

Capítulo 2: Estrellas variables: qué, por qué y cómo medir

¿Qué estamos midiendo con fotometría?

Las estrellas variables son estrellas cuya luz varía sensiblemente debido a procesos físicos dentro, sobre o alrededor de ellas. Hay muchos tipos y cada uno de ellos representa los diferentes caminos en los que una estrella puede variar. Pueden cambiar de tamaño, forma o temperatura en el tiempo (pulsantes), pueden producirse cambios rápidos en la luz debido a procesos físicos alrededor de ellas (acreción y eruptivas), o pueden ser eclipsadas por otras estrellas o planetas en órbita alrededor de ellas (binarias y exoplanetas). La clave es que algo está pasando físicamente a la estrella o en sus inmediaciones. También podemos ver una estrella centelleando en el cielo, pero en este caso la variación es debida a la atmósfera de nuestro planeta. Una estrella variable varía por sí misma, independientemente de lo que pueda ocurrir aquí en la Tierra.

Diferentes tipos de estrellas varían en diferentes escalas de tiempo. Algunas pueden tardar semanas, meses o años en sufrir cambios que sean detectables. Por el contrario, otras necesitan días, horas, minutos, segundos o incluso mucho menos. Algunas varían regularmente y podemos ver patrones en las variaciones que se repiten en el tiempo, otras experimentan cambios caóticos que nunca podremos predecir exactamente. Algunas varían de la misma forma durante siglos, mientras que otras — como las supernovas — pueden estallar rápidamente para luego desaparecer: nunca se verán otra vez.

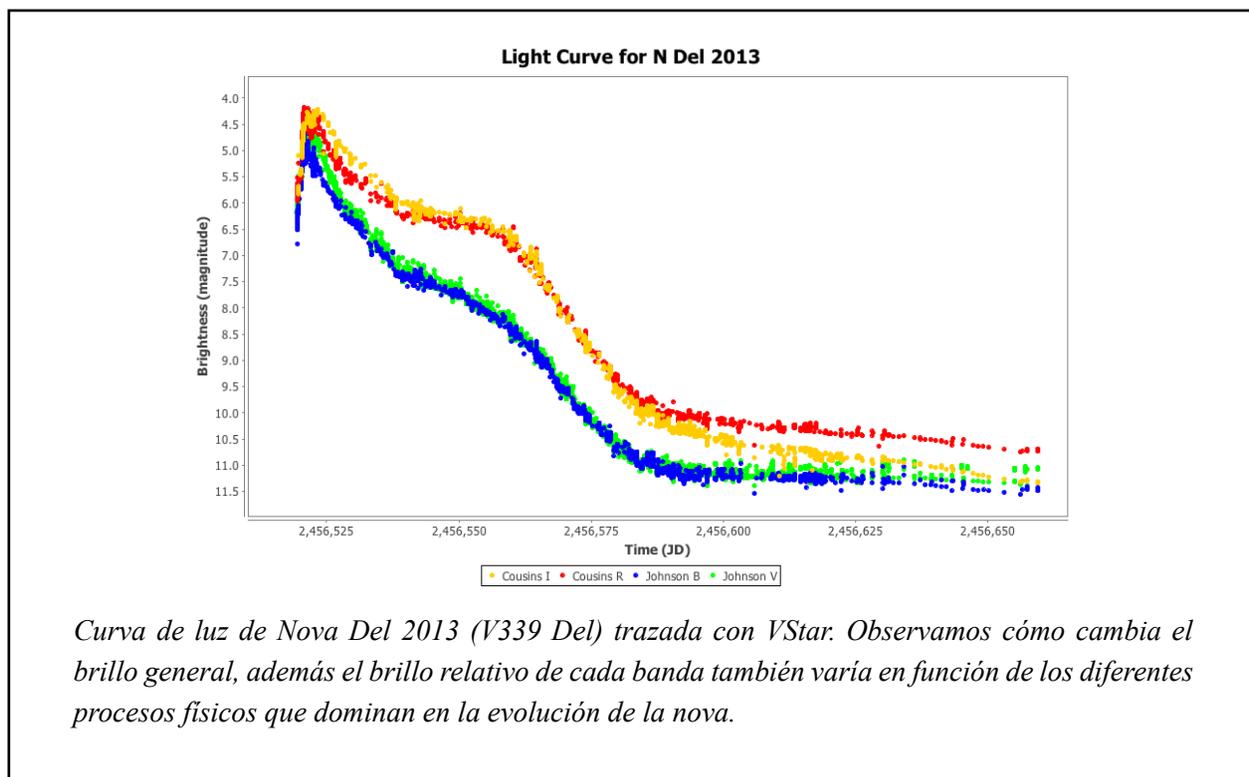
Entre las estrellas variables también existen diferentes rangos de brillo aparente (cómo de brillantes nos parecen), así como con una variedad de luminosidades intrínsecas (la cantidad de luz que realmente emiten). Una estrella puede ser intrínsecamente luminosa, pero si está a miles de años luz de distancia, nos parecerá débil. Las variables también tienen un rango de *amplitudes* (cuánto cambia su luz en función del tiempo). Algunas pueden variar 10 magnitudes o más, lo cual es un valor de diez mil en flujo, ¡un gran cambio! Por el contrario otras varían una milimagnitud, o incluso menos, y sus variaciones serán imposibles de detectar para nosotros. Hay innumerables variables entre ambos extremos y no nos faltarán objetos que observar para que seamos capaces de desarrollar un trabajo productivo, independientemente del tamaño de nuestro telescopio.

¿Por qué hacemos fotometría?

Las estrellas variables son interesantes por varias razones diferentes, pero fundamentalmente las estudiamos porque son como laboratorios de física. No podemos ir y tocar una estrella o cambiarla de alguna forma para estudiarla, pero sí podemos entender cómo cambia la luz de una estrella variable, lo cual nos ayudará a aprender más sobre cómo funciona el universo. Los mismos procesos físicos fundamentales que operan aquí en la Tierra — la gravedad, la mecánica de fluidos, el

electromagnetismo, la luz y el calor, la química y la física nuclear — operan de la misma manera en todo el universo. Al observar *cómo* las estrellas cambian con el tiempo, podemos aprender **por qué lo hacen**. Lo que estamos haciendo con nuestras observaciones es proporcionar la materia prima que da poder a la investigación científica. Los científicos pueden especular interminablemente sobre por qué las cosas parecen y se comportan de la manera en que lo hacen, pero en última instancia, esas hipótesis tendrán que ser probadas con el fin de avanzar en nuestra comprensión científica. Ahí es donde entra en juego la observación y donde se tiene la mayor posibilidad de hacer una valiosa contribución a la ciencia de las estrellas variables. Si le damos a los investigadores datos válidos y precisos, podrán hacer buenos modelos de cómo funciona el universo, y nuestra comprensión aumentará y mejorará. Por el contrario, si tienen malas medidas, los científicos solo podrán hacer modelos mediocres que nos pueden engañar y obstaculizarán el progreso en este campo.

En cuanto a la cuestión más amplia de por qué las estrellas variables son interesantes, a menudo nos ofrecen más información que una estrella específica en un momento dado. También pueden decirnos algo acerca de las circunstancias en que se forman, cómo pasan sus vidas, y cómo finalmente evolucionan y mueren. Aprender más acerca de lo que las estrellas son y por qué se comportan de la manera en que lo hacen nos da una imagen más completa del universo en el que vivimos, tanto en el presente como en escalas de tiempo cósmicas, y proporciona información sobre todo, desde los planetas y las estrellas, a las galaxias y más allá. En definitiva, esto es sobre lo que trata la astronomía de las estrellas variables.



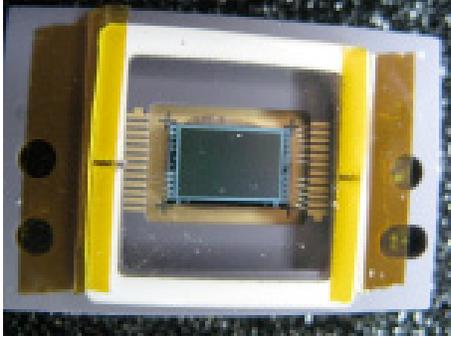
En este documento vamos a ocuparnos principalmente de la variabilidad en longitudes de onda ópticas — luz con longitudes de onda observables por el ojo humano — pero hay que tener en cuenta que las estrellas son variables en cualquier longitud de onda, desde las ondas de radio hasta los rayos X y los rayos gamma. Con frecuencia las estrellas variables varían de forma distinta en diferentes longitudes de onda. Esto es algo clave para recordar, especialmente al hacer fotometría CCD. A menudo no solo estamos interesados en cuánta es la cantidad total de luz que está cambiando, también en las propiedades de esa variación de luz en función de cada longitud de onda.

Conocer tanto el cambio global como la dependencia en cada longitud de onda puede ayudarnos a entender la física subyacente de lo que está ocurriendo en la estrella, que en definitiva es lo que buscamos en la astronomía de las estrellas variables. Más adelante en esta guía vamos a hablar sobre cómo podemos medir (o al menos delimitar) las propiedades espectrales de las estrellas que observamos. Al hacer esto, tenemos una imagen mucho más completa de cómo y por qué algunas estrellas varían.

¿Cómo realizar fotometría?

Los detalles de esta pregunta van a formar el grueso de esta guía. Para medir el número de fotones que nuestro telescopio recibe de una estrella variable, junto con una serie de conocidas “estrellas de comparación” observadas al mismo tiempo, se utilizará un instrumental electrónico: un “dispositivo de carga acoplada” o cámara CCD. Los números que obtengamos, junto con los datos de calibración adicionales, nos ayudarán a convertir nuestra medida del número de fotones respecto al calibrado en una medida física del brillo de una estrella en un momento concreto en el tiempo. Repitiendo esa medición una y otra vez, podemos medir cómo la luz de la estrella cambia en el tiempo. Ésta es la esencia de la fotometría, independientemente de qué equipo estemos usando para realizar las medidas. Vale la pena que nos detengamos un momento para explicar qué está ocurriendo dentro de la cámara cuando se expone a la luz.

Una cámara CCD tiene en su corazón una oblea semiconductora de silicio que se ha dividido en un gran número de cuadrados aislados, cargados eléctricamente, que llamamos “píxeles”. Esto se conoce como un sensor CCD. Cuando el sensor se expone a la luz, los fotones golpean a cada píxel y liberan electrones a través del efecto fotoeléctrico. Cada píxel y sus puertas electrónicas asociadas actúan como un pequeño condensador, recogiendo estos electrones de los píxeles de silicio cuando la luz incide sobre ellos. Cada píxel está conectado a un procesador central y la carga que se recoge en cada uno de ellos se acumula hasta que el sensor es “leído” por la electrónica de la cámara. Durante la lectura, el procesador central mide la carga recogida en cada píxel. Esta es una tensión analógica que se convierte en un número digital mediante un convertidor de analógico a digital. Lo que se envía desde el sensor CCD al ordenador es la posición del píxel en el sensor y una representación digital de la cantidad de carga que lleva en cada momento de la lectura. Esto es lo que crea la imagen que se obtiene de nuestro sistema.



Un ejemplo de un (antiguo) sensor CCD. El área del detector es el rectángulo gris en el medio. Se observa el cableado en los bordes; el sensor se lee a través del cableado, que está conectado al convertidor analógico a digital dentro de la cámara. (Cortesía Arne Henden)

Lo que hace que la imagen sea útil para la astronomía de estrellas variables es que se etiqueta de alguna manera (por lo general en la misma cabecera) en el momento en que fue tomada. Así que en este punto tenemos más información de la que pensábamos en un principio — una medida de luz en un momento específico de tiempo- para hacer “fotometría”. Sin embargo, este es solo el primer paso. Hay algunas cosas importantes que hacer desde que abrimos el obturador de nuestra cámara y conseguimos un conjunto final de números — tiempo, magnitud y una incertidumbre para cada medición- que involucran ante todo cómo el conteo de electrones por el sensor de nuestra CCD se refiere a una cantidad física, como la cantidad de luz que emite una estrella en una determinada longitud de onda. El paso de calibración es un proceso largo pero sencillo que transforma esos datos de la CCD en información física acerca de la estrella.

El proceso de calibración implica medir:

- El ruido inherente a la electrónica de la cámara
- Las peculiaridades de la óptica de nuestro telescopio, desde su abertura hasta al sensor CCD.
- La respuesta de nuestro sistema a la longitud de onda —cómo se registran diferentes longitudes de onda de la luz, y eventualmente...
- La respuesta a la longitud de onda de la atmósfera a través de la cual hemos observado.

Cada uno de estos pasos será tratado más adelante en esta guía pero, por ahora, debemos darnos cuenta de que para hacer fotometría de estrellas variables hay que hacer algo más que una sola observación. Los datos de calibración que tomemos para nuestra observación de estrellas variables con el tiempo se convertirán en una rutina, explicaremos lo que tenemos que hacer y por qué.

Lo más importante que debemos recordar de este capítulo es que el objetivo de la fotometría no son los números que van saliendo de la cámara CCD y el procesamiento de los datos, sino la ciencia que se puede hacer con esos números. Con el fin de hacer ciencia, nuestros resultados tienen que representar algo con significado físico, y tienen que ser presentados de una manera que sea útil para el análisis científico riguroso. Esa es nuestra meta, y ahí es donde estamos apuntando con esta guía.

En el próximo capítulo vamos a tratar los conceptos básicos de qué equipo y programas informáticos necesitamos antes de que podamos hacer fotometría CCD. Cada fabricante de telescopios, monturas y cámaras CCD tendrá sus propias peculiaridades y ello nos obligará a conocerlas y tenerlas en cuenta cuando abramos el observatorio para una noche de fotometría de estrellas variables. Muchos de los parámetros de nuestro equipo son relevantes y nos dirán lo que seremos capaces de observar con eficacia para obtener buenos datos. No seremos capaces de obtener buenas medidas para todas y cada una de las estrellas variables que hay en el cielo con un solo equipo, independientemente de su tamaño o precio. Sin embargo, habrá muchos objetos que se puedan observar con facilidad y eficacia sin importar el equipo que tengamos, tan solo hay que tener claro cuáles son esos objetos antes de ponerse ante el telescopio.