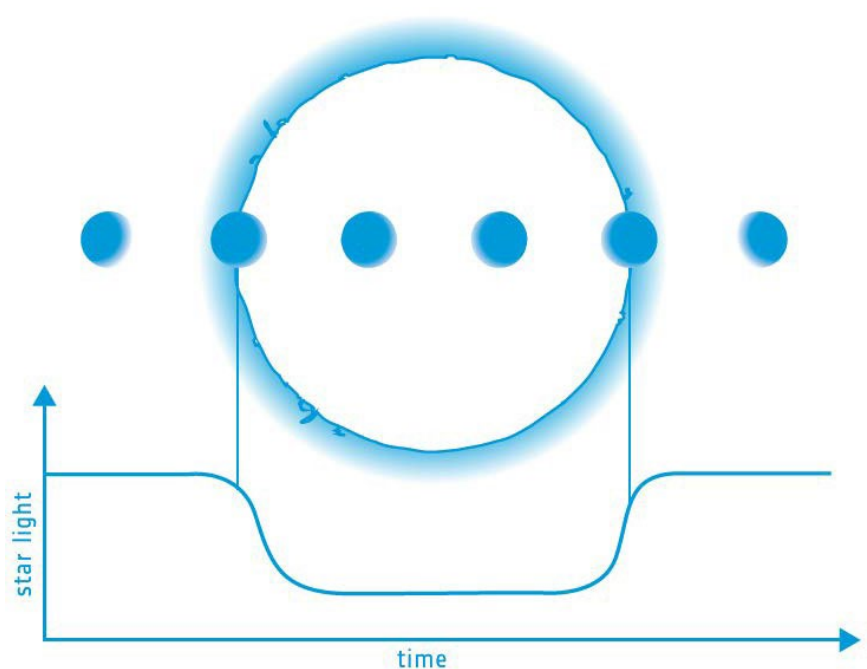
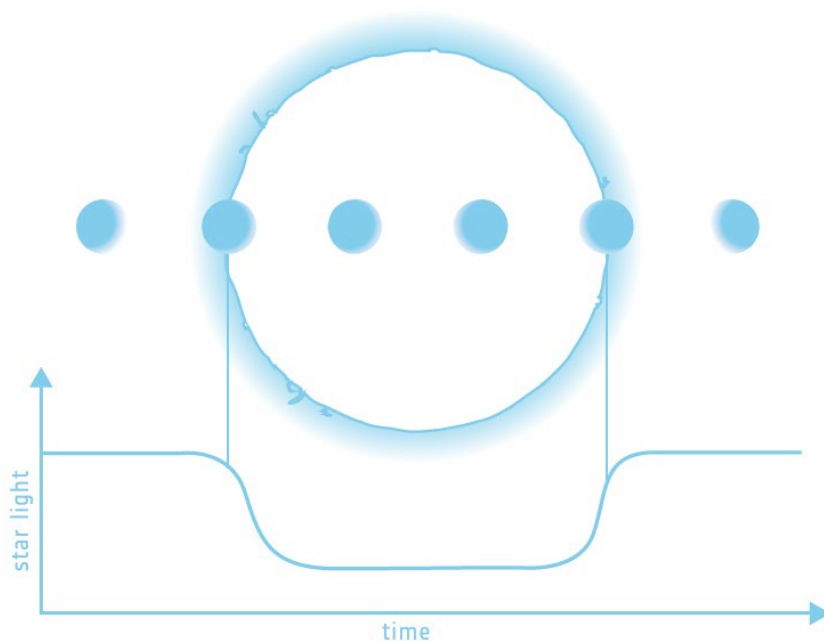


teach with space

→ DETECTIVE DE EXOPLANETAS

Caracterización de exoplanetas mediante datos de satélite





Guía del profesorado

Datos básicos

página 3

Resumen de actividades

página 4

Introducción

página 5

Actividad 1: Comprender las curvas de luz

página 6

Actividad 2: Ser detective de exoplanetas

página 9

Ficha del alumnado

página 10

Enlaces

página 18

teach with space - exoplanets detective | P31

www.esa.int/education

La Oficina de Educación de la ESA agradece sus comentarios y sugerencias.

teachers@esa.int

Una producción de ESA Education

Copyright 2022 © Agencia Espacial Europea

→ DETECTIVE DE EXOPLANETAS

Caracterización de exoplanetas mediante datos de satélite

DATOS BÁSICOS

Materias: Matemáticas, Física, Astronomía

Edades: 13-18 años

Tipo: Actividad para estudiantes, modelado práctico

Complejidad: media

Tiempo de clase requerido: 45 minutos

Coste: bajo (0-10 euros)

Ubicación: aula

Palabras clave: Física, Matemáticas, Astronomía, Exoplanetas, Curvas de luz, Tránsitos, Órbitas, Escala, Gráficos, Período

Breve descripción

En este conjunto de actividades el alumnado aprenderá cómo los científicos estudian los exoplanetas con telescopios, utilizando el método del tránsito. Además, caracterizarán exoplanetas utilizando datos de curvas de luz de satélites modelo y reales del satélite Cheops (CHaracterising ExOPlanet Satellite) de la ESA.

Los alumnos practicarán el trazado y la interpretación de datos, así como el escalado de gráficos en el contexto de la caracterización de exoplanetas.

Esta actividad forma parte de una serie que incluye **"Exoplanetas en movimiento"**, en la que los alumnos construyen su propio modelo de tránsito, y **"Exoplanetas en una caja"**, en la que los alumnos construyen un modelo de tránsito dentro de una caja de zapatos y calculan el tamaño de un exoplaneta.

Objetivos de aprendizaje

- Entender qué son los exoplanetas y cómo los investigan los satélites.
- Comprender cómo se utiliza el método del tránsito para la caracterización de exoplanetas.
- Mejorar las habilidades experimentales observando e interpretando medidas de curvas de luz.
- Pensar matemáticamente y convertir un modelo abstracto en un modelo real.
- Interpretación de datos experimentales mediante modelos matemáticos y gráficas.
- Sacar conclusiones comparando un modelo con un sistema extrasolar real.
- Comunicar los resultados científicos y matemáticos a los compañeros.

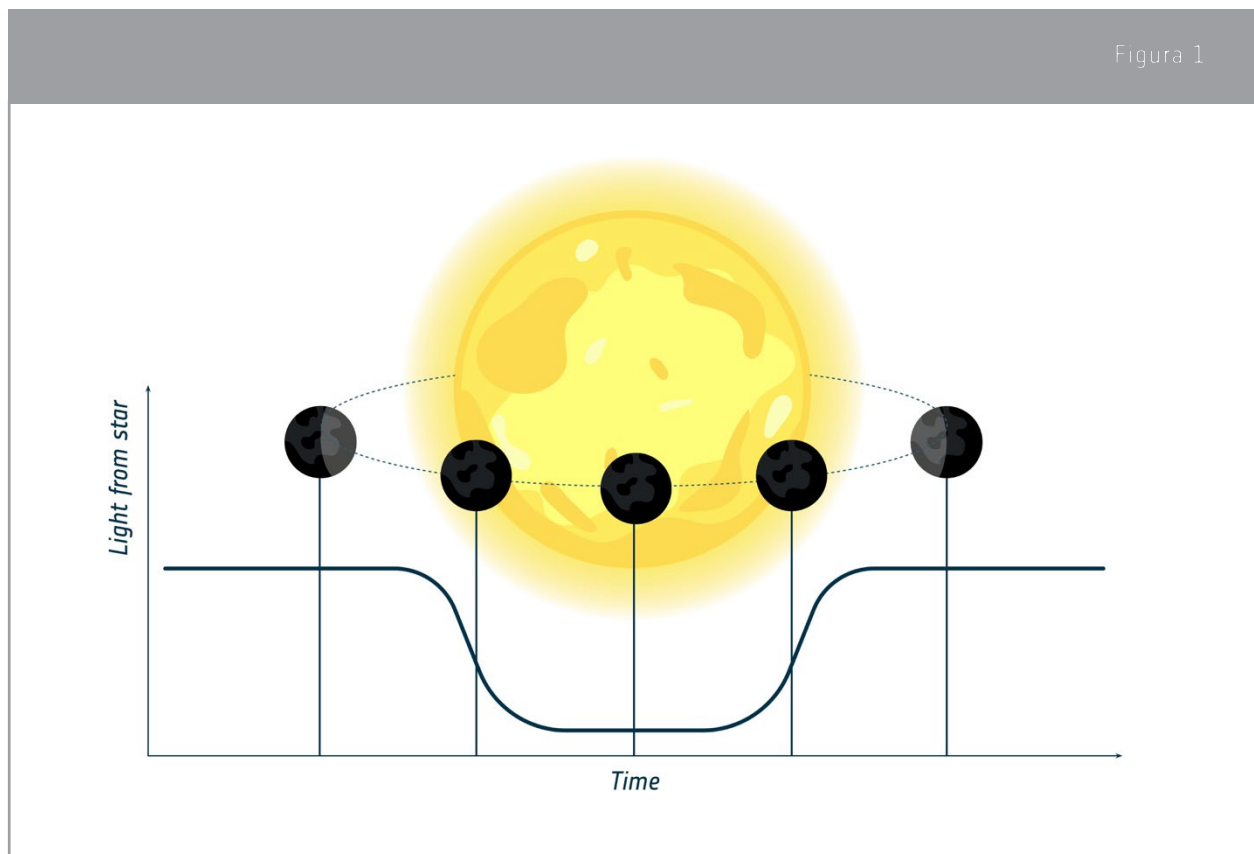
→ Resumen de actividades

Resumen de actividades					
	Título	Descripción	Resultado	Requisitos	Tiempo
1	Comprender las curvas de luz	Analizar las curvas de luz sintéticas y reales para determinar qué información contienen sobre el modelo o los sistemas exoplanetarios reales.	Comprender cómo escalar gráficos y por qué. Desarrollar habilidades de interpretación de gráficos y utilizarlas para sacar conclusiones sobre sistemas exoplanetarios reales.	Ninguno	30 minutos
2	Ser detective de exoplanetas	Esta actividad pretende resumir los conocimientos adquiridos en las actividades anteriores y describir lo que los científicos pueden aprender de las curvas de luz medidas por los satélites.	Relacionar las conclusiones de un modelo con la situación real, utilizando analogías.	Ninguno	10 minutos

→ Introducción

En este conjunto de actividades, nos centraremos en el análisis de las curvas de luz obtenidas mediante el método del tránsito. Este método se ha utilizado para detectar y caracterizar muchos de los exoplanetas conocidos hasta la fecha. Gracias a esta técnica, los telescopios miden con gran precisión la cantidad de luz emitida por estrellas individuales en lapsos de tiempo que van de horas a meses. Esta medición de la luz de un objeto en función del tiempo se conoce como curva de luz (véase la figura 1). Analizando la forma de la curva de luz y sus características, podemos conocer tanto la estrella como los exoplanetas que la orbitan.

Cuando un exoplaneta pasa por delante de la estrella a la que orbita, bloquea una pequeña fracción de la luz de la estrella, lo que se conoce como tránsito. Si un telescopio observa la luz de esa estrella durante ese tránsito, medirá una pequeña depresión en la curva de luz.



↑ Representación de la depresión de la curva de luz de una estrella durante el tránsito de un exoplaneta.

La profundidad de la depresión depende directamente del porcentaje de luz de la estrella que es bloqueado por el exoplaneta al pasar, que a su vez depende del tamaño del exoplaneta en relación con la estrella. Cuanto más grande sea el planeta en relación con la estrella, más luz bloqueará. Si conocemos el tamaño de la estrella, podemos determinar el tamaño del planeta.

→ Actividad 1: Comprender las curvas de luz

Este ejercicio cubrirá el escalado y la interpretación de gráficos de datos de satélites simulados y reales.

Como introducción a los exoplanetas, se sugiere la realización de la actividad *Exoplanetas en movimiento*.

Para introducir en el aula en el tema de los exoplanetas también puede utilizar el material de vídeo disponible en los enlaces siguientes o utilizar la información de fondo como recurso complementario.

A continuación se ofrecen algunas sugerencias de material de vídeo de la ESA:

- Serie Conozca a los expertos - Otros mundos:
https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2020/07/Meet_the_Experts_Other_worlds
- Conozca a Cheops, el satélite caracterizador de exoplanetas:
[https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Meet_Cheops_the_Characterising_Exoplanet_Satellite/\(lang\)/es](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Meet_Cheops_the_Characterising_Exoplanet_Satellite/(lang)/es)
- Paxi explora los exoplanetas
[https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Paxi_explores_exoplanets/\(lang\)/es](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Paxi_explores_exoplanets/(lang)/es)

Una vez que el alumnado haya conocido los exoplanetas, el método del tránsito y Cheops, puede realizar la Actividad 1 de la hoja de ejercicios.

Ejercicio 1 - Escalado de gráficos

Comprender la escala de los gráficos es una habilidad importante tanto en matemáticas como en ciencias. En este ejercicio, el alumnado verá un ejemplo de datos reales tomados por el satélite Cheops y lo utilizará para ver cómo se escalan los gráficos para obtener la mayor cantidad de información posible de los datos que contienen.

En estos gráficos, la luz de la estrella en el eje y se muestra como un porcentaje del valor medio medido de esa estrella durante el período de observación. En los dos gráficos de este ejercicio se representan exactamente los mismos datos, pero cada uno muestra una escala diferente.

Nota: Como el gráfico muestra la luz de la estrella como un porcentaje del valor de brillo medio, este brillo medio se considera igual a un valor del 100% en el eje y. Si durante las observaciones se producen eventos que aumentan la cantidad de luz que se mide, por ejemplo llamaradas estelares, entonces se miden valores de brillo por encima de la marca media y se representan en el gráfico como mediciones por encima del 100%.

Debate

A continuación encontrará las respuestas al Ejercicio 1. Discuta con sus alumnos las respuestas junto con el principio de escala.

1.1. Los alumnos deben reconocer que en la Figura 3, el tránsito es mucho más fácil de identificar que en la Figura 2, debido a la diferente escala en el eje y.

1.2. En la Figura 2 la curva de luz parece casi constante, mientras que en la Figura 3 se aprecia una disminución del porcentaje de luz procedente de la estrella entre las 6.5 h y las 10.75 h.

El tiempo (horas) que aparece en el eje x es el mismo para ambos gráficos.

Los valores de la luz de la estrella (%) mostrados en el eje y son diferentes. En el primer gráfico, los valores oscilan entre el 0% y el 110%, mientras que en el gráfico a escala, en el que se aprecia el desnivel, los valores van del 99.3% al 100.1%.

Ejercicio 2 - Interpretación de las curvas de luz

En este ejercicio se darán a los estudiantes ejemplos de curvas de luz de tránsitos simulados y pautas sobre cómo leer e interpretar las gráficas de los mismos. Este ejercicio puede realizarse en parejas o individualmente.

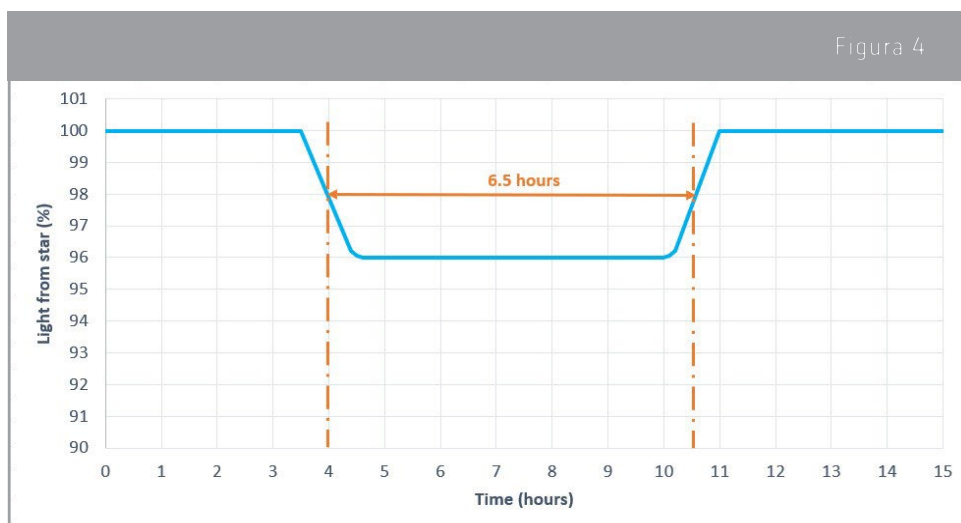
Información adicional: la cantidad de luz estelar bloqueada por el planeta está directamente relacionada con la superficie proyectada del planeta. La luz que bloquea el planeta es proporcional a $\frac{R_p^2}{R_s^2}$ donde R_p es el radio del planeta, y R_s es el radio de la estrella. Si un planeta bloquea el doble de luz, no significa que el planeta sea el doble de grande: para bloquear el doble de luz, el planeta debe ser $\sqrt{2}$ (= aproximadamente 1.41) veces más grande.

Debate

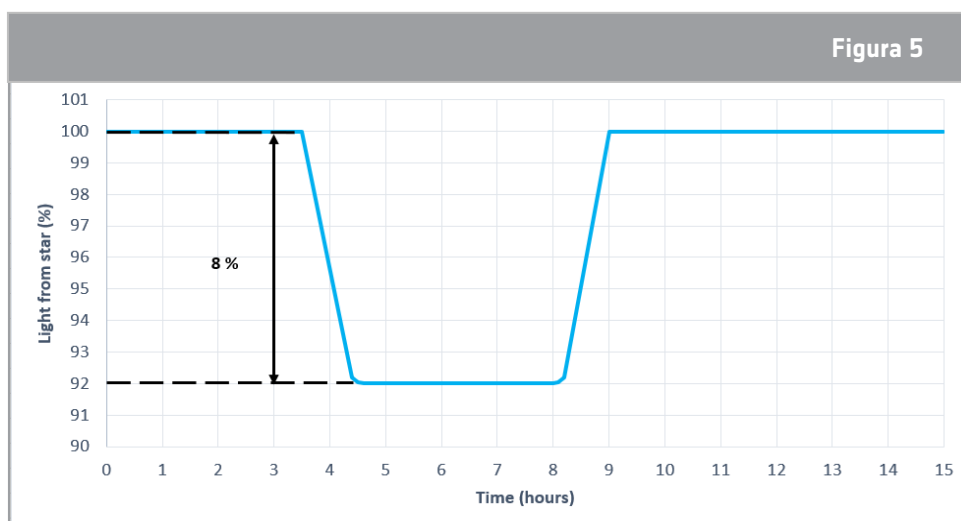
Encuentra las respuestas al Ejercicio 2 a continuación:

2.1. El exoplaneta que se observó para producir esta curva de luz tardó **4.5 horas** en pasar por delante de la estrella, y bloqueó el **4%** de la luz de la estrella.

2.2.



2.3



Después de que los alumnos completen este ejercicio por su cuenta o en parejas, discuta los resultados en clase para prepararlos para interpretar datos reales de Cheops.

Ejercicio 3 - Interpretación de datos reales de satélite

En este ejercicio los estudiantes utilizarán los conceptos aprendidos en los ejercicios anteriores para interpretar una curva de luz de tránsito de WASP 189b observado con el satélite Cheops de la ESA.

Debate

Encuentra las respuestas correctas indicadas a continuación.

- 3.1. 4.5 horas
- 3.2. 0.55%

Información adicional:

Al analizar los datos reales es posible que el alumnado observe algunas diferencias entre los datos simulados y los reales. Los alumnos pueden tener preguntas sobre el ajuste o los huecos en la curva de luz.

El ajuste es el proceso de construir una curva basada en una función matemática que se aproxime lo mejor posible a una serie de puntos de datos.

Durante la órbita de Cheops se producen dos tipos de eventos que hacen que a veces no podamos medir la luz de una estrella de forma continua. Estos sucesos crean lagunas en la curva de luz. El primero es cuando la estrella es bloqueada por la Tierra, lo que se conoce como ocultación terrestre. El segundo se produce cuando Cheops pasa sobre una región del Atlántico Sur en la que se producen muchas perturbaciones en los instrumentos, muy sensibles, instalados a bordo del satélite. Las perturbaciones tienen un efecto tan grande que los científicos ni siquiera intentan medir la luz de la estrella cuando el satélite pasa por esta región.

Ejercicio 4 - Período orbital

Este ejercicio se centra en cómo se puede determinar el período orbital a partir de una curva de luz.

Nota: el periodo orbital de un planeta es el tiempo que tarda en completar una órbita completa alrededor de su estrella. Puede medirse hallando el centro de dos tránsitos consecutivos del mismo exoplaneta y midiendo el intervalo de tiempo entre ellos.

Debate

Encuentre las respuestas correctas indicadas a continuación.

- 4.1. 3 días
- 4.2. En esta respuesta los alumnos deben ser capaces de describir con sus propias palabras que hay dos exoplanetas que podemos detectar orbitando alrededor de la misma estrella en este sistema exoplanetario. Además, la respuesta debe incluir que las depresiones más profundas de la curva indican un planeta más grande que tiene un periodo de 3 días terrestres y bloquea el 2% de la luz de la estrella, y que las menos profundas indican un planeta más pequeño que tiene un periodo orbital de 2.5 días terrestres y bloquea el 1% de la luz. Si has introducido el concepto de que la luz bloqueada por un exoplaneta es proporcional a $\frac{R_p^2}{R_s^2}$ entonces los alumnos deberían ser capaces de identificar que el planeta más grande es, por tanto, 1.4 veces más grande que el planeta más pequeño.

→ Actividad 2 - Ser Detective de Exoplanetas.

En esta actividad, el alumnado aplicará lo aprendido en el análisis de las curvas de luz anteriores e interpretará una observación de un sistema exoplanetario realizada por Cheops, como auténticos científicos/as.

Ejercicio 1: Descripción de observaciones de exoplanetas

Las frases deben completarse como sigue:

*Cuando un exoplaneta pasa entre el **satélite** y la estrella, bloquea una pequeña fracción de la luz procedente de la **estrella**, provocando una **depresión** en la curva de luz. Esto se denomina **tránsito**.*

*Si se observan múltiples **órbitas** del mismo exoplaneta, el **intervalo de tiempo** entre las depresiones detectadas en la curva de luz es una medida directa del periodo orbital del planeta.*

*Un exoplaneta **más grande** produce una depresión más profunda en la curva de luz detectada y un exoplaneta **más pequeño** produce una depresión **menos profunda**.*

*Los exoplanetas individuales pueden distinguirse entre sí por la **profundidad** de las depresiones que producen en la curva de luz y por su **periodo** orbital.*

Si quieres retar a los alumnos de tu clase, puedes dejarles que formulen sus conclusiones con sus propias palabras. Al debatir sus conclusiones, asegúrate de que las observaciones y las conclusiones no se confunden y de que las conclusiones se derivan de las observaciones.

Ejercicio 2: Observación de exoplanetas

En el segundo ejercicio, se pide al alumnado que interprete los datos reales de Cheops tal y como lo haría un científico profesional. Si algunos alumnos necesitan ayuda, puedes apoyarles formulando las preguntas que se muestran a continuación para ayudarles a estructurar la interpretación de la curva de luz.

1. ¿Cuántos exoplanetas tiene el sistema observado?
2. ¿Cuál es el período/intervalo orbital de cada exoplaneta?
3. ¿Cuánta luz (en %) bloquea cada exoplaneta?
4. ¿Puede decirnos algo sobre el tamaño de los exoplanetas?
5. ¿Ves algo más llamativo? Intenta describirlo con tus propias palabras e interpretarlo si es posible.

Información adicional: El sistema TOI-178 se encuentra a sólo 205 años luz de la Tierra. La misión Cheops de la ESA ha revelado que se trata de un sistema planetario único formado por seis exoplanetas, cinco de los cuales se encuentran atrapados en una extraña danza rítmica mientras orbitan alrededor de su estrella central. Obsérvese que en este conjunto de datos sólo son identificables 4 planetas (b, c, d y e).

Este fenómeno se denomina resonancia orbital, y significa que existen patrones que se repiten a medida que los planetas giran alrededor de la estrella, con algunos planetas alineándose cada pocas órbitas. Puedes visualizar este efecto en esta animación: <https://youtu.be/-WevvRCgysY>

Los dos planetas interiores (b y c) tienen densidades terrestres, similares a la Tierra, y los cuatro planetas exteriores (d, e, f y g) son gaseosos, con densidades como Neptuno y Júpiter.

Aunque los planetas del sistema TOI-178 orbitan alrededor de su estrella de forma muy ordenada, sus densidades no siguen ningún patrón concreto. Uno de los exoplanetas, un planeta denso y terrestre como la Tierra, está justo al lado de un planeta de tamaño similar pero muy esponjoso, como un mini-Júpiter, y junto a él hay uno muy parecido a Neptuno.

→ DETECTIVE DE EXOPLANETAS

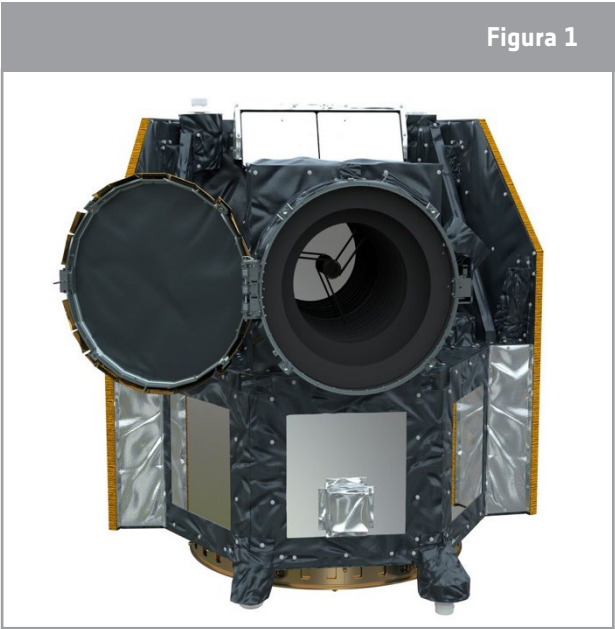
Caracterización de exoplanetas mediante datos de satélite

→ Introducción

El estudio de un gran número de exoplanetas diferentes permite a los científicos comprender cómo se forman y evolucionan los sistemas exoplanetarios. Se trata de un paso importante en el camino hacia la comprensión de nuestro propio Sistema Solar y de nuestro lugar en el Universo.

En este conjunto de actividades, utilizarás datos reales recogidos por el satélite Cheops (CHaracterising ExOPlanet Satellite) de la ESA.

Gracias a la medición precisa de las curvas de luz de estrellas cercanas de las que se sabe que albergan un exoplaneta que transita, Cheops puede determinar el tamaño de estos exoplanetas. Combinando esta información con otras mediciones, los científicos podrán determinar la densidad de los exoplanetas. Para algunos exoplanetas concretos podemos incluso determinar si tienen nubes.



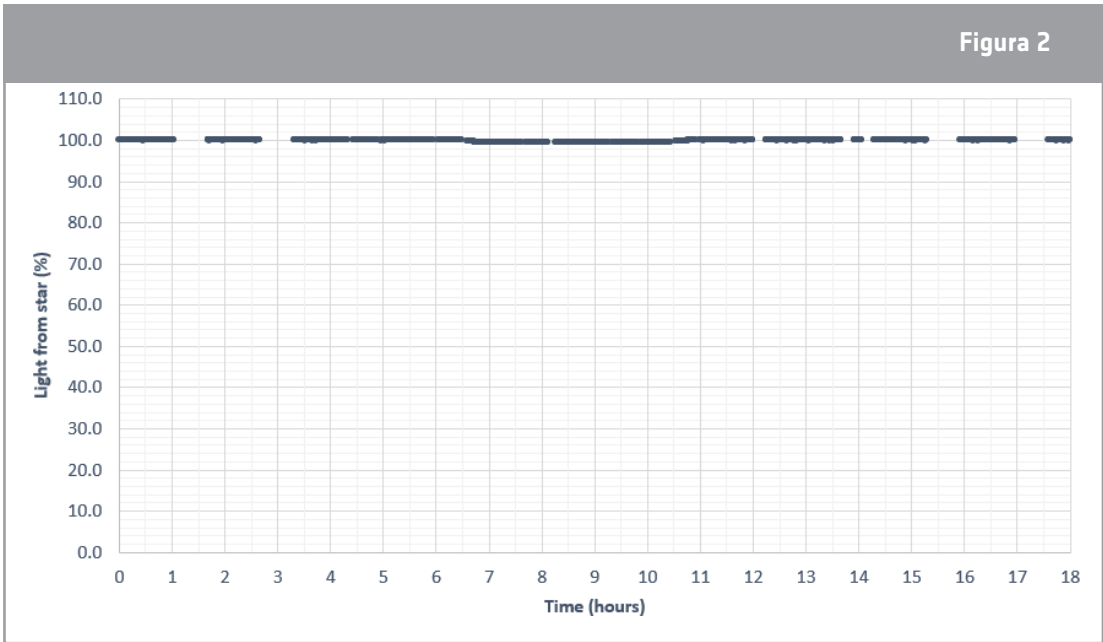
↑ Satélite de Cheops

→ Actividad 1: Comprender las curvas de luz

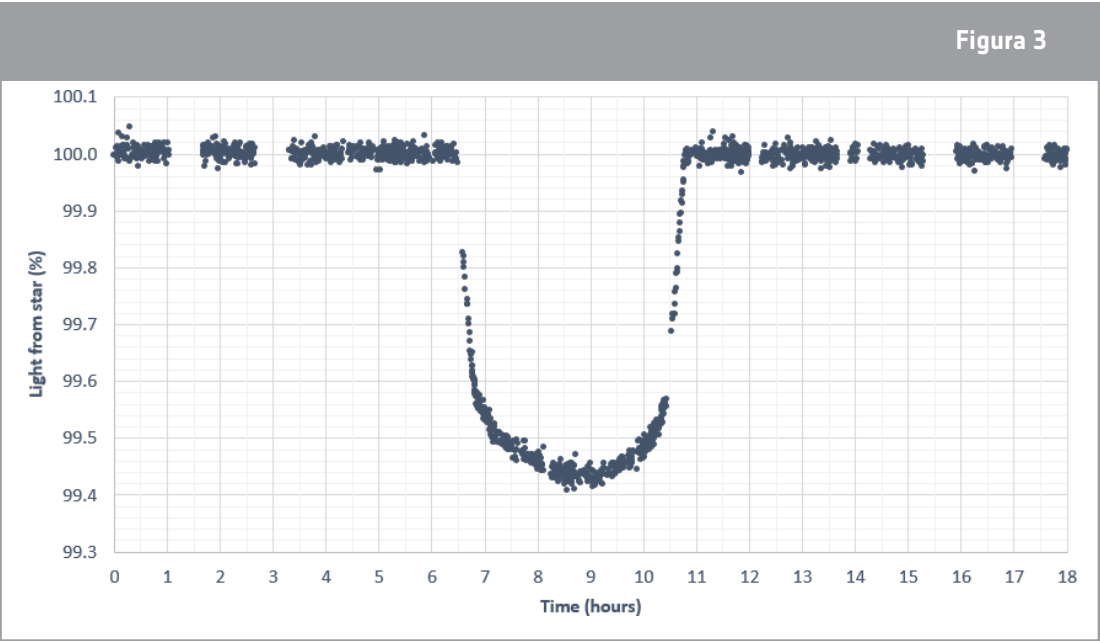
Cuando un satélite observa tránsitos exoplanetarios, la profundidad, la forma y la posición de la depresión en una curva de luz pueden darnos información sobre el sistema exoplanetario. En esta actividad explorarás esta idea utilizando datos reales del satélite Cheops.

Ejercicio 1 - Escalado de gráficos

Los exoplanetas suelen ser una pequeña fracción del tamaño de la estrella que orbitan; por ejemplo, la Tierra es una centésima parte (1/100) del tamaño del Sol, y Júpiter es una centésima parte del diámetro del Sol. Por tanto, la cantidad de luz bloqueada suele ser inferior al uno por ciento de la luz total de la estrella.



↑ Curva de luz de tránsito de WASP 189b adquirida con Cheops.



↑ Curva de luz de tránsito de WASP 189b adquirida con Cheops, con una escala diferente en el eje y.

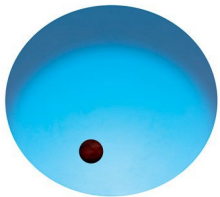
Consideremos la curva de luz de tránsito de WASP 189b, tomada con Cheops, que se muestra en las figuras 2 y 3:

1.1. ¿Puedes identificar el tránsito de exoplanetas tanto en la Figura 2 como en la Figura 3?

1.2. Compara ambos gráficos y describe las diferencias a continuación:

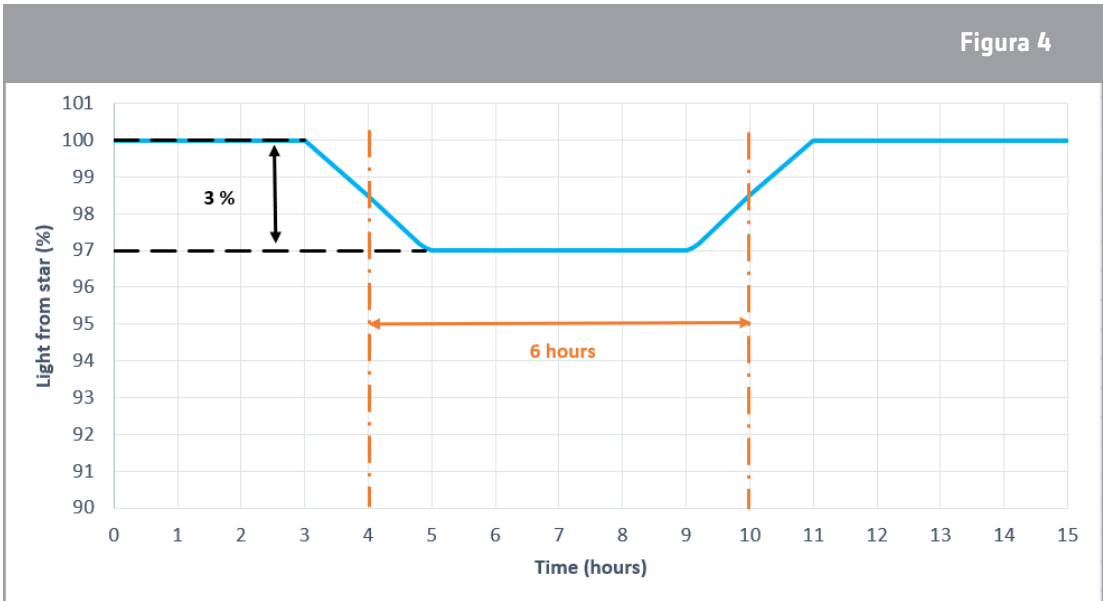
¿Lo sabías?

WASP 189b es un gran exoplaneta gaseoso cuyo tamaño es aproximadamente un 50% mayor que el de Júpiter. Este exoplaneta gigante se encuentra en una órbita de 2.7 días terrestres alrededor de una estrella que es más de 2000 °C más caliente que nuestro Sol, y casi 2.5 veces más grande.



Ejercicio 2 - Interpretación de las curvas de luz

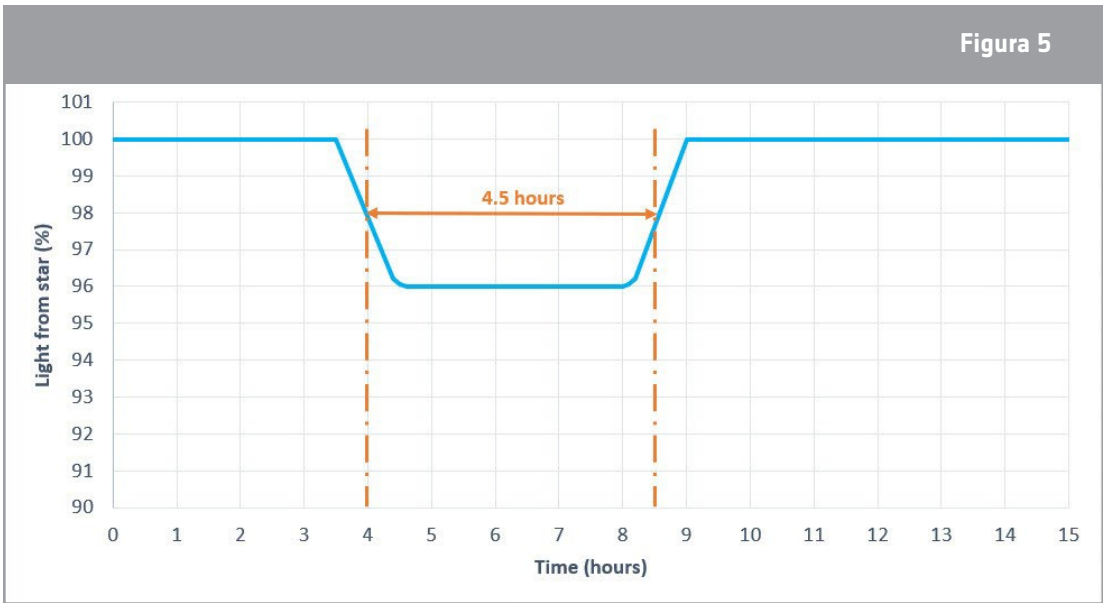
A continuación puedes ver una representación simplificada de la curva de luz de una estrella medida alrededor del momento del tránsito de un exoplaneta. Las líneas discontinuas ilustran cómo se puede determinar parte de la información básica sobre el sistema exoplanetario a partir del gráfico:



↑ Ejemplo de curva de luz simulada.

Podemos determinar a partir de la curva de luz, que el exoplaneta que se observó tardó 6 horas en pasar por delante de la estrella, y bloqueó el 3% de la luz de la estrella.

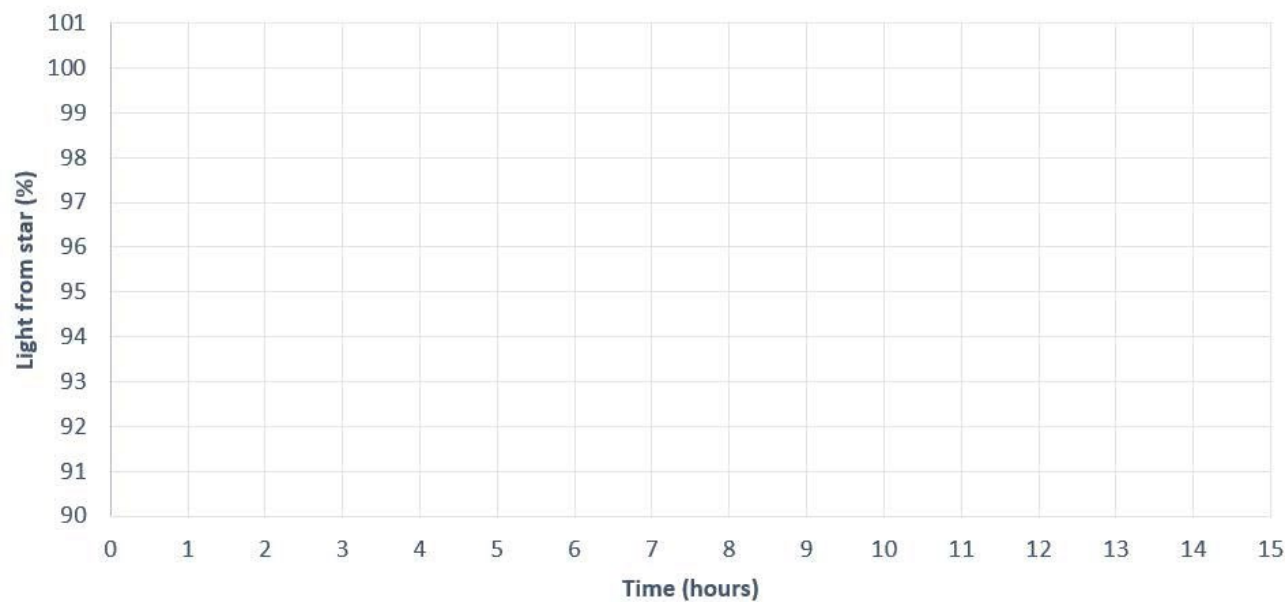
2.1. Examina la curva de luz de la Figura 5 y completa la información que falta



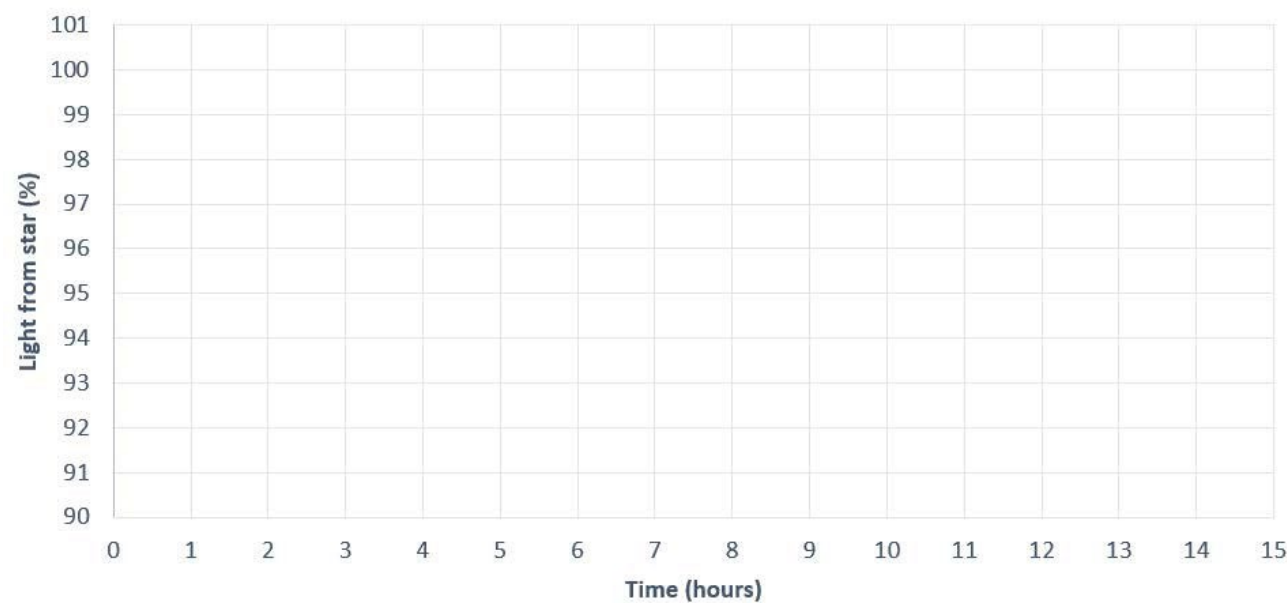
↑ Curva de luz simulada.

El exoplaneta que se observó para producir esta curva de luz tardó ____ horas en pasar por delante de la estrella, y bloqueó el ____% de la luz de la estrella.

2.2. Esboza la curva de luz esperada para un exoplaneta del mismo tamaño que el de la figura 5, pero que tarda dos horas más en transitar:

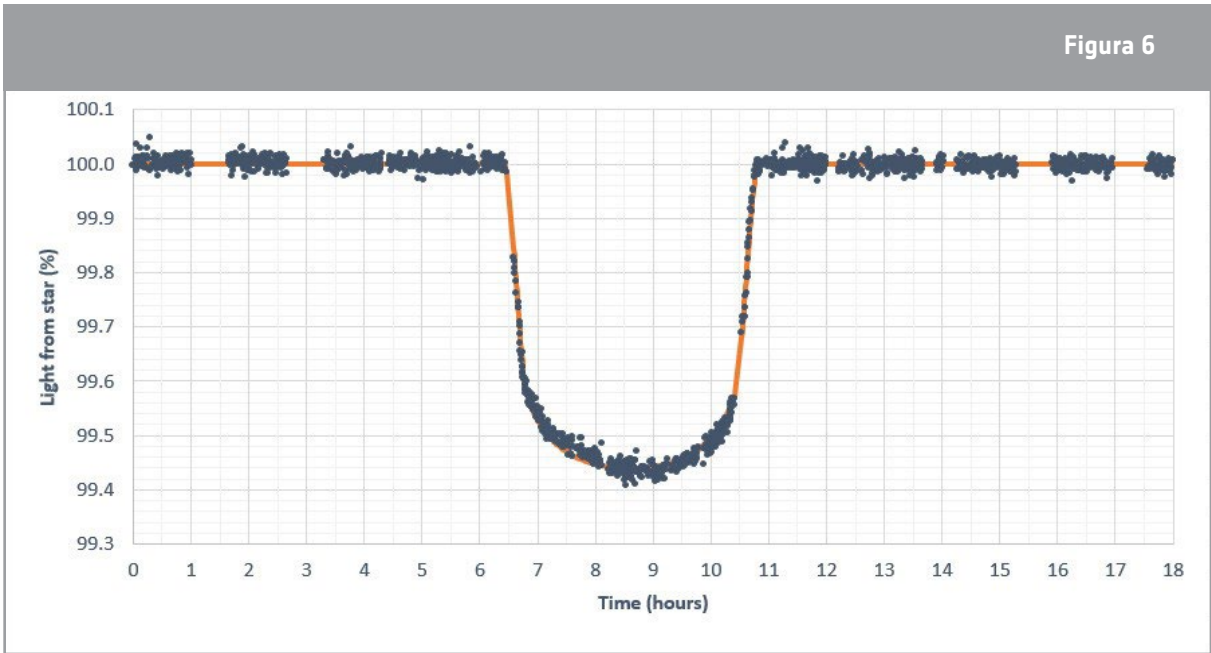


2.3. Dibuja la curva de luz de otro exoplaneta que orbita alrededor de la misma estrella que el de la Figura 5, el exoplaneta es mayor que el anterior y bloquea el doble de luz. Supongamos que el exoplaneta tarda el mismo tiempo en transitar por la estrella que el de la figura 5:



Ejercicio 3 - Interpretación de datos reales de satélite

Utilizando lo que has aprendido hasta ahora, ahora puedes analizar la curva de luz del tránsito del planeta WASP 189 b desde Cheops que has visto anteriormente en la actividad (Figura 3).



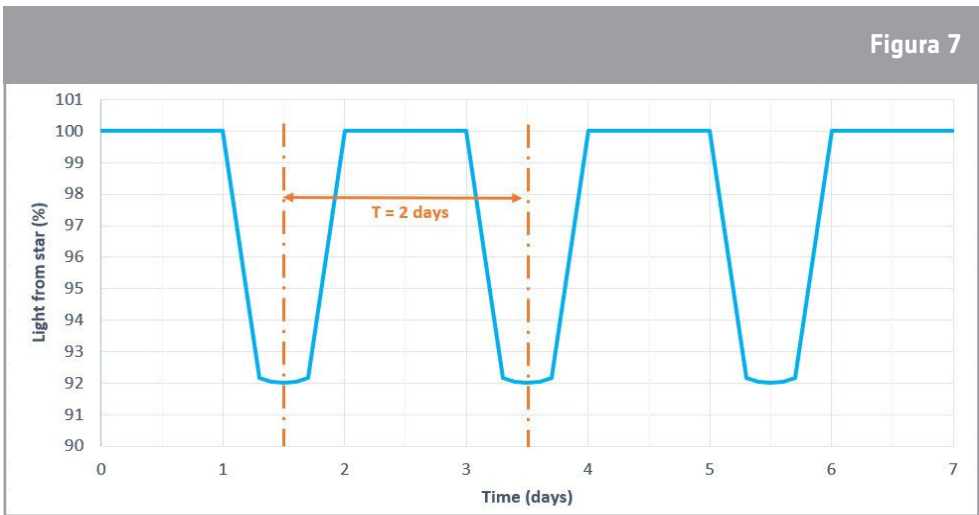
↑ Curva de luz de tránsito de WASP 189 b, incluyendo el modelo de mejor ajuste.

- 3.1. ¿Cuánto tarda aproximadamente WASP 189 b en transitar por su estrella anfitriona? _____
- 3.2. ¿Qué porcentaje aproximado de la luz estelar bloquea WASP 189 b? _____

Ejercicio 4 - Período orbital

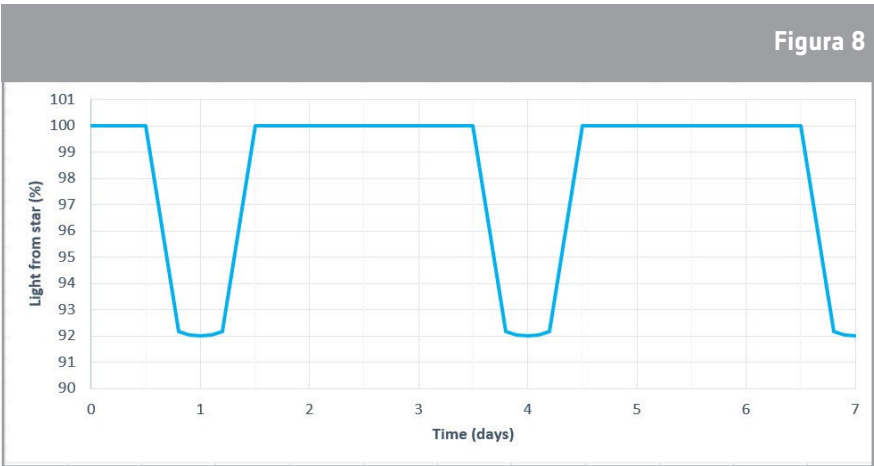
Cada vez que un exoplaneta transita por su estrella anfitriona, se produce una depresión en la curva de luz. Si se observa una estrella durante el tiempo suficiente para que el exoplaneta complete más de una órbita, se producirá más de una depresión en la curva de luz. El intervalo de tiempo entre la primera y la siguiente depresión es el **periodo orbital (T)** del exoplaneta.

La figura 7 muestra una curva de luz simulada durante una semana. Durante este tiempo, el planeta simulado transitó tres veces. Midiendo la distancia entre las depresiones de la curva de luz, vemos que el periodo orbital del planeta es de 2 días.



↑ Curva de luz simulada, incluyendo múltiples tránsitos.

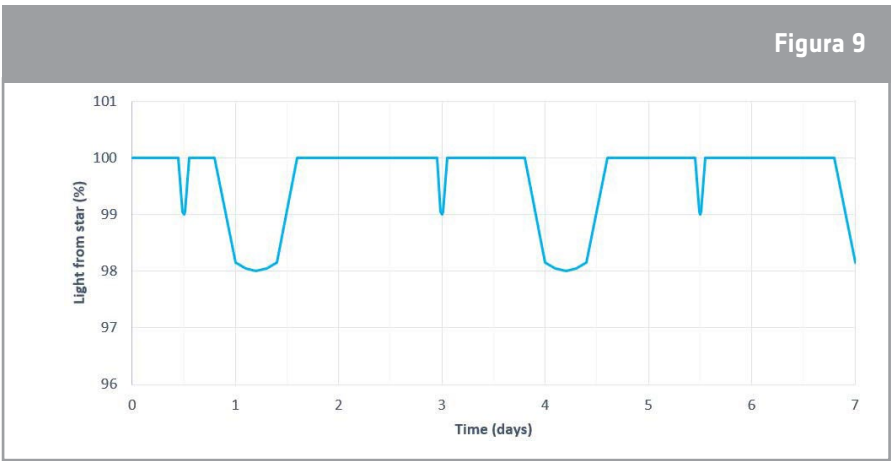
4.1. Examine la figura 8 a continuación:



↑ Esquema simplificado de una curva de luz.

¿Cuál es el período orbital del exoplaneta cuyos tránsitos se observan en la curva de luz de la figura 8?

4.2. Utilizando los conocimientos que has adquirido hasta ahora, ¿qué puedes decir sobre el sistema de exoplanetas que se observó para producir la curva de luz que se muestra en la figura 9?



↑ Esquema simplificado de una curva de luz con tránsitos múltiples.

→ Actividad 2 - Ser detective de exoplanetas.

Ahora estás preparado para analizar observaciones reales como un verdadero científico de exoplanetas y resumir lo que has aprendido. Compararás las observaciones de tu propio sistema exoplanetario modelo con las de sistemas de exoplanetas reales tomadas con Cheops.

Ejercicio 1: Descripción de observaciones de exoplanetas

Rellena los huecos con las palabras de la nube de palabras para resumir lo que has aprendido. Cada palabra se utilizará una sola vez.

satélite	más grande	menos profunda	estrella	tránsito
periodo	órbitas	profundidad	más pequeño	intervalo de tiempo

Cuando un exoplaneta pasa entre el _____ y la estrella, bloquea una pequeña fracción de la luz procedente de la _____, provocando una _____ en la curva de luz. Esto se denomina _____.

Si se observan múltiples _____ del mismo exoplaneta, el _____ entre las depresiones detectadas en la curva de luz es una medida directa del período orbital del planeta.

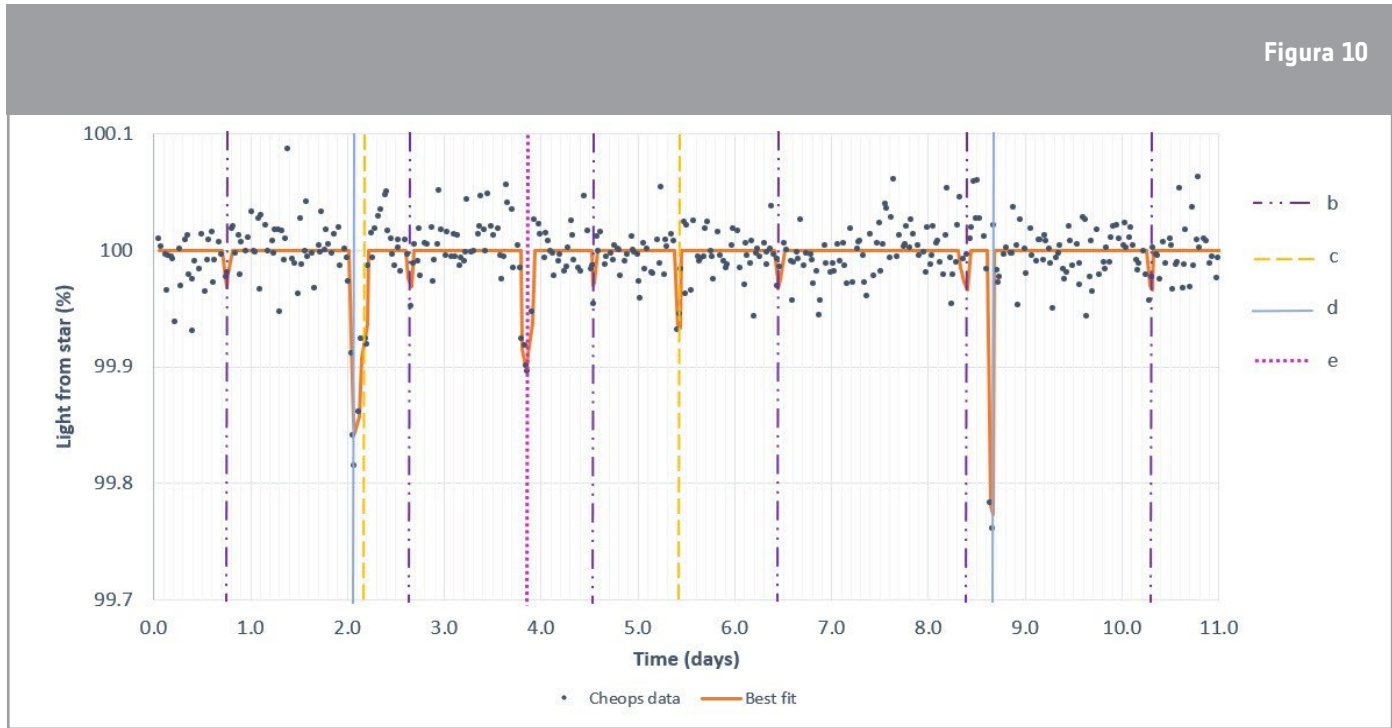
Un exoplaneta _____ produce una depresión más profunda en la curva de luz detectada y un exoplaneta _____ produce una depresión _____.

Los exoplanetas individuales pueden distinguirse entre sí por la _____ de las depresiones que producen en la curva de luz y por su _____ orbital.

Ejercicio 2: Observación de exoplanetas

Ya estás preparado para interpretar esta curva de luz del sistema TOI-178 observada durante un periodo de 11 días por Cheops.

Analiza la curva de luz de la Figura 10 y describe qué información puedes obtener de este conjunto de datos.



↑ Curva de luz del sistema TOI-178 observado por Cheops

→ Enlaces

Recursos de la ESA

Recursos para el aula de la ESA

esa.int/Education/Classroom_resources

Enseñar con Exoplanetas esa.int/Education/Teach_with_Exoplanets

Conozca a Cheops: el satélite caracterizador de exoplanetas

[esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Meet_Cheops_the_Characterising_Exoplanet_Satellite/\(lang\)/es](https://esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Meet_Cheops_the_Characterising_Exoplanet_Satellite/(lang)/es)

Serie Conozca a los expertos - Otros mundos

esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2020/07/Meet_the_Experts_Other_worlds

Paxi explora los exoplanetas

[esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Paxi_explores_exoplanets/\(lang\)/es](https://esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Paxi_explores_exoplanets/(lang)/es)

Hackear un exoplaneta

hackanexoplanet.esa.int

Proyectos espaciales de la ESA

Cronología de las misiones a exoplanetas de la ESA

<http://sci.esa.int/exoplanets/60649-exoplanet-mission-timeline>

Cheops - CHaracterising ExOPlanet Satellite

esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Cheops

Webb - Telescopio espacial James Webb

esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Webb

Detección de exoplanetas con Gaia

<https://sci.esa.int/s/WEmoOnW>

PLATO - Tránsitos planetarios y oscilaciones de las estrellas

sci.esa.int/plato

ARIEL - Atmospheric Remote-sensing Infrared Exoplanet Large-survey sci.esa.int/ariel

Información adicional

Animación artística de las órbitas y resonancias del sistema TOI-178

<https://youtu.be/-WewvRG9ysY>