



## ESTRELLAS BINARIAS: UN MATRIMONIO MUY VENTAJOSO

**GRACIAS AL AVANCE DE LOS INSTRUMENTOS ASTRONÓMICOS, HOY DÍA CONOCEMOS LOS DISTINTOS TIPOS DE ESTRELLAS BINARIAS ASÍ COMO LOS MÉTODOS PARA EXTRAER LA MÁXIMA INFORMACIÓN DE ELLAS.**

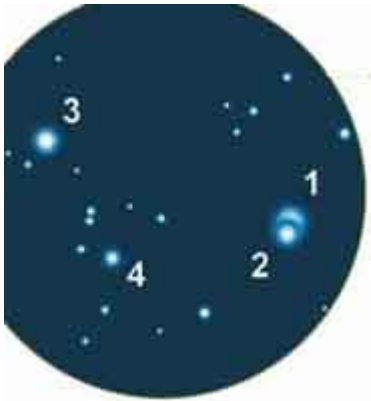
**Por Susana Martín (IAA-CSIC)**

**CUANDO, EN NOCHES MUY OSCURAS, NOS ALEJAMOS DE NUESTRA CIUDAD Y MIRAMOS AL CIELO**, podemos ver un número astronómico de estrellas sin necesidad de instrumentos. Si, además, disponemos de unos prismáticos o de un pequeño telescopio, el paisaje estelar se vuelve espectacular, sobre todo porque se ven objetos que no se percibían con el ojo desnudo. No nos referimos a galaxias lejanas, objetos extraños o nuevos planetas, sino a simples estrellas: a las "estrellas dobles". Muy abundantes en el cielo, la mas famosa es la estrella doble formada por Mizar y su compañera Alcor. Su separación y su brillo nos permiten contemplarlas a simple vista, y ya los antiguos árabes las empleaban para comprobar la buena visión de sus guerreros. Otro ejemplo es la estrella Albireo que, a través de un telescopio, muestra los colores naranja y azul de sus componentes y cuyo contraste hace que sea una de las más observadas y fotografiadas del hemisferio norte.

### **Perspectiva histórica**

Nuestro conocimiento de estas estrellas, así como de su tipología, ha ido de la mano del avance de los instrumentos astronómicos a lo largo de la historia. A principios del siglo XVII, Benedetto Castelli (estudiante de Galileo Galilei) y Giovanni Battista Riccioli pudieron observar con un telescopio que la estrella Mizar era realmente dos estrellas con una separación de alrededor de 14 segundos de arco. Posteriormente se fueron descubriendo más estrellas dobles cuya existencia se atribuía a un mero fenómeno óptico donde las componentes estaban separadas por una enorme distancia. Pero no fue hasta 1767 cuando John Mitchell demostró, utilizando el cálculo de probabilidades, que el alto número de estrellas dobles conocidas hasta el momento no podía deberse simplemente al azar como se había pensado. Esta teoría fue apoyada en 1781 por Cristian Mayer, quien ya había observado unas noventa estrellas dobles llevado por la hipótesis de que algunas podían ser sistemas físicos reales, es decir, una estrella girando alrededor de su compañera. Por aquellos años, William Herschel, que no creía en las interpretaciones de sus contemporáneos, comenzó a estudiarlas con el fin de determinar las paralajes de algunas de ellas. Después de más de veinte años de

observaciones, Herschel no consiguió llevar a cabo su propio trabajo pero sí pudo constatar que existían estrellas dobles que formaban realmente sistemas binarios cuyas componentes estaban ligadas gravitacionalmente y giraban alrededor de su centro de masas. En 1803 publicó sus resultados sobre la estrella Castor y demostró que la ley de Newton sobre la gravitación universal era válida fuera de nuestro sistema solar.



**Mizar-Alcor.** Campo de 15 minutos de arco donde se representan gráficamente: (1) Mizar A: binaria espectroscópica (2) Mizar B: binaria espectroscópica (3) Alcor (4) Sidus Ludovicia-na. Fuente: Leos Ondra

Después de Herschel, los científicos realizaron numerosos descubrimientos y estudios de "estrellas binarias visuales". Como su nombre indica, estos sistemas se caracterizan por poder resolverse en dos componentes visibles y es precisamente esta propiedad lo que las diferencia de las "estrellas binarias próximas o cerradas". Aunque la existencia de este tipo de estrellas no fue constatada hasta la aparición de nueva instrumentación astronómica, en 1783 John Goodricke propuso la teoría de los eclipses como posible causa de las variaciones de brillo de la estrella Algol. Gracias al progreso experimentado por las técnicas fotográficas

en el siglo XIX se descubrieron las primeras "estrellas binarias eclipsantes o fotométricas". Estas estrellas experimentan una variación periódica del brillo debido a que ambas componentes se eclipsan una a la otra mientras recorren su órbita. Con el desarrollo de los detectores fotoeléctricos para detectar el flujo de luz, primero en forma de tubos fotomultiplicadores y más tarde con cámaras CCD, hemos podido detectar un gran número de binarias eclipsantes. Un gran avance para el análisis de estos sistemas binarios ha sido la aplicación de la espectroscopia en la Astronomía. Con el estudio de las líneas que componen el espectro de una estrella y calculando a qué velocidad se desplazan (Efecto Doppler) es posible medir los movimientos estelares. Con esta técnica podemos determinar cuántas componentes estamos observando y a qué velocidad se mueven respecto al centro de masas del sistema. Las estrellas cuya naturaleza binaria se observa por medios espectroscópicos se conocen como "estrellas binarias espectroscópicas". El primero en detectar estos sistemas fue Edward C. Pickering, quien demostró en 1889 que la componente A de la estrella Mizar era realmente una binaria espectroscópica. La coincidencia más asombrosa vino en 1908 cuando nuevos espectros confirmaron la existencia del sistema binario de la compañera Mizar B. Así que cuando observamos el campo celeste cercano a Mizar-Alcor no hay simplemente dos estrellas, sino cinco en varios sistemas binarios. Otro sistema múltiple similar es el de la estrella Castor de la constelación de Los Gemelos. Esta estrella binaria visual está formada por dos estrellas, Cástor A y Cástor B, que son a su vez dos sistemas espectroscópicos. Pero lo que lo hace más singular es que cerca de Cástor hay una estrella débil – Cástor C-, que es una binaria eclipsante y que está unida gravitacionalmente a ella. Numerosas observaciones posteriores demostraron que Cástor es realmente un sistema de seis estrellas que, además de orbitar unas alrededor de las otras, se mueven en torno a un centro de masas común.

El conocimiento de cada vez más sistemas binarios y, sobre todo, de sistemas cerrados, hizo que en 1955 Zdenek Kopal introdujera una clasificación nueva además de la ya existente (visuales, eclipsantes y espectroscópicas), que solo contemplaba las técnicas de observación utilizadas. Kopal dividió a las estrellas binarias en separadas, semiseparadas y de contacto, en función de su proximidad e interacción de las componentes e implicando importantes consecuencias en la evolución de cada una de las estrellas.

## ¿Porqué observamos sistemas binarios?

Las estrellas nacen, evolucionan y mueren. Y a lo largo de su vida experimentan

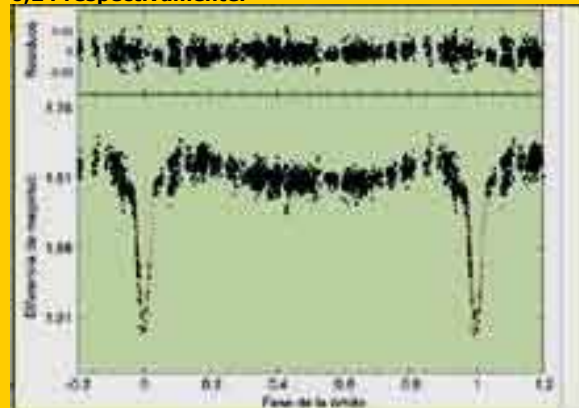
### □ HD172189: UNA BINARIA ECLIPSANTE MUY COMPLETA

Observaciones fotométricas realizadas con el telescopio de 90 cms del Observatorio de Sierra Nevada durante el verano de 1997 mostraron que HD172189 era una estrella binaria eclipsante con la peculiaridad de que pertenecía al cúmulo abierto IC4756. Gracias a nuevas observaciones pudimos detectar que, fuera de los eclipses, la curva de luz mostraba pequeñas oscilaciones que podían deberse a que una de las estrellas era una estrella pulsante. Para poder realizar un buen análisis de la curva de luz necesitábamos medidas lo más continuas posible en el tiempo y, para ello, se realizaron observaciones fotométricas conjuntas con el Observatorio de San Pedro Mártir (Baja California). También se tomaron medidas espectroscópicas de forma puntual en el telescopio de 2,2 metros del Observatorio Europeo Austral de La Silla (Chile). Gracias a las observaciones sabemos que, además de ser un sistema binario eclipsante con un periodo orbital de 5,702 días, se trata también de una binaria espectroscópica. También hemos descubierto que la componente más brillante pulsa, tratándose de una estrella tipo delta Scuti con más de tres modos de pulsación. Se conocen unas 20 estrellas binarias con características similares y solo una, además de HD172189, forma parte de un cúmulo estelar. El hecho de que pertenezca a un cúmulo implica ventajas adicionales: las estrellas de un cúmulo se encuentran unidas gravitacionalmente y, al formarse a la vez, comparten distancia, composición química y edad, parámetros físicos que restringen aún más nuestro problema.

El grupo de Física Estelar del Instituto de Astrofísica de Andalucía está llevando a cabo nuevas observaciones para investigar más detalladamente la componente pulsante aprovechando que se encuentra en un sistema binario. Se sabe que durante un eclipse, la pulsación detectada se ve afectada por el cambio que sufre la geometría de la superficie estelar proporcionándonos una importante ayuda al conocimiento de los modos de pulsación. Otro aspecto que la hace aún más interesante es que HD172189 es una de las estrellas elegidas para ser observada por el satélite espacial CoRoT para su estudio astrosismológico.

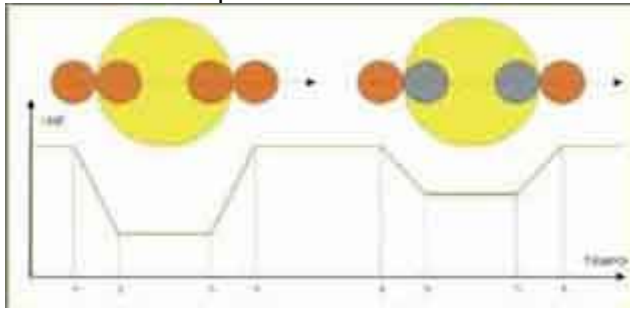


**Curva de luz de la estrella HD172189. Los residuos nos muestran la pequeña variación producida por la componente pulsante cuando se le restan los eclipses. Entre otros resultados obtuvimos una relación de radios entre las componentes de nuestro sistema ( $r_2/r_1=0,6$ ), temperaturas ( $T_2/T_1=1,05$ ), masas ( $M_2/M_1=0,9$ ) y luminosidades ( $L_2/L_1=0,5$ ) así como una inclinación y excentricidad de la órbita de  $73^\circ$  y  $0,24$  respectivamente.**



cambios que, en conjunto, conocemos como evolución estelar. La composición química y la masa son los parámetros que determinarán la trayectoria de la

estrella, que tomará diferentes valores de radio y luminosidad en función de su edad. Como no podemos observar la misma estrella en las diferentes etapas de su



Esquema simplificado de la curva de luz de una estrella binaria eclipsante. En la primera parte de la gráfica se puede ver el eclipse principal, cuando la estrella menos brillante (naranja) eclipsa a la más brillante (amarilla) mientras que en la segunda parte se representa el eclipse secundario, cuando la más brillante eclipsa a la de menos brillo. Entre ambos eclipses se puede observar el brillo total de ambas. Cuando el eclipse es central, es decir, el plano orbital se ve exactamente de canto como en la figura, se puede medir el tiempo que duran los eclipses para obtener el tamaño de ambas componentes.

vida, se realizan modelos teóricos con el fin de simular su evolución. Si conocemos los parámetros fundamentales para diferentes estrellas en distintos estados evolutivos podremos realizar modelos más realistas y, aunque en los últimos años estamos asistiendo a un enorme progreso sobre el conocimiento de los fenómenos que ocurren en el interior estelar, existen algunos que aún no conocemos. Para una estrella aislada, y a excepción del Sol, no es posible medir la masa directamente de las

observaciones; aquí las estrellas binarias juegan un papel fundamental. El movimiento de las dos componentes de

***Las binarias eclipsantes experimentan una variación periódica debido a que las componentes se eclipsan mientras recorren su órbita***

***No es posible medir la masa de una estrella aislada sólo a partir de observaciones y es aquí donde las estrellas binarias juegan un papel fundamental***

un sistema binario cumple la conocida y básica tercera ley de Kepler. Para estrellas binarias visuales podemos determinar ambas masas directamente de las observaciones si conocemos a qué distancia se encuentra el sistema respecto de la Tierra, y este parámetro sólo se conoce con precisión para estrellas relativamente próximas. El cálculo se complica en sistemas binarios eclipsantes y espectroscópicos, ya que la proximidad de sus componentes puede producir otro tipo de interacciones aparte de las gravitatorias. En estos casos, fenómenos conocidos como "efectos de proximidad" pueden manifestarse en distintas formas: desde dejar de ser esféricas y tomar formas elipsoidales a efectos de marea o transferencia de materia de una a otra. Por tanto, hay que derivar las masas a partir de las medidas espectroscópicas que nos proporciona la llamada curva de velocidad radial que muestra cómo varían las velocidades de las componentes dentro de su órbita.

### **Binarias eclipsantes**

La herramienta fundamental para el estudio de los sistemas binarios eclipsantes es la curva de luz donde se representa la variación periódica del brillo en el tiempo causada por los eclipses (al girar alrededor del centro de masas, una estrella se sitúa delante de la otra y se produce una disminución del brillo). Gracias al análisis de estas curvas, los astrónomos pueden determinar, además de los efectos de proximidad, cuales son los efectos superficiales y radios de ambas estrellas, así como la geometría de la órbita. Aunque el estudio de la curva de luz da una idea de las características del sistema, la determinación de los parámetros que la definen resulta complicada. En nuestros días, el avance de los ordenadores ha permitido el diseño de curvas de luz sintéticas a partir de modelos físico matemáticos y una serie de parámetros físicos que caracterizan las binarias eclipsantes. Para conseguir

la solución al sistema, se modifican los valores del parámetro hasta que la curva de luz generada por el modelo se ajuste lo más posible a la observada.

En la actualidad se conocen más de 6.000 estrellas binarias eclipsantes formadas por todo tipo de estrellas, desde las más calientes a las más frías, y ubicadas en órbitas con geometrías diferentes. Pero es posible que sistemas binarios eclipsantes a su vez alberguen estrellas cuyo brillo cambie con el tiempo y su variación sea debida a procesos físicos que ocurren en su interior. Estas estrellas se llaman estrellas variables pulsantes. Aunque en la actualidad son muchos los tipos de pulsantes conocidas con diferentes mecanismos de pulsación, son muy pocas las binarias eclipsantes que alberguen este tipo de estrellas. El análisis de las estrellas pulsantes dentro de un sistema binario nos proporciona información adicional que no podríamos obtener si estuviera aislada. Esta información, en forma de parámetros fundamentales, junto a las frecuencias de oscilación detectadas, nos permitirá conocer el interior estelar.

Este artículo se publica en el número 22, junio de 2007, de la revista *Información y Actualidad Astronómica*, del Instituto de Astrofísica de Andalucía, IAA-CSIC