del profesorado
MANUAL DE USO DE LABQUEST

El procedimiento a seguir será el siguiente:

1

Encender el labquest y conectar el sensor.



2

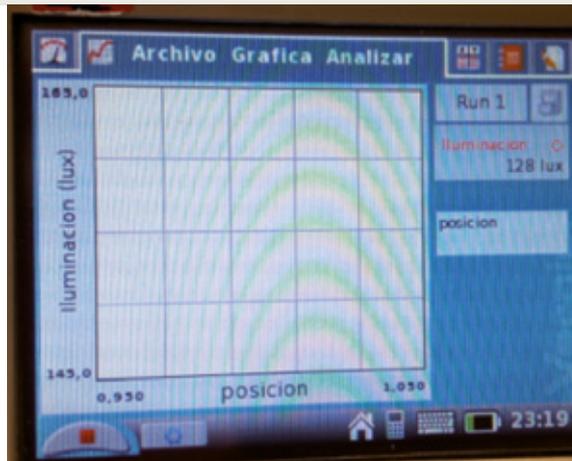
Programar la toma de datos del Labquest:

- Pinchamos sobre **Modo** y seleccionaremos **Eventos con entrada**
- Llamaremos al evento **Posición**. **No escribir nada en las unidades.**
- Pulsar **Ok**.



3

Para comenzar el experimento hay que pulsar sobre el **triángulo verde** que aparece en la parte inferior izquierda. Nos aparecerá la siguiente pantalla. Con este modo de trabajo estamos imitando una tabla de toma de datos; en una columna vamos poniendo las posiciones y en la otra el valor que nos marca el sensor para cada posición del planeta. Sería aproximadamente como se muestra en el cuadro de la derecha:

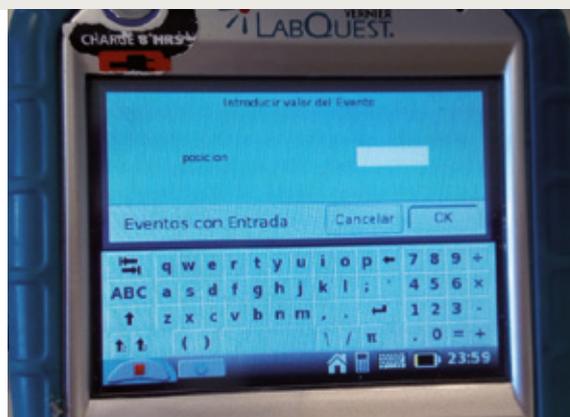


👁 *Pero no debemos anotarlo. Ya lo hace el LabQuest.*

Posición	Iluminancia (Lux)
0	560
1	560
2	561

4

¿Cómo tomamos un dato? Pulsando sobre la **ruleta azul** que hay al lado del **triángulo verde**. Nos aparece una pantalla de diálogo donde debemos anotar la posición y pulsar sobre **Ok**.



5

Movemos el **planeta** hacia la siguiente marca y repetimos el experimento.

6

Cuando hayamos completado el tránsito, después del último dato tomado, pulsamos el **botón rojo** para terminar el experimento.

7

Representación gráfica de los datos.

La gráfica se nos muestra a medida que vamos tomando datos.

8

¿Cómo ver los **valores máximos y mínimos**? El programa nos puede proporcionar los valores máximos y mínimos obtenidos. Debemos pulsar sobre **Estadísticas** y seleccionar **Iluminancia** con el puntero. En la parte izquierda nos aparecerán los valores máximos y mínimos.



Anexo E

Cuaderno del profesorado
DETECTIVE DE EXOPLANETAS

Buscando exoplanetas

1. Cuando un planeta pasa delante de la estrella a la que orbita (siempre desde nuestra posición) se produce lo que conocemos como un tránsito planetario (o eclipse). Desde nuestra posición en el sistema solar, ¿que tránsitos podemos ver desde la Tierra en el sistema solar?

2. En el experimento del tránsito planetario que te presentamos, indica:
a) ¿Cuál es la variable independiente? ¿Cuáles son sus unidades?

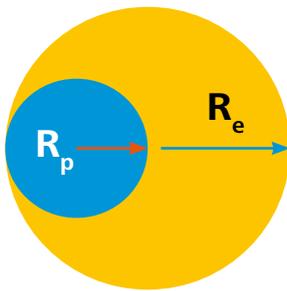
- b) ¿Cuál es la variable dependiente? ¿Cuáles son sus unidades?

3. ¿Qué forma tiene la gráfica? ¿Qué crees que significa?



Cálculo del tamaño del exoplaneta

La caída en la iluminancia está relacionada con la fracción del disco solar que el planeta bloquea, más concretamente está relacionada con el área del disco del planeta y con el área del disco de la estrella.



$$R_p^2 = \frac{\Delta \text{brillo}}{\text{brillo máximo}} \cdot R_e^2$$

Calcula el radio de tu exoplaneta. Suponiendo que orbita alrededor de la estrella *Alfa Centauri*, que tiene un radio de 900.000 km. Los valores necesarios debemos encontrarlos en la gráfica:

Caída del brillo
Valor máximo del brillo

A partir de los datos, calcula el radio del planeta:

 km
Radio de la estrella km
Radio del planeta

4. ¿Cuándo comienza el tránsito?

5. ¿Se mantiene la bajada durante un tiempo? ¿Qué significa esto?

6. ¿Qué ocurriría si el tamaño del planeta fuera diferente?

7. ¿Qué ocurre si variamos la distancia entre el planeta y el detector?

En este cuaderno...



actividades
ejercicios
experimentos



enlaces
información web



gráficas
infografías
tablas



información
complementaria



materiales
recursos
instrucciones



indicaciones
de seguridad

Otros cuadernos didácticos

Consulta todos los disponibles
y descárgalos de la web www.esero.es



Detective de exoplanetas

ESCONDIDOS EN LA LUZ

Modelado de tránsitos de exoplanetas.

PRIMARIA



Ingeniero de astronaves

LA ALEACIÓN PERFECTA

Descubre las distintas propiedades
de los materiales.

PRIMARIA



Lanzador de cohetes

TECNOLOGÍA ESPACIAL

Calcula y diseña tu propio lanzamiento.

PRIMARIA



Observador de la tierra

CENTINELA INCANSABLE

Recogida y análisis de información
para comprender mejor nuestro planeta.

PRIMARIA



Detective de exoplanetas

ESCONDIDOS EN LA LUZ

Modelado de tránsitos de exoplanetas.

SECUNDARIA Y BACHILLERATO



Ingeniero de aeronaves

LA ALEACIÓN PERFECTA

Descubre las distintas propiedades de los materiales.

SECUNDARIA Y BACHILLERATO



Lanzador de cohetes

TECNOLOGÍA ESPACIAL

Calcula y diseña tu propio lanzamiento.

SECUNDARIA Y BACHILLERATO

Spain



EUROPEAN SPACE EDUCATION RESOURCE OFFICE
A collaboration between ESA & national partners

Colaboradores ESERO Spain. Septiembre 2018

- ANDALUCÍA.** Consejería de Educación de la Junta de Andalucía
- ARAGÓN.** Fundación Centro Astronómica Aragonés
Espacio 0.42
Fundación Ibercivis
- ASTURIAS.** Consejería de Educación y Cultura del Gobierno del Principado de Asturias
- CANARIAS.** Consejería de Educación y Universidades del Gobierno de Canarias
- CATALUÑA.** CESIRE (Centre de Recursos Pedagògics Específics de Suport a la Innovació i la Recerca Educativa). Departament d'Ensenyament. Generalitat de Catalunya
- GALICIA.** Consellería de Cultura, Educación e Ordenación Universitaria de la Xunta de Galicia
- MADRID.** Consejería de Educación e Investigación de la Comunidad de Madrid
Grupo de Investigación en Nutrición, Ejercicio y Estilo de Vida Saludable. INEF. Universidad Politécnica de Madrid
- MURCIA.** Consejería de Empleo, Universidades y Empresa Región de Murcia
- NAVARRA.** Pamplonetario
- VALENCIA.** Ciutat de les Arts i les Ciències. Generalitat Valenciana



DE-SB-01

Cuaderno del profesorado
**Secundaria
Bachillerato**

Detective de
exoplanetas
ESCONDIDOS EN LA LUZ
Modelado de tránsitos de exoplanetas.