

FOTOMETRÍA DE EXOPLANETAS CON EXOTIC

Manoli Seco

Buenas tardes y muchas gracias por venir. Hoy veremos que hacer fotometría de exoplanetas puede ser más sencillo de lo que parece. Explicaré cómo utilizar EXOTIC, una herramienta de código abierto que permite analizar imágenes de tránsitos de exoplanetas y obtener una curva de luz. No es necesario ser astrónomo profesional ni disponer de un telescopio propio: se puede empezar con imágenes facilitadas por el proyecto Exoplanet Watch a partir de observaciones del Harvard MicroObservatory.

Mi acercamiento a la astronomía amateur comenzó en febrero de 2023, cuando asistí en Tenerife a una actividad sobre el espacio. Allí conocí a personas que me animaron a participar en un curso sobre estrellas y mitología. Una de las profesoras, Gaia Lanzellotti, nos habló de la ciencia ciudadana y de proyectos en los que cualquier persona puede colaborar, aunque no tenga formación especializada.

El proyecto que más me interesó fue Exoplanet Watch. Ofrece la posibilidad de hacer fotometría de exoplanetas con imágenes ya obtenidas por telescopios. Desde entonces he realizado numerosos análisis, he seguido formándome en astronomía y ciencia planetaria y me he incorporado a comunidades de observación y colaboración, entre ellas el grupo Urania de Sabadell. También participo en actividades relacionadas con ExoClock, proyecto que reúne observaciones de tránsitos para apoyar la planificación de futuras observaciones espaciales.

La idea de esta sesión es mostrar el procedimiento básico y animar a quienes empiezan. No hace falta comprender todos los detalles técnicos desde el primer día: se puede comenzar con una curva de luz sencilla y, a medida que se adquiere experiencia, avanzar hacia herramientas y análisis más completos.

¿Qué es EXOTIC y qué necesitamos?

EXOTIC es un programa de código abierto que procesa imágenes astronómicas y permite obtener una curva de luz de un tránsito exoplanetario. La curva muestra cómo cambia el brillo de la estrella a lo largo del tiempo. Si un planeta pasa por delante de su estrella desde nuestra línea de visión, el brillo disminuye ligeramente durante el tránsito.

Para trabajar con EXOTIC Standard necesitamos una cuenta de correo electrónico, una cuenta de Google con acceso a Drive y un conjunto de imágenes del exoplaneta. La herramienta funciona en línea y se actualiza con frecuencia, por lo que no es necesario instalar el programa en el ordenador.

Hay dos modalidades principales. EXOTIC Standard está pensado, sobre todo, para trabajar con datos del Harvard MicroObservatory, cuyos parámetros ya conoce la herramienta.

EXOTIC Advanced permite introducir información adicional cuando se utilizan observaciones propias, como las características del telescopio y de la cámara, las coordenadas del observatorio y los filtros empleados.

Para acceder, hay que buscar en internet la página oficial de NASA Exoplanet Watch o EXOTIC y abrir la opción EXOTIC Standard. La página ofrece instrucciones y vídeos explicativos. Si no se dispone de telescopio propio, se puede solicitar un conjunto de imágenes. Normalmente llega un correo electrónico con un archivo comprimido que contiene los datos para practicar.

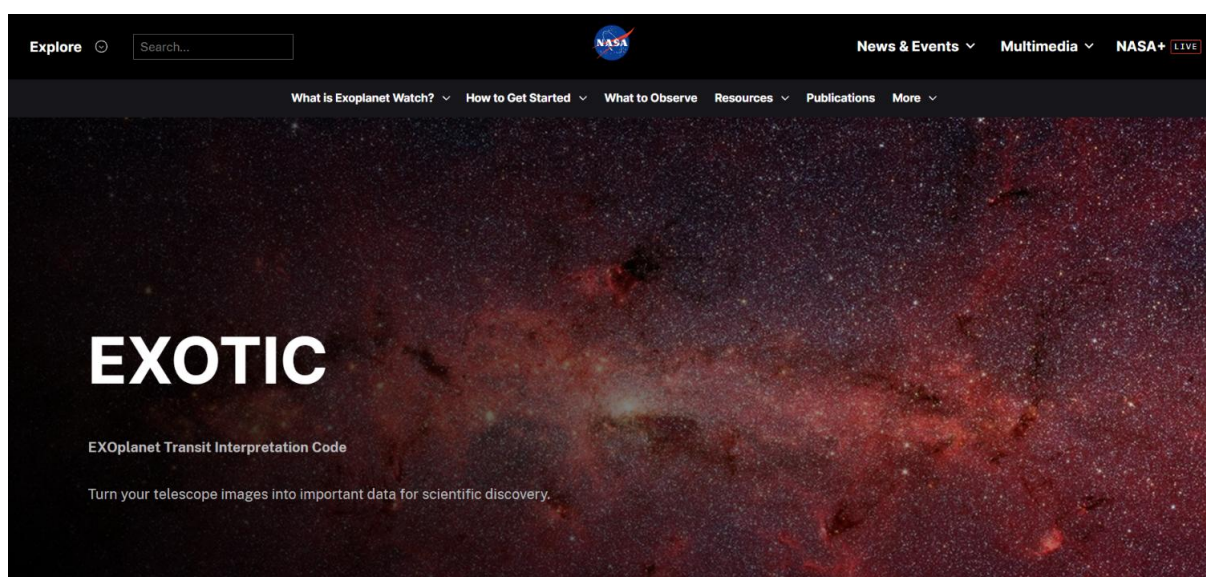


Figura 1. Home de la web de Exotic

Solicitar y organizar las imágenes

Las imágenes del Harvard MicroObservatory se han obtenido previamente. El observatorio dispone de muchos datos y la comunidad puede ayudar a analizarlos. Al solicitar un conjunto de imágenes, se recibe un archivo comprimido con las observaciones y un archivo de texto con información sobre ellas.

En el taller, las imágenes ya estaban preparadas para que pudiéramos centrarnos en el análisis. En casa, hay que descargar el archivo, descomprimirlo y guardar los datos en una carpeta de Google Drive. La carpeta puede tener el nombre que queramos, pero después habrá que escribir exactamente ese nombre en EXOTIC para que el programa localice las imágenes.

Si las observaciones son propias e incluyen imágenes de calibración, conviene organizarlas en carpetas específicas. Por ejemplo, los archivos de tipo dark, bias y flat deben colocarse donde corresponda y con los nombres que espera la herramienta. EXOTIC puede utilizarlos para procesar los datos sin que tengamos que ejecutar manualmente cada operación.

Dentro del conjunto de datos suele haber un archivo llamado “README” o “Read Me”. Al abrirlo encontramos información útil: el nombre del objetivo, sus coordenadas, la fecha de observación, el telescopio utilizado y otros detalles. Es importante identificar correctamente el exoplaneta, porque una misma estrella puede tener varios planetas designados con letras diferentes, como b, c o d.

La fecha y las condiciones de observación también pueden ayudar a valorar los datos. Una serie de imágenes tomada con mal tiempo o con nubes puede no servir para obtener una curva de luz útil. Aun así, no hay que descartar automáticamente una observación solo por las condiciones indicadas: la calidad final se debe valorar examinando las imágenes y el resultado del análisis.

Conectar EXOTIC con Google Drive

Una vez guardadas las imágenes en Drive, abrimos EXOTIC Standard y usamos la opción para montar o conectar el almacenamiento. El programa solicitará permiso para acceder a la cuenta de Google. Hay que seleccionar la cuenta correcta y autorizar el acceso.

Este paso puede fallar ocasionalmente o quedarse bloqueado. Si ocurre, se puede volver atrás y repetir el proceso. También conviene comprobar que la carpeta con las imágenes está guardada en la misma cuenta de Google Drive que se ha autorizado. Si se utilizan varias cuentas, EXOTIC podría no encontrar la carpeta, aunque exista.

A continuación, el programa pide la ruta de la carpeta. Se introduce el nombre exacto de la carpeta donde están las imágenes. También puede solicitar un código de usuario de AAVSO; si no se dispone de él, ese campo puede dejarse vacío y completarse más adelante, si procede.

Después se introduce el nombre del objeto observado. Hay que distinguir entre el nombre de la estrella y el del exoplaneta: para este análisis se debe indicar el objetivo tal como aparece en el archivo de información, incluyendo la letra del planeta cuando corresponda.

Revisar y seleccionar las imágenes

Antes de calcular la fotometría, EXOTIC permite revisar las imágenes y apartar las que no parecen adecuadas. Esta revisión es importante porque una imagen inicial de mala calidad puede dificultar la identificación del objetivo y el análisis posterior.

La herramienta muestra las imágenes del conjunto para que podamos decidir cuáles conservar. Si una imagen no sirve, podemos marcarla como archivo descartado. No se elimina definitivamente: EXOTIC la mueve a una carpeta llamada “Bad Files”, de modo que se puede recuperar si más adelante se considera útil.

Hay que comprobar que las estrellas aparecen reconocibles y que la imagen no está demasiado desenfocada, saturada o afectada por otros problemas evidentes. También es

importante que la primera imagen utilizada sea adecuada, porque el programa la emplea como referencia para parte del proceso.

La selección es una decisión del usuario: el programa ayuda a revisar los datos, pero no sustituye el criterio de quien los analiza. Si después se decide que alguna imagen apartada sí puede servir, se puede recuperar y volver a incorporarla a la carpeta de trabajo.

Identificar el objetivo y las estrellas de comparación

El siguiente paso consiste en identificar la estrella objetivo —la estrella que alberga el exoplaneta— y seleccionar estrellas de comparación. La fotometría diferencial compara el brillo de la estrella objetivo con el de otras estrellas del mismo campo, lo que ayuda a compensar variaciones debidas a la atmósfera o al equipo.

EXOTIC puede mostrar una carta estelar de AAVSO para facilitar la identificación. En ella se indica la posición del objetivo y aparecen estrellas de referencia con magnitudes conocidas. Conviene escoger estrellas de comparación de brillo parecido al de la estrella objetivo y evitar las variables, porque su brillo cambia por motivos propios.

La herramienta recomienda utilizar al menos dos estrellas de comparación y permite seleccionar varias, hasta el límite que indique la versión utilizada. Si el objeto no aparece bien catalogado o no hay una carta adecuada, el programa puede pedir las coordenadas del objetivo para generar una representación del campo. En ese caso quizá no dispongamos de magnitudes ni de una selección previa de estrellas de comparación, por lo que habrá que identificarlas con más cuidado.

Para localizar el objetivo, se compara la distribución de estrellas de la imagen con la carta. A veces la imagen y la carta aparecen giradas o con orientaciones distintas. Se puede ampliar la imagen, abrirla en otra pestaña o girarla para reconocer el patrón de estrellas. Esta suele ser una de las partes que más tiempo requiere.

Al situar el cursor sobre una estrella, la herramienta muestra sus coordenadas. Hay que anotarlas e introducirlas en el formato solicitado por el programa. Se hace lo mismo con las estrellas de comparación. No es necesario acertar con una precisión perfecta al primer intento: al ejecutar el análisis, EXOTIC puede detectar coordenadas incorrectas o estrellas que no son adecuadas y proponer correcciones.

Si el programa avisa de que una estrella de comparación es variable o no resulta apropiada, hay que sustituirla. Este proceso puede requerir varios intentos. La finalidad es obtener un conjunto fiable de estrellas de comparación, no completar el formulario a toda prisa.

Ejecutar el análisis y obtener la curva de luz

Cuando las imágenes están seleccionadas y se han indicado el objetivo y las estrellas de comparación, se puede ejecutar la fotometría. EXOTIC procesa las imágenes y realiza automáticamente diversas tareas que, de otro modo, exigirían más trabajo manual.

Entre otras cosas, puede corregir la posición del objetivo si las coordenadas introducidas no son las adecuadas, descartar estrellas de comparación variables, proponer otras estrellas de referencia y elegir parámetros de apertura para medir el brillo. El programa también puede utilizar los archivos de calibración si están correctamente organizados.

El resultado es una curva de luz, siempre que la calidad de los datos lo permita. En los resultados se indican las estrellas de comparación y otros parámetros del análisis, como la apertura seleccionada. Estos datos pueden ser útiles si se quiere continuar el estudio con otra herramienta.

Al finalizar, el sistema puede ofrecer un certificado de participación. Para muchas personas que empiezan, obtener la primera curva de luz y comprobar que han contribuido a un proyecto científico es una motivación importante. Con la experiencia, se puede profundizar en el significado de la curva, la calidad de la observación y los parámetros que intervienen en el análisis.

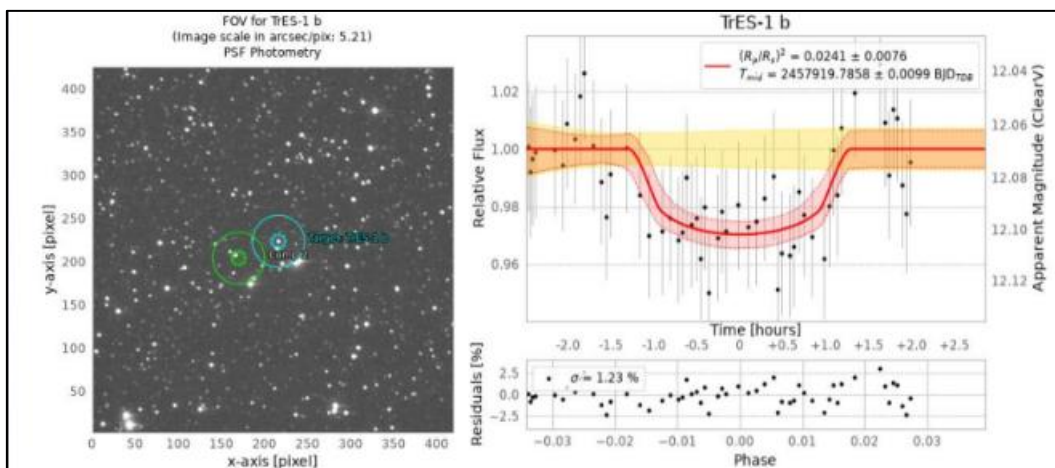


Figura 2. Curva de luz del exoplaneta TrES-1b obtenida con Exotic

¿Qué hacemos con los resultados?

EXOTIC genera una carpeta de resultados con archivos que describen el análisis. Si se participa en AAVSO y se cumplen sus requisitos, se pueden enviar los resultados a la base de datos siguiendo las instrucciones de la plataforma. La publicación permite que otras personas investigadoras consulten las observaciones y determinen si son útiles para sus estudios.

No todas las curvas de luz son igual de buenas. Si el resultado no es fiable, lo adecuado es revisar las imágenes, cambiar las estrellas de comparación o repetir el análisis. No se trata de subir datos a cualquier precio, sino de contribuir con observaciones que puedan resultar útiles.

Los datos del Harvard MicroObservatory se pueden utilizar para practicar y comparar métodos de análisis, pero hay que respetar las condiciones del proyecto. La posibilidad de practicar con un conjunto de imágenes no significa que se pueda publicar libremente en cualquier base

de datos. Antes de enviar resultados, hay que comprobar las condiciones de uso y los plazos indicados por el proyecto.

La comunidad de Exoplanet Watch también dispone de canales de comunicación, como Slack, donde las personas participantes pueden plantear dudas, compartir resultados y pedir ayuda. Es un recurso útil cuando una observación parece defectuosa o cuando no se sabe cómo interpretar un mensaje del programa.

De EXOTIC Standard a herramientas más avanzadas

EXOTIC Standard es una buena puerta de entrada para aprender los pasos básicos. Cuando se utilizan observaciones propias o se necesita introducir más información instrumental, se puede recurrir a EXOTIC Advanced u otras herramientas, como HOPS o Transit Lab.

Cada programa tiene sus ventajas. Algunas herramientas guían al usuario paso a paso y son cómodas para los casos sencillos. Otras ofrecen más opciones de configuración y permiten investigar observaciones más difíciles, aunque exigen conocer mejor los datos. En determinados casos, usar EXOTIC para identificar las mejores estrellas de comparación y después repetir el análisis con otra herramienta puede ayudar a comprobar el resultado.

Transit Lab ofrece una interfaz más visual y permite introducir más información sobre la observación. Sin embargo, añadir más datos no garantiza automáticamente una curva de luz mejor: lo fundamental sigue siendo la calidad de las imágenes y la correcta elección de los parámetros.

La recomendación para quien empieza es practicar con conjuntos sencillos, aprender a reconocer imágenes útiles y comprender qué representa la curva de luz. Después se puede avanzar hacia observaciones propias, herramientas más completas y proyectos de seguimiento de tránsitos, como ExoClock.

Preguntas

¿Necesito tener un telescopio propio para hacer fotometría de exoplanetas?

No. Se puede empezar con imágenes del Harvard MicroObservatory solicitadas a través de Exoplanet Watch. Si se dispone de telescopio propio, también se pueden analizar las observaciones, aunque quizá sea necesario utilizar EXOTIC Advanced u otra herramienta y aportar información adicional del equipo.

¿Qué ocurre si no consigo hacer el análisis dentro del plazo indicado?

Se pueden seguir utilizando las imágenes para practicar, pero el plazo puede limitar la posibilidad de enviar esa observación al proyecto. Conviene revisar las condiciones vigentes de Exoplanet Watch y solicitar otro conjunto de datos para continuar practicando.

¿Se eliminan definitivamente las imágenes que marco como malas?

No. EXOTIC las aparta en una carpeta llamada "Bad Files". Se pueden recuperar e incorporar de nuevo si después se decide que son aprovechables.

¿Qué imagen es la más importante al comenzar el análisis?

La primera imagen que se utiliza como referencia debe ser de buena calidad y permitir reconocer las estrellas. Si no es adecuada, puede complicar la identificación y el procesamiento de las demás.

¿Cuántas estrellas de comparación hay que elegir?

Como orientación, AAVSO recomienda al menos dos estrellas de comparación. EXOTIC puede permitir seleccionar más, dentro del límite que indique la versión. Es preferible escoger estrellas estables y de brillo parecido al de la estrella objetivo.

¿Qué hago si la carta estelar no coincide con la imagen?

Comprueba si la carta y la imagen están giradas o tienen distinta orientación. Amplía la imagen, ábrela en otra pestaña o gírala para comparar el patrón de estrellas. Si no hay una carta disponible, puede ser necesario introducir las coordenadas del objetivo y localizar las estrellas de comparación manualmente.

¿EXOTIC puede corregir errores en las coordenadas o en las estrellas elegidas?

Sí, en algunos casos detecta que las coordenadas no corresponden a la estrella esperada o que una estrella de comparación no es adecuada. Puede proponer correcciones, pero hay que revisar los avisos y confirmar que la selección final tiene sentido.

¿Puedo utilizar las imágenes con otros programas?

Sí, para practicar y comparar resultados se pueden analizar con otras herramientas compatibles. No obstante, antes de publicar los resultados hay que respetar las condiciones de uso de las imágenes y los requisitos de cada base de datos.

¿Qué diferencia hay entre EXOTIC, HOPS y Transit Lab?

EXOTIC Standard facilita el análisis inicial, especialmente con datos del Harvard MicroObservatory. EXOTIC Advanced permite configurar observaciones propias. HOPS y Transit Lab ofrecen otras formas de analizar los datos y pueden resultar útiles para contrastar resultados o estudiar casos más complejos.

¿Qué pasa si la curva de luz no es buena?

Conviene revisar la calidad de las imágenes, la selección de estrellas de comparación y los parámetros del análisis. Se puede repetir la fotometría con otra selección y pedir ayuda en la comunidad del proyecto. No todas las observaciones permiten obtener una curva útil.

¿Puedo enviar una observación a ExoClock si la he analizado con otra herramienta?

ExoClock exige que los datos enviados cumplan sus requisitos y estén en el formato aceptado. Hay que seguir las instrucciones oficiales y comprobar que el archivo de resultados

corresponde al formato requerido; no basta con cambiar el nombre o modificar un archivo de forma superficial.

¿Dónde puedo pedir ayuda si me atasco?

La comunidad de Exoplanet Watch en Slack es un lugar útil para plantear preguntas, compartir problemas y aprender de otras personas participantes. También conviene consultar la documentación y los tutoriales oficiales de la herramienta.

Agradecimientos

Quiero dar las gracias a Gemma, que me presentó al grupo Urania, y a todas las personas del grupo por compartir su tiempo y sus conocimientos y por la paciencia con la que ayudan a quienes están empezando. Agradezco especialmente a Mercè su acompañamiento y sus explicaciones, y a Trini, mi compañera de equipo, su apoyo. También doy las gracias a las personas de NASA Exoplanet Watch que facilitan los datos y responden a las consultas, y a la Agrupació Astronòmica de Sabadell por ofrecerme la oportunidad de compartir esta experiencia.