

Spain

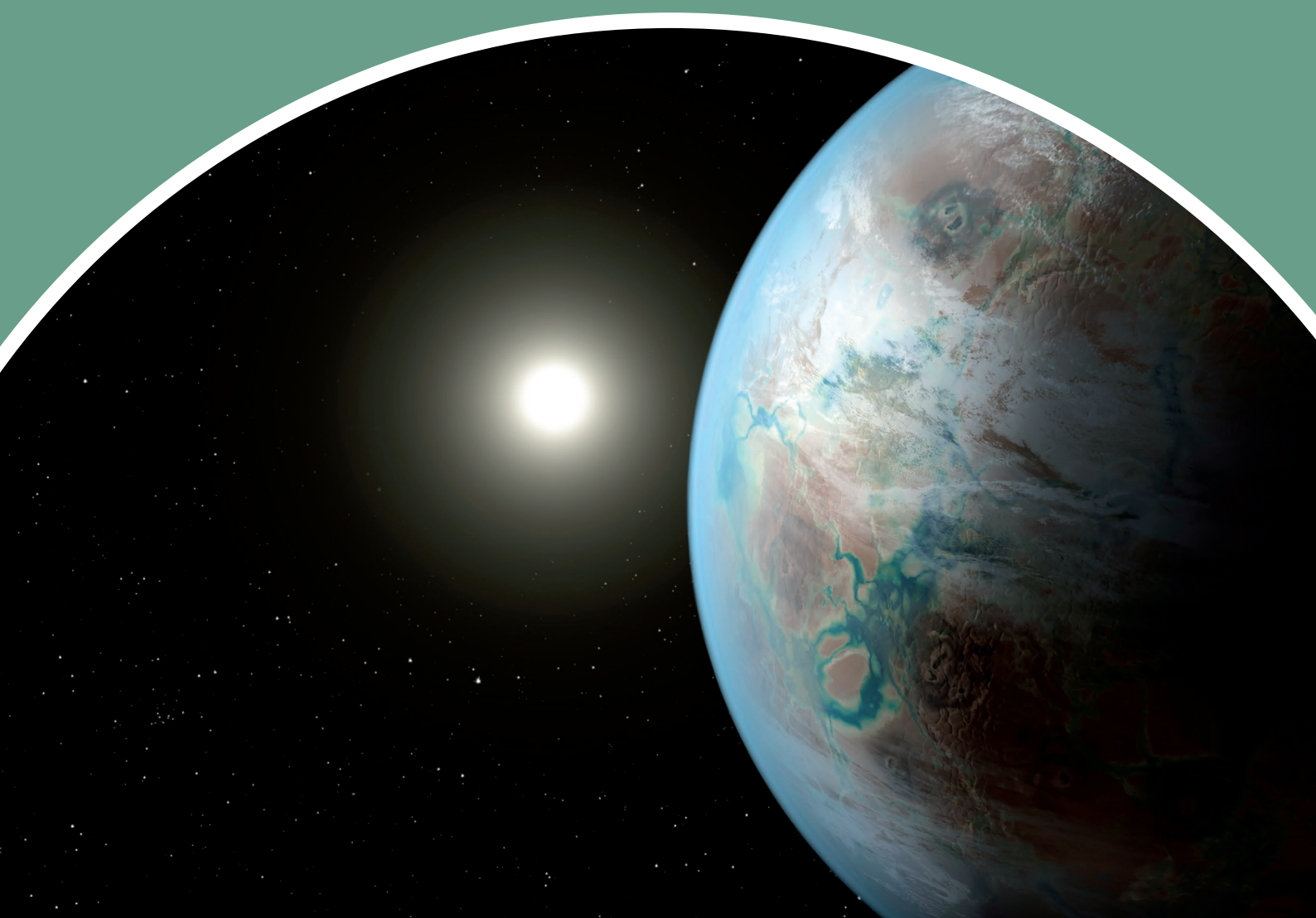


DETECCIÓN DE EXOPLANETAS
Escondidos en la luz

DE-SB-01

Modelado de tránsitos de exoplanetas

A la caza de planetas fuera del Sistema Solar



SUMARIO

3	Datos básicos
4	Introducción
5	Resumen de las actividades
6	Actividad 1: Discusión inicial
9	Actividad 2: Exoplaneta en una caja
11	Actividad 3: Análisis de las curvas de luz
13	Actividad 4: Calculando el tamaño relativo de un exoplaneta
17	Fichas de trabajo para el alumnado
21	Anexos
39	Enlaces de interés

DE-SB-01

Modelado de tránsitos de exoplanetas

A la caza de planetas fuera del Sistema Solar

1ª Edición. Mayo 2020

Guía para el profesorado

Ciclo
Secundaria y bachillerato

Edita
Esero Spain, 2020 ©
Parque de las Ciencias. Granada

Traducción
Dulcinea Otero Piñeiro

Dirección
Parque de las Ciencias, Granada.

Créditos de la imagen de portada:
Kepler-186f (NASA/SETI/JPL)

Créditos de la imagen de la colección:
ESA/ NASA/ UCL (G. Tinetti)

Basado en la idea original:
EXOPLANETS DETECTIVE
The search for planets beyond our solar system
Colección "Teach with space"
Una producción de ESA Education

Objetivos didácticos



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

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.

Contenidos

- Detección de un exoplaneta usando el método de 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 (*data-logging*).
- Interpretación gráficos.



90 min.

Materia

Física

Intervalo de edades

De 12 a 18 años

Tipo de actividad

Actividad dirigida por el alumnado

Dificultad

Media

Coste

Medio (entre 5 y 25 euros para la construcción de un simulador "Exoplaneta en una caja")

Lugar para realizar la actividad

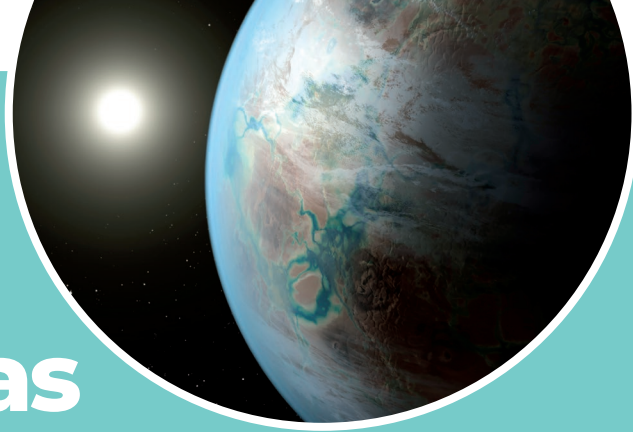
Aula o laboratorio

Incluye el empleo de

Data logger o smartphone con sensor de luz y aplicación instalada que mida la intensidad de la luz.

Modelado de tránsitos de exoplanetas

Introducción



- 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 orbitando una estrella típica se parece a lo que conocemos como “Júpiter caliente”, un planeta gigante que orbita cerca de su estrella. Se llama 51 Pegasi b y lo descubrieron Michel Mayor y Didier Queloz de la Universidad de Ginebra en 1995. Entonces fue considerado una revolución para la astronomía por la que en el 2019 ambos fueron galardonados con el premio Nobel de Física. En mayo de 2020 se han conseguido localizar más de 4200 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 está detectando desde el espacio la misión CHEOPS.

CHEOPS es un telescopio espacial de la Agencia Espacial Europea, construido en España, que ha sido lanzado al espacio en diciembre de 2019. Es capaz de medir el radio de los exoplanetas con una precisión sin precedentes.

¿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

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!

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. ●



ACTIVIDADES

01

DISCUSIÓN INICIAL

Descripción

Utilizaremos una presentación para introducir el tema de los exoplanetas. Mediante preguntas conduciremos a los alumnos a que se planteen una serie de preguntas.

Resultado

Dar respuesta a las preguntas planteadas para establecer un debate inicial.

Requisitos

Ninguno

02

EXOPLANETA EN UNA CAJA

Descripción

La actividad intentará dar a entender cómo podemos usar variaciones en la intensidad de la luz de una estrella para detectar exoplanetas

Resultado

Ser capaz de crear un modelo físico del método de tránsito. Saber utilizar las aplicaciones de registro de datos e interpretar gráficas de intensidad de la luz en función del tiempo.

Requisitos

Haber realizado la actividad 1.



ACTIVIDADES

03

ANÁLISIS DE LAS CURVAS DE LUZ

Descripción

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

Resultado

Ser capaces de demostrar que un exoplaneta más grande conllevará un descenso más acusado en el nivel de luz y que un período orbital más corto significará una curva más estrecha en su gráfico.

Requisitos

Haber realizado la actividad 2.

04

CALCULANDO EL TAMAÑO RELATIVO DE UN EXOPLANETA

Descripción

Mirando el cambio relativo en la intensidad de la luz, los estudiantes pueden calcular el tamaño de su exoplaneta.

Resultado

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 orbita alrededor de Próxima Centauri, los estudiantes pueden calcular el tamaño de su exoplaneta.

Requisitos

Haber realizado la actividad 3.

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:



Ejercicios

1

- 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.

e1

En el **Anexo 1** se encuentra una presentación que puede visualizarse como introducción. Discutiremos con el alumnado las siguientes preguntas:

¿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, también que hay muchas estrellas con sistemas de planetas, por lo que es probable que haya muchos miles de millones dentro de nuestra galaxia.

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

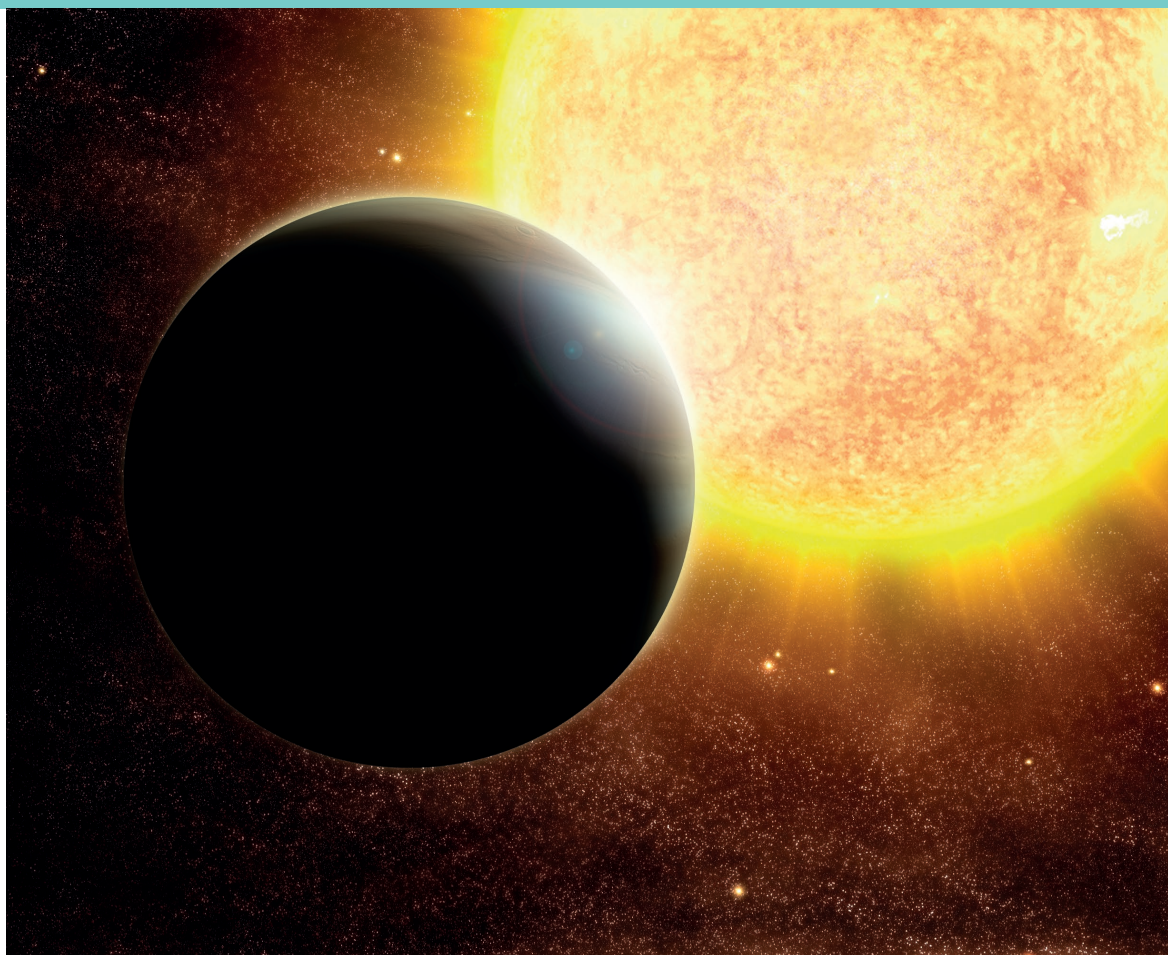
Los datos de la nave espacial Kepler de la NASA dieron una estimación en 2013 de que alrededor de 40 mil millones de planetas se encuentran en las zonas habitables (<http://www.nytimes.com/2013/11/05/science/cosmic-census-finds-billions-of-planets-that-could-be-like-earth.html>). También es importante 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.

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 la presentación del **Anexo 1** se proporciona una imagen del tránsito de Venus para dar una idea de cómo se aprecia desde la Tierra la diferencia de tamaño entre un planeta del tamaño de la Tierra y una estrella similar a nuestro Sol.



Impresión artística de un exoplaneta en tránsito alrededor de una estrella un poco más masiva que el Sol, como la descubierta alrededor de SWEEPS-04 (ESO).

En realidad, la clave para el descubrimiento de exoplanetas, ha sido la observación cuidadosa de la luz de las estrellas. Todo lo que sabemos hoy sobre exoplanetas se lo debemos a la experiencia acumulada durante más de un siglo de observación de las estrellas.

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 2** se puede encontrar más información que puede propiciar preguntas abiertas para ser discutidas en el aula.*

ANOMALÍAS PARA LA DETECCIÓN DE EXOPLANETAS

Las anomalías de las que hablamos están relacionadas con:

- En las variaciones de la intensidad de la luz de una estrella
(Mostramos cómo varía la curva de luz de una estrella cuando es eclipsada. También podemos hablar de las unidades)
- En cambios espectrales de la estrella
(Mostramos qué es el espectro de la luz y el efecto Doppler)
- En otros fenómenos relativistas denominados microlentes gravitacionales.

A1

e1

- En pequeñas oscilaciones de la estrella
- Variaciones en la radiación infrarroja

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?

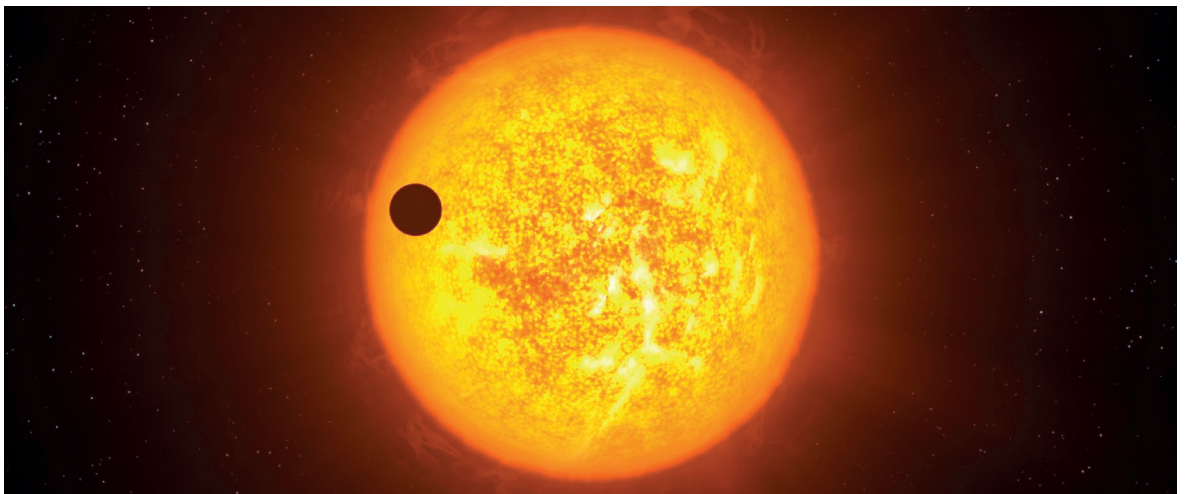
.....

.....

¿Qué incertidumbres hay en sus mediciones? ¿Cómo pueden minimizar las incertidumbres?

.....

.....



Impresión artística del tránsito del exoplaneta Corot-9b (ESO/L. Calçada).

ACTIVIDAD 2

Exoplaneta en una caja



Ejercicios

1

MATERIAL NECESARIO

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 intensidad de la luz 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 intensidad de la luz o un datalogger con sensor específico)
- Cúter o tijeras + Regla + Lápiz
- Compás de dibujo
- Cartón y papel para construir un círculo 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

SEGURIDAD

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

INTRODUCCIÓN

En esta actividad el alumnado construirá 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 de tránsito). Durante esta actividad los estudiantes aprenderán cómo usar aplicaciones de registro de datos e interpretar gráficas de intensidad de la luz en función del tiempo.



Después haber realizado la experiencia del tránsito, debemos comenzar un debate acerca de las magnitudes a evaluar y sus unidades. Cuáles jugarán el papel de variables dependientes e 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.

ACERCA DE LOS 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 de tránsito, los materiales pueden ser entregados a cada grupo y los estudiantes pueden crear su propio diseño para la construcción del modelo. Además, hay dos guías de construcción disponibles que muestran posibilidades alternativas para 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 2**.*

PREPARACIÓN DEL EXPERIMENTO

Para explicar en qué consiste el método del tránsito podemos ver una animación que se incluye en el **Anexo 1** (<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?

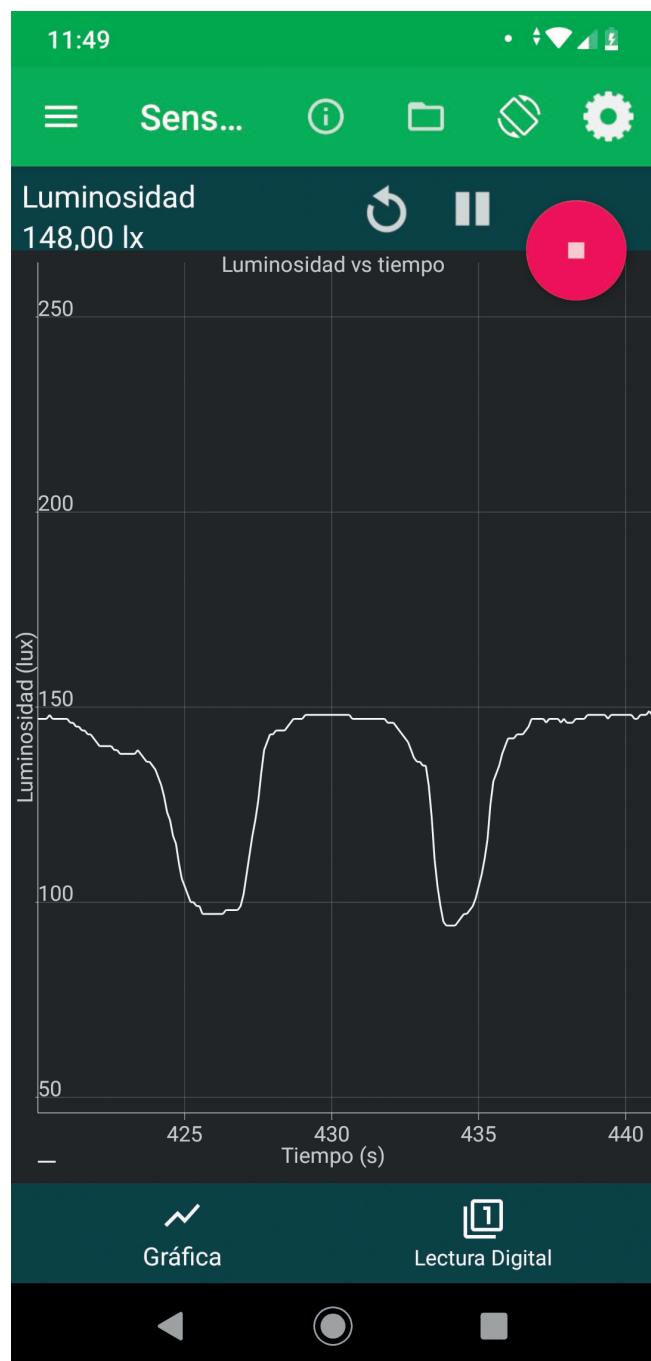
*Hay una plantilla disponible en el **Anexo 4**.*

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 intensidad de la luz, que en la aplicación viene indicada como "luminosidad" 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 de abajo es un ejemplo creado con **Physics Toolbox**.

En la gráfica se muestran dos tránsitos producidos por el mismo planeta. Si nos fijamos, cuando el planeta no está bloqueando la estrella, comprobamos que hay diferencias de varios lux, también en los valores mínimos obtenidos realizando el mismo 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.



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

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...



ACTIVIDAD 3

Análisis de las curvas de luz



Ejercicios

1

e1

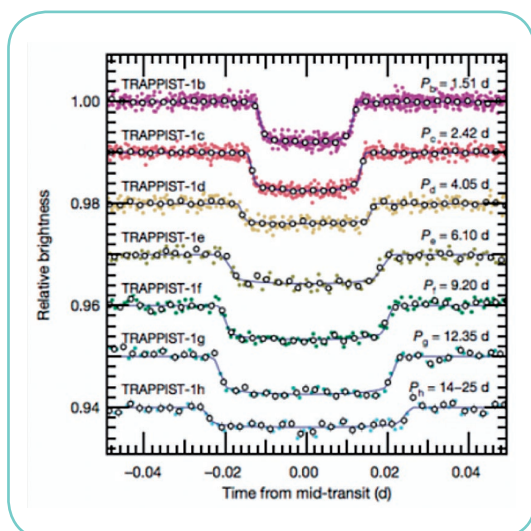
Alentaremos al alumnado a que propongan variaciones sobre este experimento, las realicen y razonen sobre las implicaciones que tendrán.

Se pueden obtener múltiples gráficos para analizar, algunos ejemplos serían:

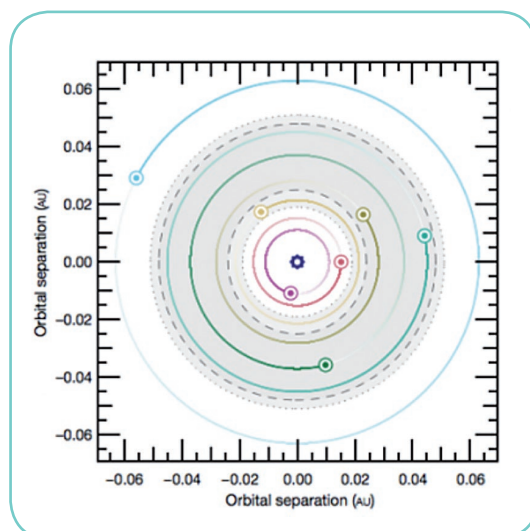
- Utilizar planetas de diferente tamaño
- Modificar el periodo orbital y la distancia a la estrella
- Variar la distancia entre el planeta y el detector (en este caso puede ser necesario recordarles que en el mundo real la distancia entre la estrella y el exoplaneta siempre va a ser minúscula comparada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



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.

ACTIVIDAD 4

Calculando el tamaño relativo de un exoplaneta

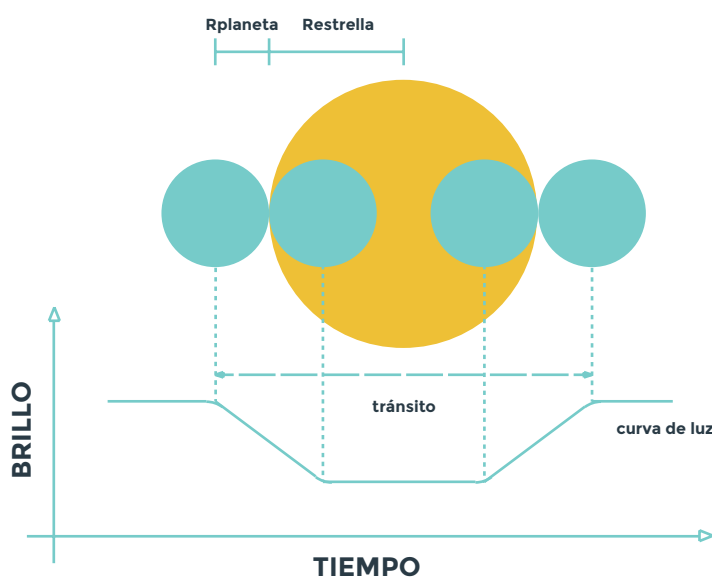


Ejercicios

1

Mirando el cambio relativo en la intensidad de la luz, los estudiantes pueden calcular el tamaño de su exoplaneta. La caída de la intensidad de la luz está relacionada con la fracción del disco solar que el planeta eclipsa, más concretamente está relacionada con la relación entre las áreas de los discos del planeta y de la estrella.

e1



La caída en la intensidad de la luz 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 Próxima 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.

Radio Alfa Centauri: 835.000 km (1,2 $R_\odot$)

Radio Próxima Centauri: 107.000 km (0,1542 $R_\odot$)

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

Usando la curva de luz de la imagen 1, la intensidad de la luz (que en nuestra aplicación viene indicada como "luminosidad") de nuestra estrella sin tránsito es de 148 lux y durante el tránsito, cuando el planeta pasa entre la fuente de luz (estrella) y el detector (Tierra), es 96 lux. La diferencia es de 52 lux, lo que nos da:

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

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

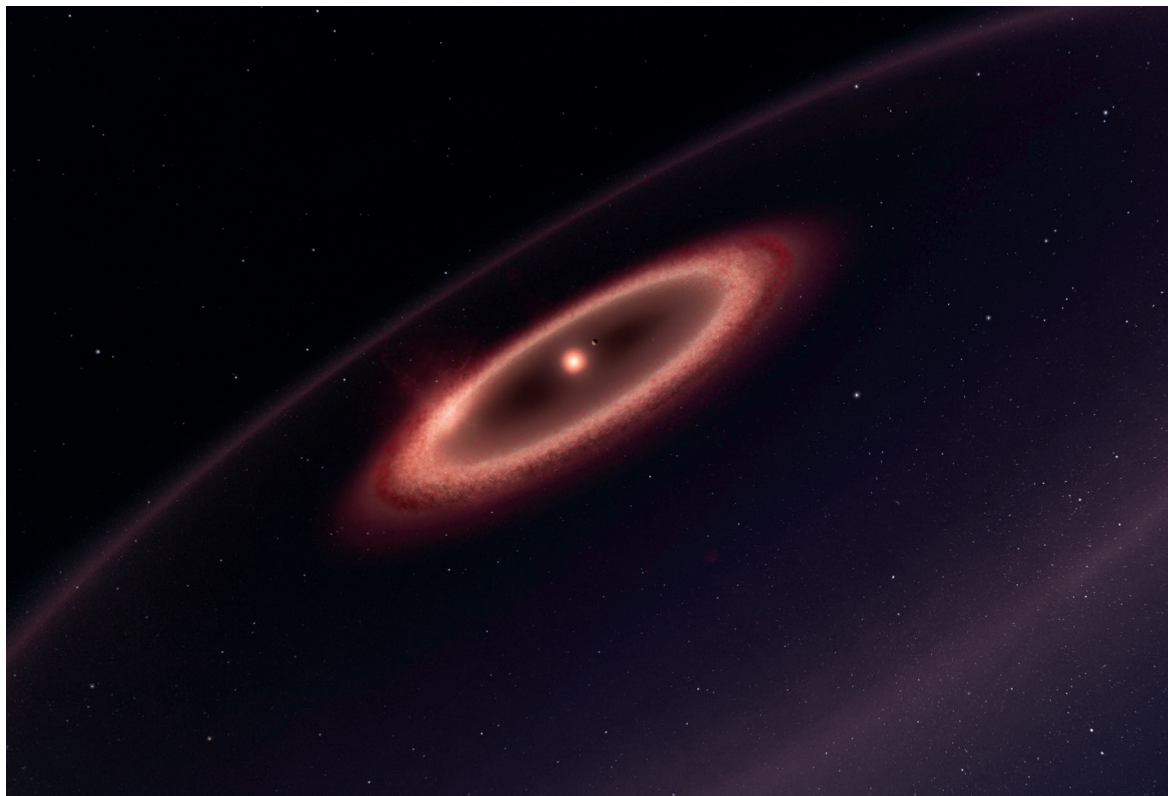
Calculamos los resultados para dos estrellas diferentes de radio conocido:

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

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



Impresión artística de los cinturones de polvo alrededor de Proxima Centauri (ESO/M. Kornmesser).

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 tienen los exoplanetas descubiertos orbitando a Proxima Centauri?

Se han descubierto dos exoplanetas orbitando a la estrella Proxima Centauri se les conoce como Proxima Centauri b y Proxima Centauri c, descubiertos en 2016 y 2019 respectivamente usando el método de la velocidad radial (**ver Anexo 2**).

A partir de esas mediciones, sabemos que la masa de Proxima Centauri b 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 el apartado 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 2**.

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 de la intensidad de la luz 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 ese periodo orbital, 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/>

ACTIVIDAD 1

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, ¿qué tránsitos podemos ver desde la Tierra en el Sistema Solar?

.....

.....

.....

.....

e1

- 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?

.....

.....

.....

e2

- 3** ¿Qué forma tiene la gráfica? ¿Qué crees que significa?

.....

.....

.....

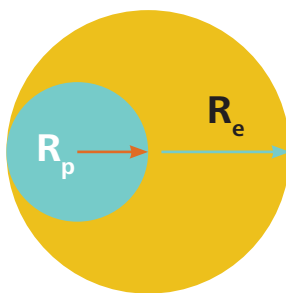
e3

ACTIVIDAD 1

Cálculo del tamaño del exoplaneta

e1

La caída en la intensidad de la luz (en nuestra aplicación “luminosidad”) 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 835.000 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	

1 ¿Cuándo comienza el tránsito?

.....

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

.....

3 ¿Qué ocurriría si el tamaño del planeta fuera diferente?

.....

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

.....

Anexo 1

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

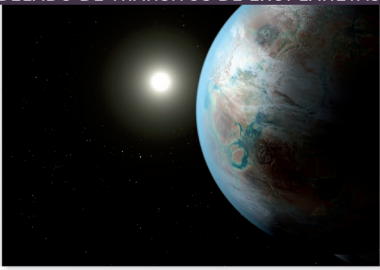
PRESENTACIÓN

Spain **esero** Detección de exoplanetas

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

Modelado de tránsitos de exoplanetas

A la caza de planetas fuera del Sistema Solar



icesa PARQUE de las CIENCIAS INICIATIVA EUROPEA

Spain **esero** Detección de exoplanetas

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

¿Estamos solos?

- ¿Crees que hay vida fuera de nuestro Sistema Solar?
- ¿Cuántos planetas crees que hay en nuestra galaxia?
- ¿Cuántos de esos planetas crees que serían aptos para la vida?

icesa PARQUE de las CIENCIAS INICIATIVA EUROPEA

Spain **esero** Detección de exoplanetas

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

LA ESCALA DE NUESTRA GALAXIA

La Vía Láctea contiene alrededor de doscientos mil millones de estrellas.

Nuestro Sistema Solar

La luz tarda 0,0005 años en llegar del Sol a Neptuno. La luz tarda 4,2 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!!



icesa PARQUE de las CIENCIAS INICIATIVA EUROPEA

Spain **esero** Detección de exoplanetas

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

Sabemos que muchas estrellas tienen planetas

¿Cómo podemos encontrarlos?

El primer exoplaneta no fue encontrado hasta los años 90. ¿A qué crees que se debe?



icesa PARQUE de las CIENCIAS INICIATIVA EUROPEA

Spain **esero** Detección de exoplanetas

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

Claves para localizarlos

- La observación cuidadosa de la luz de las estrellas
- El estudio de las "anomalías" detectadas en la luz que nos llega de las estrellas

icesa PARQUE de las CIENCIAS INICIATIVA EUROPEA

Anexo 1

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

PRESENTACIÓN

Spain **esero** Detección de exoplanetas

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

¿Cómo observan el universo los astrónomos?

De igual forma se detectan los exoplanetas



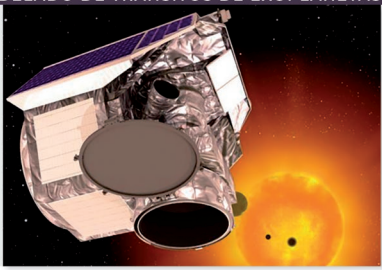
ces PARQUE de las CIENCIAS

Spain **esero** Detección de exoplanetas

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

Desde el espacio

Misiones espaciales
(Por ejemplo: CHEOPS-ESA)



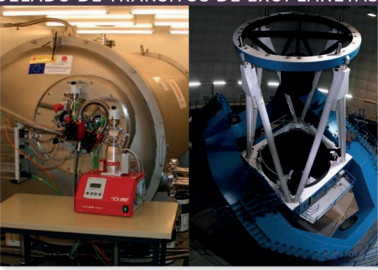
ces PARQUE de las CIENCIAS

Spain **esero** Detección de exoplanetas

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

Desde la superficie de la Tierra

Instrumentos en grandes telescopios
(Ejemplo: CARMENES- IAA, CSIC)



ces PARQUE de las CIENCIAS

Spain **esero** Detección de exoplanetas

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

Las anomalías

- En las variaciones de la intensidad de la luz de una estrella
- En cambios espectrales de la estrella
- En otros fenómenos relativistas denominados microlentes gravitatorias.
- En pequeñas oscilaciones de la estrella
- Variaciones en la radiación infrarroja



ces PARQUE de las CIENCIAS

Spain **esero** Detección de exoplanetas

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

Métodos de detección

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

ces PARQUE de las CIENCIAS

Anexo 1

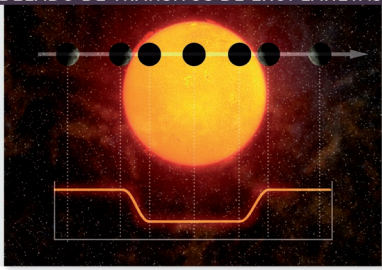
MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

PRESENTACIÓN

Spain **esero** Detección de exoplanetas

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

El método del tránsito



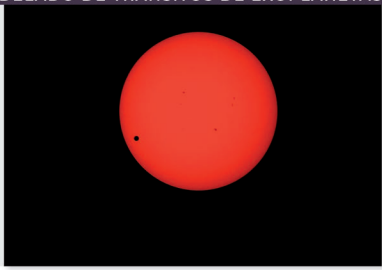
ces PARQUE de las CIENCIAS

Spain **esero** Detección de exoplanetas

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

Tránsito de Venus

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



ces PARQUE de las CIENCIAS

Spain **esero** Detección de exoplanetas

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

Exoplanetas en una caja



ces PARQUE de las CIENCIAS

Spain **esero** Detección de exoplanetas

MODELADO DE TRÁNSITOS DE 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 de luminosidad durante el tránsito = $\frac{\text{área del planeta}}{\text{área de la estrella}} \times \text{luminosidad máxima fuera del tránsito}$

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

NOTA: La intensidad de la luz en nuestra aplicación viene indicada como "luminosidad".



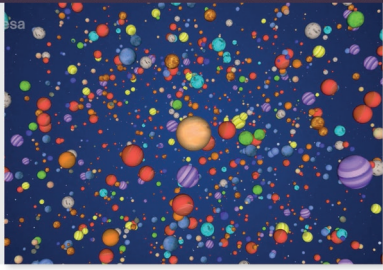
ces PARQUE de las CIENCIAS

Spain **esero** Detección de exoplanetas

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

¿Cuántos exoplanetas se han descubierto?

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



ces PARQUE de las CIENCIAS

Anexo 1

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

PRESENTACIÓN

Spain **esero** Detección de exoplanetas

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

Exoplanetas de muchos tipos

Muy calientes

Muy fríos y muy lejanos

cesa PARQUE de las CIENCIAS

Spain **esero** Detección de exoplanetas

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

Exoplanetas de muchos tipos

Cercanos

Errantes

cesa PARQUE de las CIENCIAS

Spain **esero** Detección de exoplanetas

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

Exoplanetas de muchos tipos

Con atmósfera

Longevos

cesa PARQUE de las CIENCIAS

Spain **esero** Detección de exoplanetas

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

Agrupados en sistemas

	b	c	d	e	f	g	h
Orbita (días)	1,21	2,42	4,05	6,10	9,21	12,35	~39
Radio orbital (UA)	0,0117	0,0124	0,0215	0,0291	0,0472	0,0691	~0,26
Radio orbital (a.e.)	1,09	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06
Radio orbital (a.u.)	0,05	1,38	0,41	0,62	0,68	1,34	...

cesa PARQUE de las CIENCIAS

Spain **esero** Detección de exoplanetas

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

Futuras misiones espaciales

PLATO y ARIEL (ESA)

cesa PARQUE de las CIENCIAS

Anexo 2

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

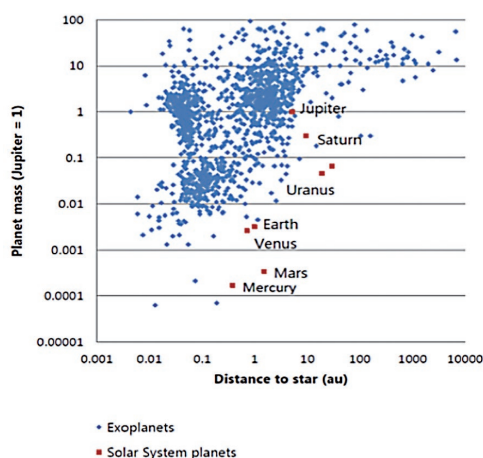
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

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 4200 planetas en 2020. Hoy sabemos que los sistemas con planetas múltiples (como nuestro Sistema Solar) son relativamente comunes, llegando a los 700 los descubiertos hasta mayo de 2020.

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.

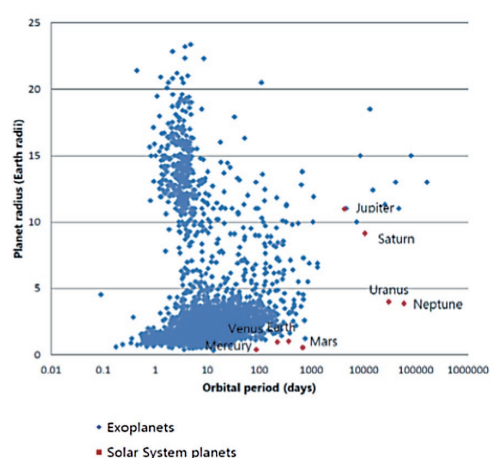
¿POR QUÉ ESTUDIAR EXOPLANETAS?

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?



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/>



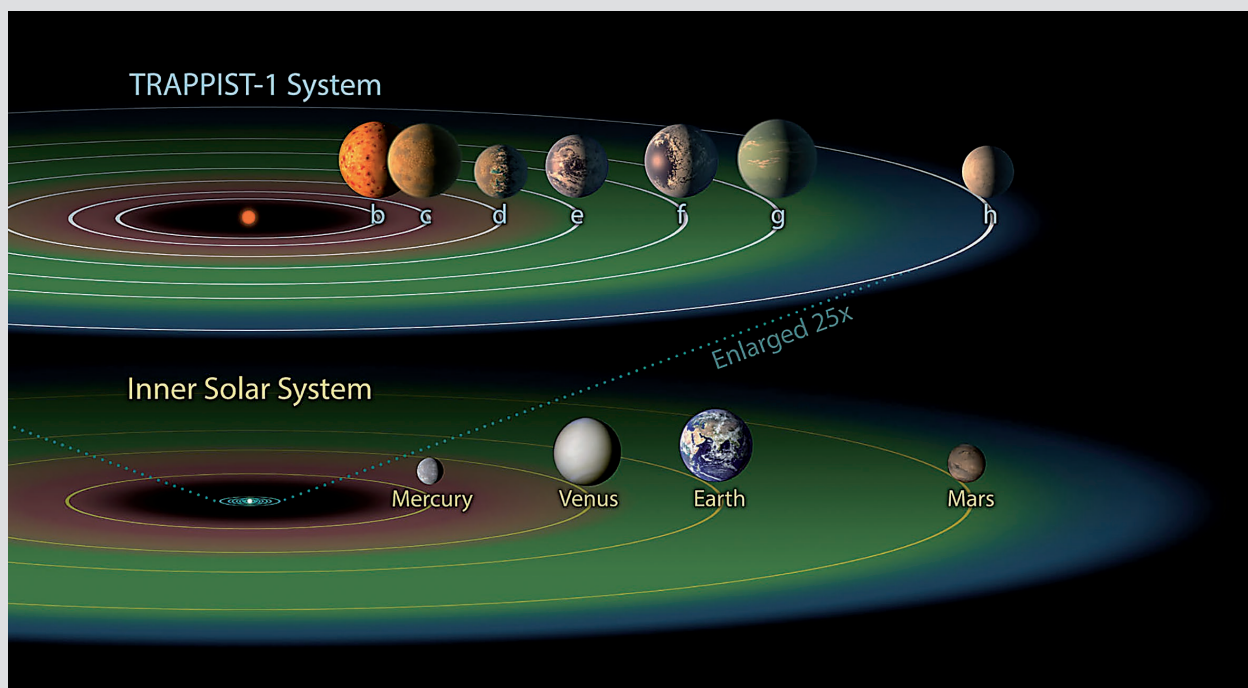
El gráfico 2 muestra la distribución de planetas confirmados en términos de su tamaño y periodo orbital.

Gráfico 2. Diagrama Radio-Periodo orbital para exoplanetas y planetas del Sistema Solar. Fuente: <http://exoplanet.eu/>

Anexo 2

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA



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 3. El Sistema TRAPPIST-1 contiene un total de siete planetas confirmados, 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. (NASA | JPL-Caltech). Fuente: <https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/details.php?id=pia21424>

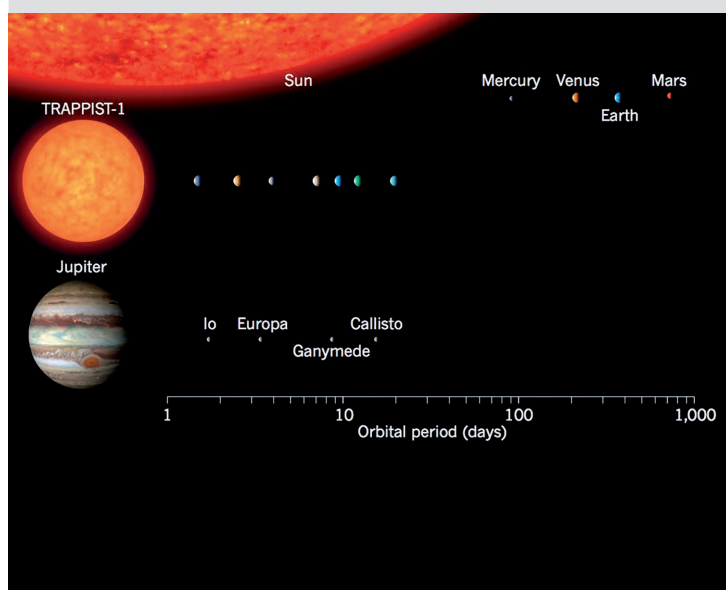


Gráfico 4. Podemos ver los tamaños a escala de planetas de Trappist-1 y la estrella Trappist-1, planetas del sistema solar y el Sol, y lunas de Júpiter y Júpiter. Los periodos orbitales están en escala logarítmica.

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.

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.

M É T O D O DE DETEC- CIÓN	DESCRIPCIÓN	MÁS INFORMACIÓN	Nº PLANETAS DESCUBIERTOS (hasta de 2020) mayo	Programas de búsqueda y telescopios espaciales de exoplanetas
Imagen directa o detección directa	Se produce un tránsito cuando un planeta se mueve entre nosotros y la estrella que está orbitando. Cuanto esto ocurre, el planeta bloquea algo de la luz de su estrella y esto provoca una ligera pero periódica disminución de la cantidad de luz que puede ser detectada.	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.	3 043	CHEOPS 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.	883	Harps Espresso Carmenes
Micro lente gravitatoria	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 pueden doblar y enfocar la luz de otra estrella más distante, de modo que parezca más brillante para 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.	121	Ogle
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.	139	Sphere Gemini Planet Imager
Astrometría	Al igual que el método de velocidad radial, implica buscar el pequeño bamboleo de una estrella causado por un planeta que la orbite. 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.	12	Gaia
Otros			70	

Principales métodos para detectar y observar exoplanetas. Datos actualizados en enero de 2018. Fuente: <http://exoplanet.eu/>

Anexo 2

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

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.

Un tránsito se muestra como una disminución en la intensidad de la luz de una estrella en forma de curva. 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 curva 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 de la intensidad de la luz de la estrella causado por el planeta.

¿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.

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:

- **CARMENES**, un espectrógrafo instalado en el telescopio de 3,5 m en el Observatorio de Calar Alto, en Almería.
- **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.

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.

FUTURAS MISIONES

TELESCOPIO ESPACIAL JAMES WEBB (2021)

https://www.nasa.gov/mission_pages/webb/main/index.html

PLATO (2026)

<https://sci.esa.int/web/plato>

ARIEL (2028)

<https://sci.esa.int/web/ariel>

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 4200 (mayo 2020) exoplanetas conocidos y casi 700 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.

CHEOPS (2019). Es una misión de la ESA y construida en España. Consiste en un satélite para caracterizar exoplanetas conocidos, el primero centrado en el análisis de tránsitos exoplanetarios. Observa 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.

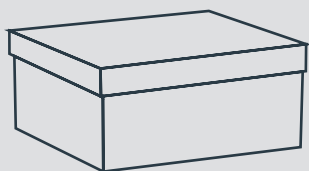
Anexo 3A

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

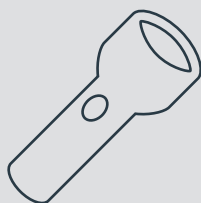
INSTRUCCIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO “EXOPLANETA EN UNA CAJA”

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:

MATERIALES. CAJA DE ZAPATOS



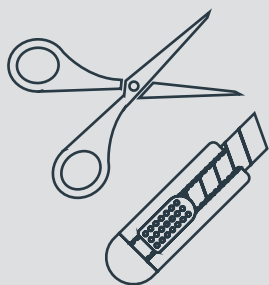
Caja de zapatos de cartón o similar con tapa



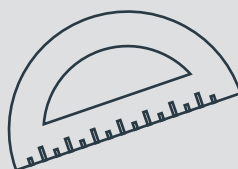
Linterna LED



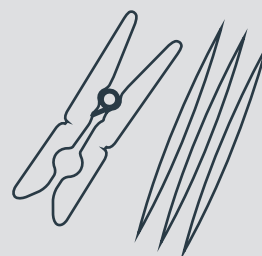
Medidor de luz
(por ejemplo, teléfono inteligente con aplicación o un *datalogger*)



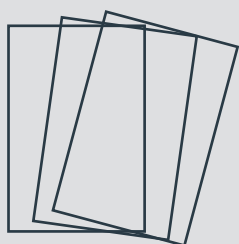
Cúter | Tijeras



Transportador de ángulos semicircular



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



Folios

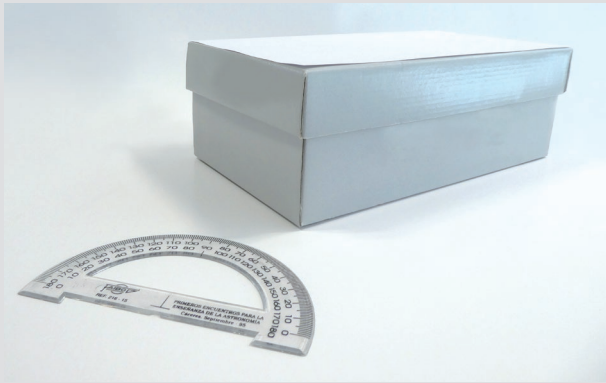


Cinta adhesiva



Plastilina o similar

INSTRUCCIONES



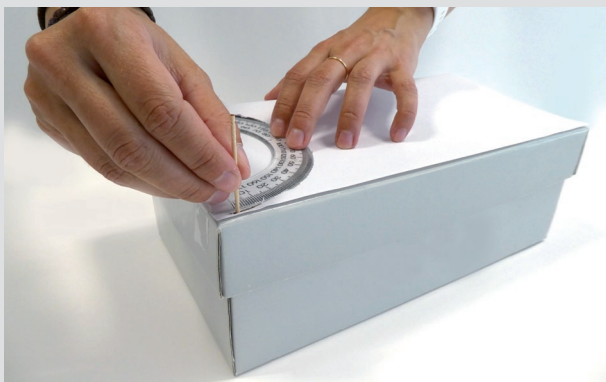
- 1 Si la parte exterior de la tapa de su caja tiene una superficie oscura, puede colocarle una hoja de papel en blanco para facilitar la lectura de las medidas una vez que comience a hacer el experimento.



- 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 una semicircunferencia más alejada 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.

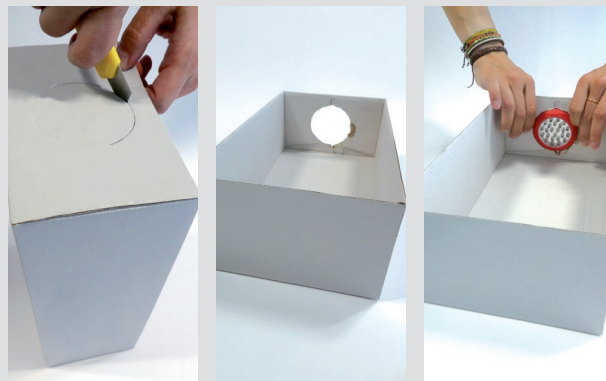


Anexo 3A

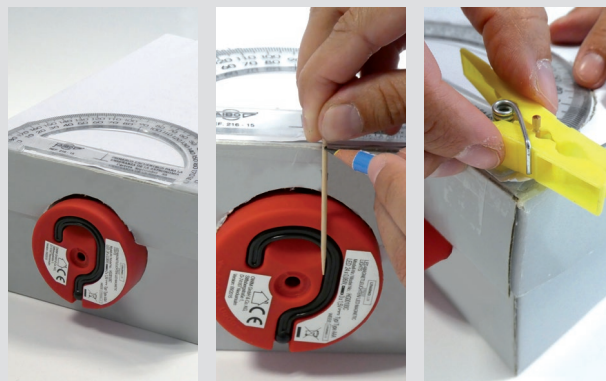
MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

INSTRUCCIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO “EXOPLANETA EN UNA CAJA”

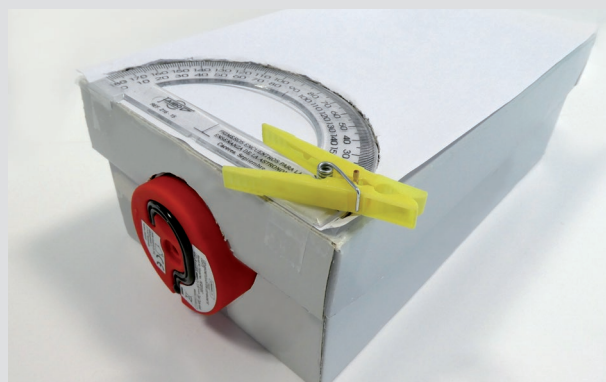
- 4 Haga un agujero en el extremo de la caja (en el mismo lado del transportador) que sea lo suficientemente grande como para que pase la linterna. Sujete la linterna firmemente en el agujero.



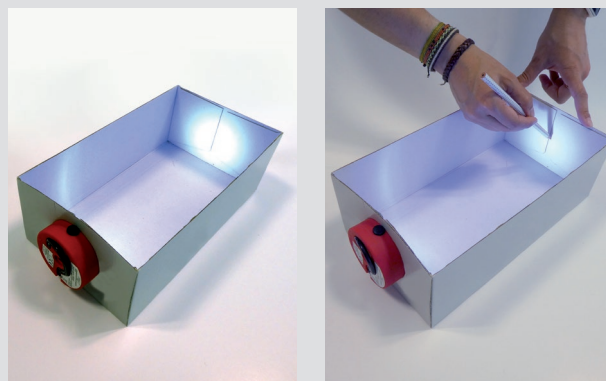
- 5 Ponga la tapa con la parte del transportador en el agujero que acabamos de hacer. Quizás debamos recortar parte de la tapadera si bloquea el agujero. Use un palillo para medir la profundidad al centro de la linterna. Haga una marca en el palillo y coloque la pinza de la ropa en esa marca.

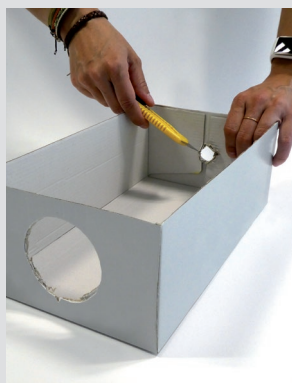
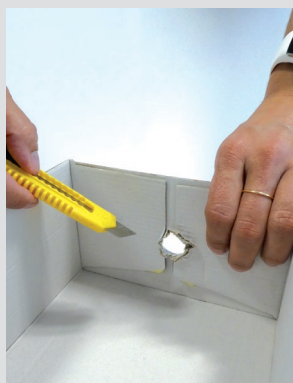


- 6 Inserte el palillo en la ranura alrededor del transportador. Compruebe que puede moverlo libremente por toda la ranura. Es posible que necesite usar de nuevo el cúter para que el movimiento sea fluido.



- 7 Abra de nuevo la tapa, 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

Anexo 3B

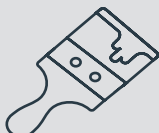
MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

INSTRUCCIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO “EXOPLANETA EN UNA CAJA”

MATERIALES. CAJA DE TÓNER DE IMPRESORA



Caja de tóner
de cartón
rectangular



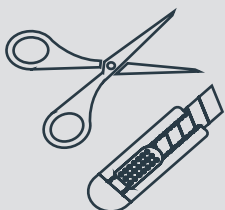
Pintura negra
o papel negro
suficiente para
cubrir el interior
de la caja



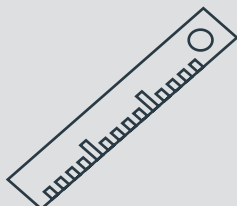
Linterna LED
circular
(5 cm de
diámetro aprox.)



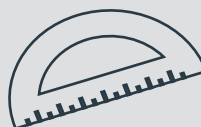
Luxómetro
(Datalogger)



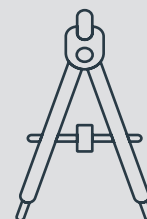
Cúter | Tijeras



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

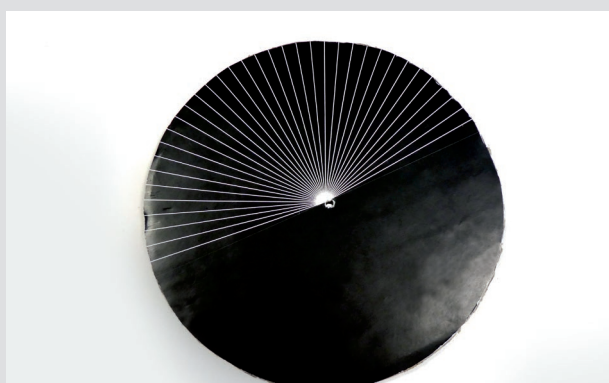
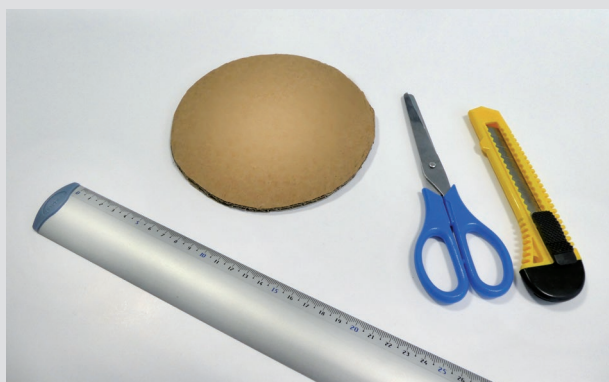


Encuadernador



Cinta aislante
negra

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.

Anexo 3B

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

INSTRUCCIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO “EXOPLANETA EN UNA CAJA”

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

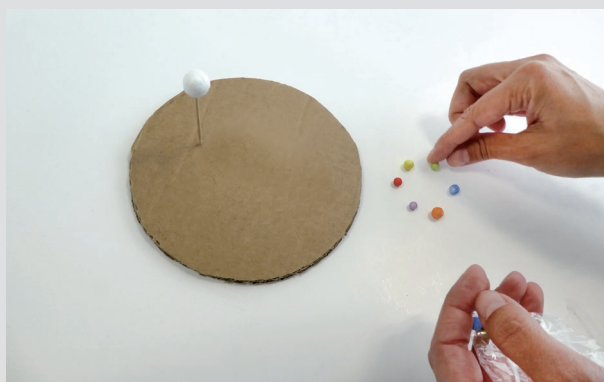


- 5 El interior de su caja debe quedar lo más oscuro posible para evitar reflejos. Se puede pintar el interior de negro o cubrirlo con cartulina o papel negro. En el ejemplo, la caja se ha pintado por dentro y por fuera con pintura negra.

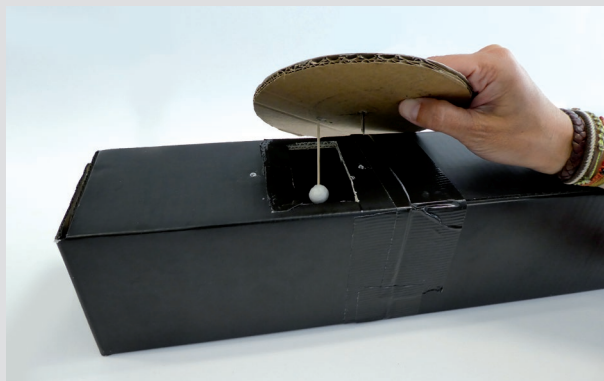


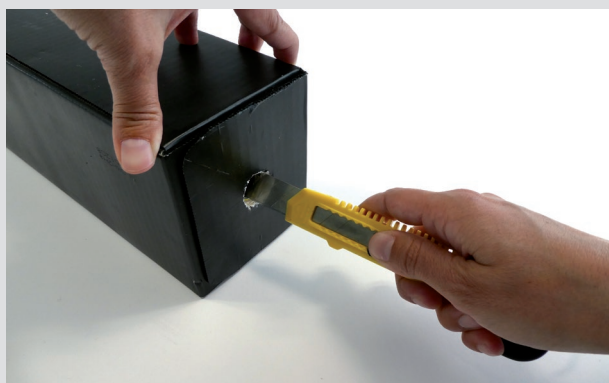
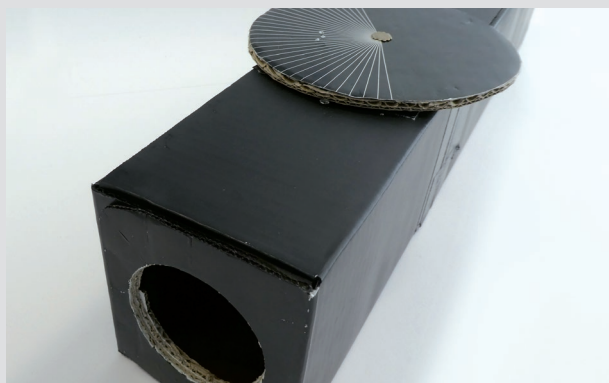
- 6 Será necesario usar cinta adhesiva (lo ideal es hacerlo con cinta aislante negra) para sellar cualquier ranura.

- 7 Construiremos el planeta haciendo una bolita de plastilina (o similar) y la uniaremos 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.





- 9 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.
- 10 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.



Anexo 4

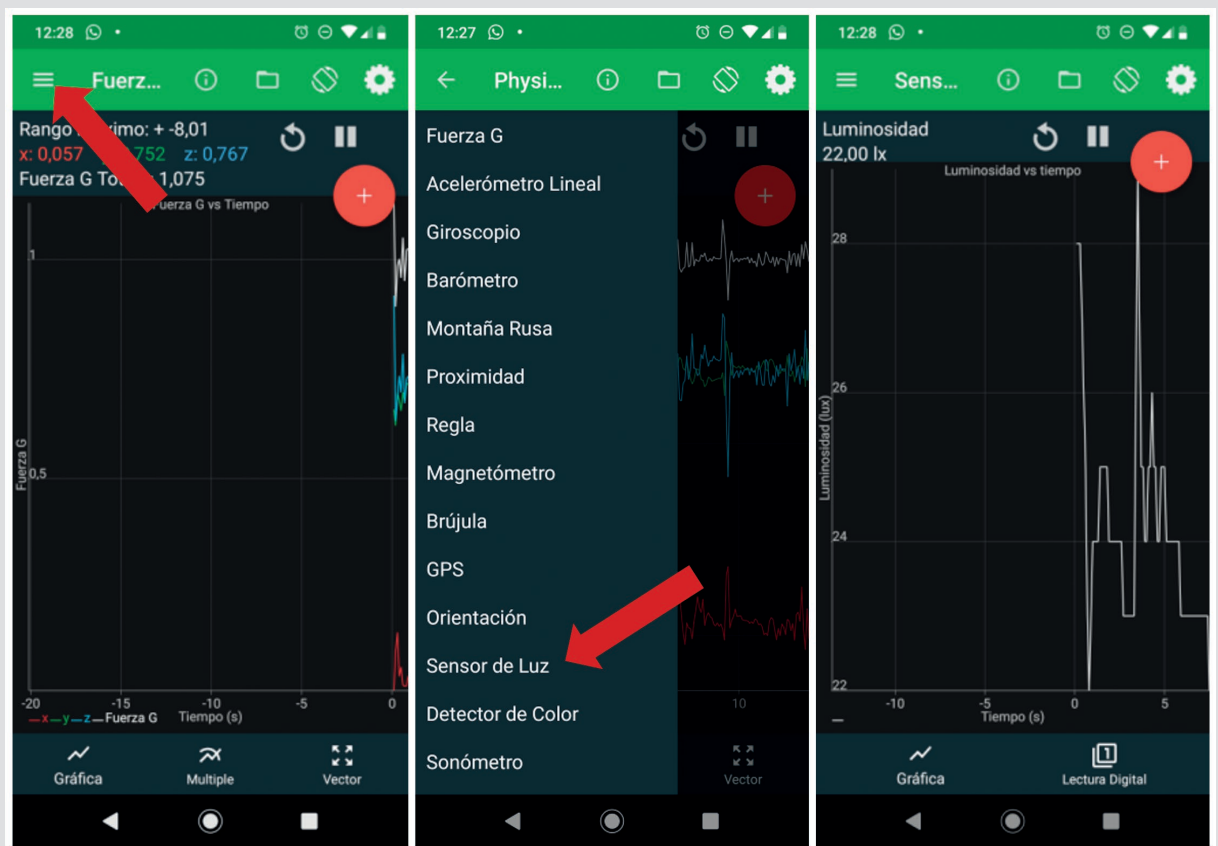
MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS

TOMA DE DATOS CON LA APLICACIÓN PHYSICS TOOLBOX SENSOR SUIT

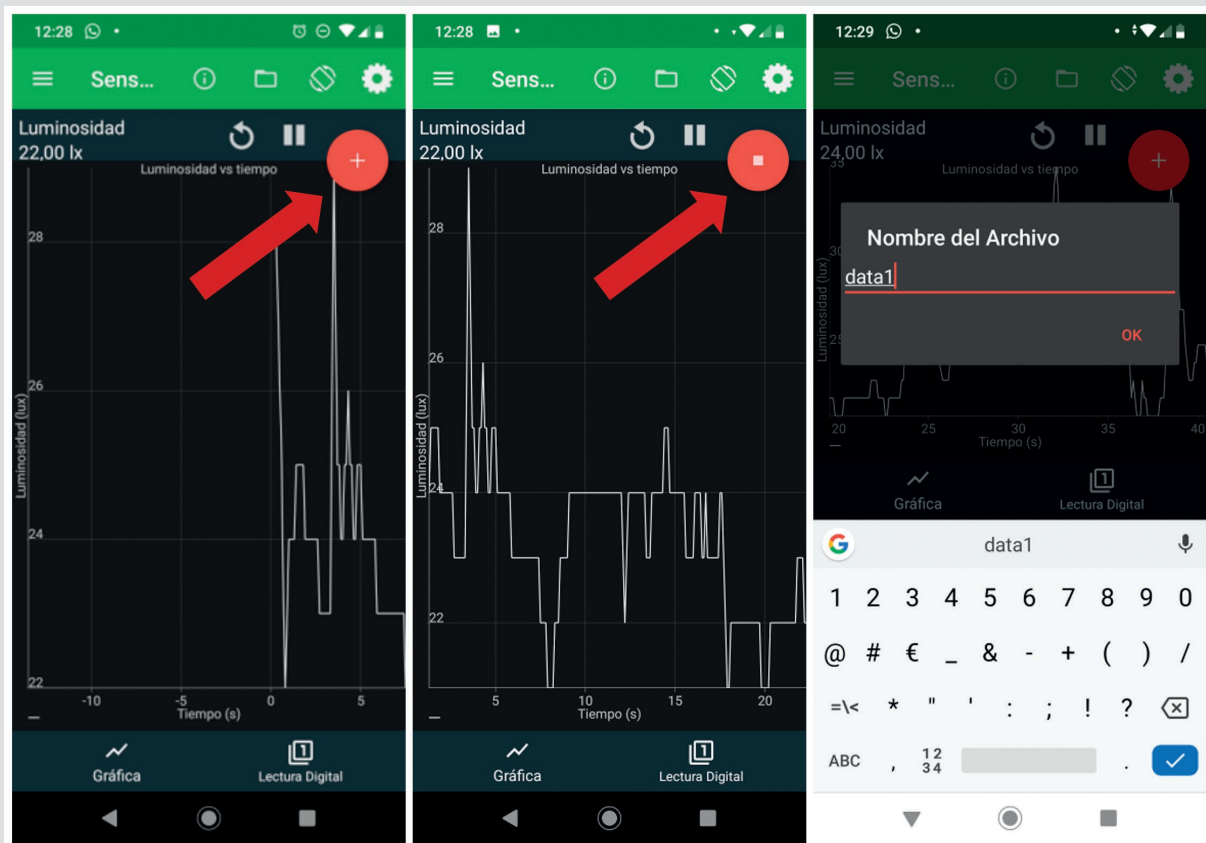
Si no disponemos de un *datalogger* comercial podemos utilizar nuestro móvil y los sensores que tiene incluidos para realizar nuestra toma de datos.

Descargaremos en nuestro móvil la app gratuita: Physics Toolbox Sensor Suit:

- 1 Abriremos el programa y seleccionaremos en el menú de la izquierda "Sensor de luz".

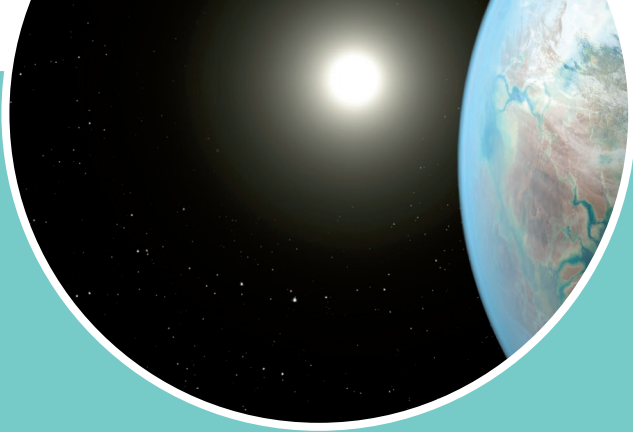


- 2 Encenderemos la linterna y colocaremos nuestro móvil con el sensor de luz en el agujero de nuestra Star Box (Este sensor suele estar encima de la pantalla).
- 3 Para guardar los datos que obtengamos haremos lo siguiente:
 - Pulsaremos en botón rojo(+) y empezará a registrar datos
 - Rápidamente colocaremos nuestro móvil en la posición del paso anterior y procederemos a realizar el tránsito
 - Esperaremos unos segundos antes de retirar el móvil y pulsaremos el botón rojo (cuadrado)
 - Guardaremos nuestro archivo en formato csv.
 - Al analizar los datos debemos descartar el principio y el final debido a la colocación y retirada del teléfono en la posición de medición.



Notas

MODELADO DE TRÁNSITOS DE EXOPLANETAS



Enlaces de interés

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/mission_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



Spain



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



La **Oficina Europea de Recursos para la Educación Espacial en España (ESERO Spain)**, con el lema «Del espacio al aula» y aprovechando la fascinación que el alumnado siente por el espacio, tiene como objetivo principal proporcionar recursos a docentes de primaria y secundaria para mejorar su alfabetización y competencias en materias CTIM (Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas).

Este proyecto educativo de la **Agencia Espacial Europea** está liderado en España por el **Parque de las Ciencias de Granada** y cuenta con la colaboración de instituciones educativas tanto nacionales como de ámbito regional en las distintas Comunidades Autónomas.

Detección de exoplanetas

COLECCIÓN
ESCONDIDOS EN LA LUZ

Incluye, entre otros:

En la zona Ricitos de Oro
¿Hay alguien ahí fuera?
Comunicación interplanetaria
El Sistema Solar
La magia de la luz
Modelado de tránsitos de exoplanetas
Elipses fabulosas
Pelotas baricéntricas
Osos espaciales

ESERO SPAIN

Parque de las Ciencias
Avda. de la Ciencia s/n.
18006 Granada (España)
T: 958 131 900

info@esero.es
www.esero.es

