FOTOMETRÍA DE EXOPLANETAS CON ASTROIMAGEJ

Ramón Naves

AstroImageJ es una herramienta de software libre especialmente útil para analizar tránsitos de exoplanetas mediante fotometría. Su principal ventaja aparece en los casos difíciles: observaciones en las que otros programas, como HOPS o FotoDiff, no ofrecen una curva satisfactoria pueden procesarse con mayor flexibilidad. Sin embargo, esa misma flexibilidad constituye su principal riesgo. Una elección poco rigurosa de parámetros puede transformar datos deficientes en una curva aparentemente excelente, sin que el resultado sea científicamente fiable.

Por ello, para iniciarse en la observación de exoplanetas puede resultar más sencillo utilizar primero otras aplicaciones. AstroImageJ exige conocer el significado de las opciones que se modifican y mantener un criterio de trabajo prudente. Entre las personas que han contribuido a su desarrollo destaca Karen Collins, que ha incorporado herramientas de gran interés para la fotometría profesional y amateur.

Preparación de las imágenes y configuración

Conviene iniciar el programa, comprobar las actualizaciones y configurar adecuadamente la memoria disponible. La secuencia de trabajo comienza importando las imágenes mediante la opción de importación de secuencias, en lugar de abrirlas individualmente. En el ejemplo mostrado se trabajaba con unas 430 tomas.

Mi recomendación es alinear y resolver astrométricamente las imágenes previamente con otra herramienta, cuando sea posible. AstroImageJ también dispone de funciones para hacerlo, pero algunas rutinas pueden ser lentas, especialmente si dependen de servicios externos. Disponer de una secuencia preparada simplifica considerablemente el análisis posterior.

La configuración inicial contiene numerosas opciones y conviene conservar una plantilla de parámetros que ya haya funcionado. Esto evita repetir ajustes complejos al cambiar de ordenador o comenzar una nueva sesión de reducción.

La elección de las aperturas fotométricas

Uno de los puntos decisivos es el modo en que el programa define las aperturas utilizadas para medir el flujo de las estrellas. Existen varias posibilidades. La primera mantiene radios fijos para todas las imágenes; puede ser útil cuando la estrella objetivo tiene otra muy próxima y se necesitan aperturas pequeñas, pero no suele ser la opción más favorable en observatorios con condiciones de seeing variables.

Otra opción calcula las aperturas a partir de la primera imagen. Una tercera determina una apertura fija teniendo en cuenta el conjunto de tomas. En mi experiencia, la cuarta alternativa,

que adapta los radios de las aperturas a cada imagen, ofrece con frecuencia los mejores resultados. No es una regla universal: cuando las condiciones atmosféricas cambian de forma extrema, esta adaptación también puede fallar.

La conclusión práctica es que merece la pena comparar distintas estrategias, sobre todo la tercera y la cuarta. La primera y la segunda quedan reservadas para circunstancias particulares. Es preferible comprobar el resultado con varios criterios antes que aceptar automáticamente la curva más atractiva.

Selección automática de estrellas de comparación

Tras medir las imágenes, el programa identifica un conjunto de estrellas de comparación. Una de sus funciones más útiles es evaluar automáticamente combinaciones de esas estrellas para seleccionar las que proporcionan una fotometría diferencial más estable. Este proceso se inicia mediante el botón Start de la ventana de optimización.

Es importante ejecutar esa optimización antes de valorar el resultado. La curva preliminar puede presentar una dispersión considerable y mejorar notablemente después de seleccionar las estrellas de referencia. El programa ofrece un modo rápido, adecuado para la mayoría de equipos y para campos con numerosas estrellas, y alternativas más exhaustivas que pueden requerir mucho tiempo de cálculo.

También es posible modificar manualmente la selección de estrellas. En algunos casos excepcionales retirar una comparación problemática mejora la curva, pero habitualmente la selección automática constituye un buen punto de partida.

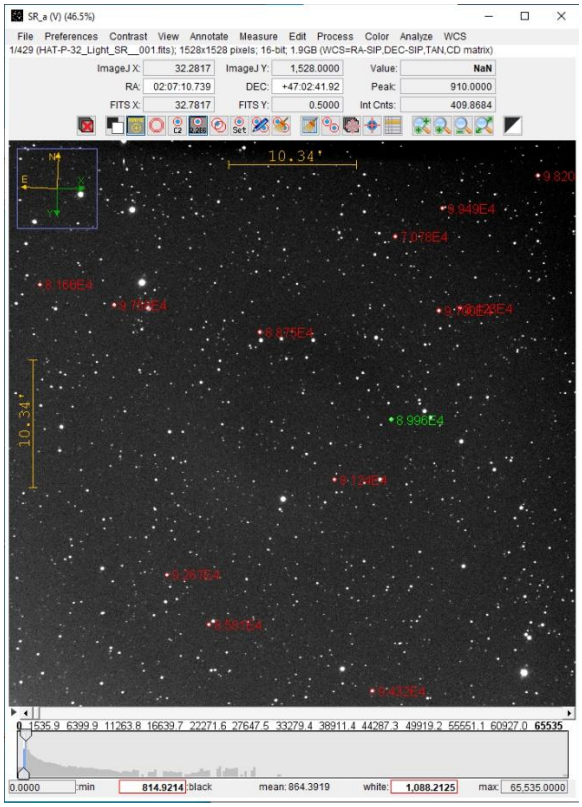

Figura 1. Elección de estrellas de comparación

Parámetros de detrending y límites del ajuste

La corrección de tendencias sistemáticas, o detrending, es probablemente una de las funciones más potentes y delicadas de AstroImageJ. El programa puede tener en cuenta variables relacionadas con la masa de aire, las condiciones del cielo, el desplazamiento de las estrellas sobre el detector y otros efectos instrumentales o de la observación.

La recomendación es limitar el número de parámetros correctivos, normalmente a uno o dos, aunque la aplicación permita introducir más. Si se activan demasiadas correcciones, puede obtenerse una curva visualmente impecable a costa de ajustar también el ruido o de introducir un sesgo. El objetivo no es producir el tránsito esperado, sino medir el que realmente aparece en los datos.

El ajuste del oscurecimiento del limbo estelar y otros parámetros físicos también requiere cuidado. En la configuración utilizada durante la charla se fijaban algunos valores y se dejaba al programa calcular el resto. La regla fundamental es documentar las decisiones y no modificar parámetros únicamente para forzar una profundidad o una forma predeterminadas.

La importancia de las horas del tránsito

En otra ventana de configuración deben indicarse, cuando se conocen, las horas previstas de inicio y final del tránsito. Aunque el programa convierte esas horas a su formato interno, el observador puede introducirlas directamente. Es recomendable anotarlas antes de comenzar la sesión, porque algunas páginas de efemérides dejan de mostrar fácilmente esa información una vez pasado el evento.

En observaciones de buena calidad la curva puede resultar evidente sin introducir esos límites. Sin embargo, cuando el tránsito es débil o los datos presentan problemas, la información temporal puede ser decisiva para obtener un ajuste estable. También debe evitarse imponer ventanas incorrectas, porque pueden alterar significativamente la interpretación del resultado.

Comprobación de las curvas y exportación

Una comprobación especialmente valiosa consiste en examinar varias representaciones de la misma observación: la curva sin correcciones, una versión con correcciones parciales y la curva final ajustada. Si la señal del tránsito solo aparece después de aplicar un tratamiento muy intenso, debemos desconfiar de su fiabilidad. Lo deseable es reconocer al menos una señal compatible con el tránsito en los datos menos procesados.

Los resultados pueden guardarse como series de flujo y sus incertidumbres, en lugar de trabajar exclusivamente con magnitudes logarítmicas. Conviene verificar qué curva se está exportando y si contiene los parámetros de detrending aplicados. También es útil conservar gráficos de la masa de aire, del comportamiento de la cámara y de las estrellas de comparación, porque ayudan a valorar la calidad real de la observación.

En definitiva, AstroImageJ puede rescatar observaciones difíciles, pero exige una disciplina rigurosa. La capacidad de mejorar una curva no debe confundirse con la capacidad de demostrar que la medida es correcta.

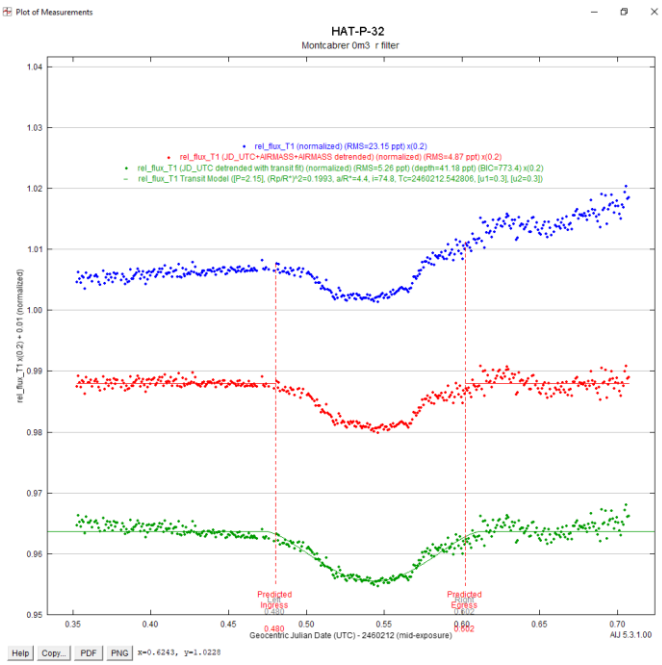

Figura 2. Curvas de tránsitos com AstroImageJ

Preguntas

¿Es necesario introducir la temperatura efectiva de la estrella, el tipo espectral o la profundidad prevista del tránsito?

En mi forma de trabajar, esos datos no suelen modificar de manera apreciable el resultado cuando se utiliza el procedimiento automático. A veces introduzco el período orbital, pero prefiero no condicionar el análisis con demasiados valores esperados. La intención es que la curva se obtenga principalmente a partir de las medidas y no de lo que sabemos de antemano sobre el exoplaneta.

¿Qué criterio debe seguirse cuando la profundidad o el instante medidos no coinciden con los valores publicados?

Mi criterio es comunicar los resultados obtenidos de forma honesta, con sus incertidumbres, aunque difieran ligeramente de las predicciones. AstroImageJ permite ajustar muchos parámetros y sería posible acercar artificialmente una curva al valor esperado. Pero precisamente los cambios reales en los tiempos o profundidades de los tránsitos pueden ser de interés científico. Forzar la coincidencia haría desaparecer esa información. Por eso considero preferible que los proyectos receptores evalúen la calidad de las observaciones sin exigir que cada medida reproduzca exactamente un resultado previo.