

## Estrellas emparejadas

### ESTRELLAS BINARIAS (P7/88)

Investigador Principal: C. Lázaro

Investigadores: M.J. Arévalo, P. Rodríguez Gil, I.G. Martínez-Pais, J. Casares, T. Shahbaz

**E**l Sol es una estrella individual. Como es la más cercana y conocida, por extrapolación se suele pensar que las estrellas son objetos solitarios, alejados los unos de los otros. Nada más lejos de la realidad. La mayoría de las estrellas forman parte de sistemas múltiples que se denominan en función del número de componentes. Así, hablamos de sistema binario o estrella binaria cuando el sistema está formado por dos estrellas; de sistema triple o estrella triple cuando son tres, y así sucesivamente.

Independientemente de que formen parte de un sistema, las estrellas evolucionan, y lo hacen mucho más rápidamente cuanto más masa tienen.

Por tanto, una estrella de mayor masa que el Sol, pasará por las diferentes etapas de evolución mucho más rápidamente que nuestra estrella. Podemos encontrar sistemas múltiples de estrellas cuyas componentes se encuentran en distintos estados evolutivos entre sí.

Unos objetos muy interesantes son los que denominamos variables cataclísmicas. Son sistemas binarios formados por una estrella de masa similar o menor a la del Sol (la componente secundaria) y una enana blanca (la componente primaria). Una enana blanca es una estrella en las últimas etapas de su evolución, que ha agotado todo el combustible que es capaz de quemar con relación a su masa. Su densidad es tal que un terrón de azúcar de enana blanca pesaría unas mil toneladas. Es como si metiéramos al Sol en el volumen de La Tierra. En cambio, la componente secundaria es una estrella de poca masa, por lo que no ha evolucionado tan rápidamente como su densa compañera.

El efecto de la gravedad provoca que la enana blanca “robe” gas, principalmente hidrógeno (el elemento químico más abundante), a la secundaria, mientras ambas orbitan rápidamente alrededor de un centro de masas común. Debido al giro, el material de la secundaria no cae directamente en la enana blanca. Es parecido a lo que ocurre cuando se salta de un tiovivo en movimiento: la zona del suelo sobre la que se aterriza está un poco más hacia adelante en el sentido de giro del tiovivo que el lugar escogido antes de saltar. Del mismo modo, el chorro de gas es desviado y se pone en órbita alrededor de la enana blanca. Con el tiempo, se forma un “disco de acrecimiento” (normalmente llamado de acreción por influencia del inglés), en el que el material “robado” a la secundaria cae en espiral hacia la enana blanca. Este disco emite luz en un rango amplio de energía debido principalmente a fuerzas de fricción; de hecho, prácticamente toda la luz que se percibe de una variable cataclísmica es generada en el disco.



*Modelo de una variable cataclísmica. Imagen construida con el programa BINSIM (Dr. Rob Hynes, Universidad de Southampton)"*

Quizás, los ejemplos más conocidos de variables cataclísmicas son las “novas”. Desde la antigüedad se observan estas “estrellas nuevas”, que en realidad no son tales, sino variables cataclísmicas en las que el borde interno del disco choca con la superficie de la enana blanca, lo que produce reacciones termonucleares de fusión de hidrógeno similares a las que ocurren en el interior del Sol y del resto de estrellas, e incluso más energéticas. El brillo del sistema binario aumenta tanto que puede llegar a ser visible con el ojo a simple vista.

Las variables cataclísmicas son laboratorios excelentes para el estudio del acrecimiento de la materia, un fenómeno bastante común en el Universo (por ejemplo, se piensa que en el centro de cada galaxia existe un agujero negro súper-masivo rodeado por un disco de acrecimiento), ya que permiten observar cambios significativos casi “en directo”, extrapolables después a grandes estructuras cuyo tiempo de evolución es excesivo para la escala de vida del ser humano.

El proyecto Estrellas Binarias se dedica al estudio de sistemas binarios. Parte del grupo de investigación se centra en el estudio en particular de las variables cataclísmicas.

Actualmente, se están estudiando unas variables cataclísmicas de comportamiento peculiar llamadas “sistemas SW Sextantis”. Hasta este momento, el logro más significativo ha sido el descubrimiento de campos magnéticos intensos en las enanas blancas de estos sistemas, los cuales juegan un papel muy importante en la geometría del acrecimiento de materia, es decir, en la forma en la que el material llega desde la secundaria hasta la enana blanca.

*Material elaborado por PABLO RODRÍGUEZ, uno de los miembros de este proyecto de investigación, en colaboración con ANNIA DOMÈNECH (IAC).*

## Restaurar una imagen

### DESARROLLO DE SISTEMAS DE IMAGEN DE ALTA RESOLUCIÓN (P35/86)

Investigador Principal: J.J. Fuensalida

Investigadores: C. Hoegemann, S. Chueca, J.M. Rodríguez González, J.M. Rodríguez Ramos, A.M. Varela

Colaboradores del IAC: C. Muñoz Tuñón, M. Reyes, L. Jochum, A. Alonso

No todos los telescopios permiten ver los mismos objetos ni con idéntico detalle. Su capacidad de discriminación, llamada resolución, aumenta con el tamaño y calidad de los espejos. Asimismo, existe un elemento que influye negativamente en el buen funcionamiento del instrumento, se trata de la atmósfera terrestre. La misma atmósfera que protege al hombre de los rayos nocivos del Sol influye en la radiación procedente de objetos lejanos que la atraviesa, de tal modo que las imágenes obtenidas por el telescopio aparecen distorsionadas y emborronadas. El efecto es similar al que se aprecia al mirar justo por encima de una carretera asfaltada en un día caluroso.

Los telescopios espaciales al observar desde fuera de esta capa gaseosa no sufren el problema; la radiación que analizan no ha tenido que atravesar el envoltorio de la Tierra. ¿Por qué entonces no se utilizan habitualmente en detrimento de los terrestres? Por razones económicas: construir y mantener un telescopio espacial es mucho más costoso; y de tiempo, su gestación y puesta en activo es extremadamente larga, lo que comporta que puedan incluso quedar anticuados respecto a sus homólogos en Tierra. Esto último especialmente desde la introducción de la óptica adaptativa o restauración de imágenes distorsionadas: igual que en una pintura antigua se limpian las huellas de los años, en la imagen de un objeto estelar se busca eliminar las distorsiones introducidas bien sea por la atmósfera bien sea por los defectos inherentes al mismo instrumento de observación.

Para poder corregir la distorsión generada por la atmósfera es necesario medir previamente su magnitud. Un dispositivo llamado "sensor de frente de ondas" determina mide constantemente, en intervalos de unos 25 milisegundos, la influencia atmosférica. La elevada frecuencia de registro es necesaria puesto que la acción de la atmósfera es extremadamente variable tanto en posición como en el tiempo. La corrección de imágenes mediante espejos deformables también es continua.

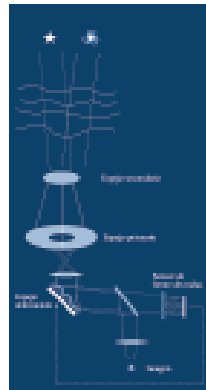
La presencia de una estrella puntual lo bastante brillante y cercana al objeto que se desea estudiar, sobre cuyo haz luminoso se detectan las perturbaciones presentes en la radiación, es imprescindible para aplicar

esta técnica. Como no es frecuente encontrar la estrella requerida en el lugar preciso, se está estudiando la posibilidad de generar artificialmente fuentes de luz mediante la emisión de un láser desde la Tierra con unos sistemas llamados Estrellas Láser de Guiado que se prevé sean incorporados en la mayoría de los futuros grandes telescopios.

En este sentido- aunque también se investiguen otros campos- se trabaja en el proyecto *Desarrollo de sistemas de imagen de alta resolución* del Instituto de Astrofísica de Canarias, que además cuenta con la facilidad de poder experimentar con la Estación Óptica Terrestre (OGS) en el Observatorio del Teide, en Tenerife. Asimismo, se investiga un tipo de sensor llamado "sensor de curvatura", que es uno de los más utilizados hoy en día. Específicamente, se busca determinar cómo influyen en las observaciones los defectos típicos de un telescopio con un gran espejo segmentado, como el Gran Telescopio CANARIAS (GTC), actualmente en fase de construcción en el Observatorio del Roque de los Muchachos, ubicado en la isla de la Palma.

En los grandes telescopios, el uso de espejos formados por segmentos es necesario porque un espejo de gran tamaño de una pieza presenta problemas de construcción –tecnológicamente hablando el máximo se establece en ocho metros- y transporte. Sin embargo, la alineación incorrecta de los segmentos influye negativamente en la precisión de las observaciones.

El objetivo es utilizar el sensor de curvatura para determinar los errores de alineación de los segmentos y cómo estos repercuten en las imágenes con vistas a una corrección posterior.



Esquema simplificado de un sistema de óptica adaptativa. Con el espejo deformable se realiza la corrección de la distorsión introducida por la atmósfera.

Material elaborado por JOSÉ M. RODRÍGUEZ, uno de los miembros de este proyecto de investigación, en colaboración con ANNIA DOMÈNECH (IAC).

## El halo estelar

A. García Gil

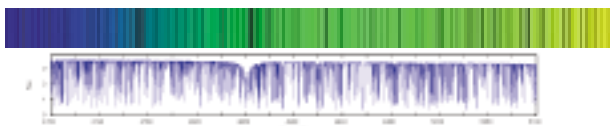
Colaboradores del IAC: G. Israelian

Una estrella es esquemáticamente un núcleo con una atmósfera rodeándolo a través de la cual la energía resultado de la fusión nuclear sale al exterior. Dicha atmósfera no consume ni genera energía, pero sí puede introducir variaciones en su distribución. El espectro estelar, que no es más que la distribución de la radiación, informa a los astrofísicos sobre las características de la estrella. Para ello, los modelos de atmósferas, como los que se desarrollan en el proyecto de *Modelización de Atmósferas Estelares* del Instituto de Astrofísica de Canarias, intentan reproducir el espectro mediante la descripción de los procesos físicos que tienen lugar en su interior.

Durante el trayecto que recorre desde el interior hasta salir de la estrella, la radiación interacciona con la materia que encuentra a su paso y parte de la energía es absorbida por los átomos situados en la atmósfera estelar, cuyos electrones saltan a un nivel energético superior. Esto se refleja en la aparición de líneas de absorción en el espectro, que se muestran como franjas más oscuras y son la huella de los átomos presentes: a partir de ellas se deduce la composición, temperatura y presión del gas de la atmósfera estelar; esto es posible porque la longitud de onda de estas franjas es característica de cada elemento químico. El espectro de la mayoría de las estrellas, exceptuando las más calientes, está lleno de líneas de absorción, lo que dificulta delimitar las líneas espectrales y, por tanto, conocer su composición. En este proyecto se trabaja principalmente con estrellas frías, que son estrellas con temperaturas similares o inferiores a la solar y que, pese a su nombre, emiten radiación. El mismo Sol que hace posible la vida en la Tierra es una estrella fría.

En el conocimiento de las estrellas, su masa, edad y lugar de formación son parámetros muy informativos. Por ejemplo, su origen influye directamente en su grado de metalicidad. Si están situadas en el disco de una galaxia, suelen contener más metales que si se formaron en el halo. Asimismo, sus particularidades determinan la facilidad del estudio: cuantos menos metales contienen, como sus líneas están más separadas, es más fácil determinar cuáles son.

Un modelo teórico para una estrella debe cumplir una serie de condiciones como que, puesto que la estrella no modifica su tamaño continuamente, el peso compense la presión hacia el exterior o que su energía total se mantenga



Ejemplo de un espectro típico de una estrella de tipo solar con líneas de absorción superpuestas sobre un continuo. (Cortesía del Observatorio de Armagh)

estable de tal modo que la generada por la quema de combustible iguale a la utilizada para calentar el astro más la emitida. A partir de esto, se determinan los modelos de atmósferas para distintos tipos de estrellas, haciendo ciertas aproximaciones como en cualquier estudio del cielo, cuya realidad es todavía una gran desconocida.

El análisis de las atmósferas estelares también consta de una parte de observación. Una zona del espectro con gran número de líneas espectrales y, por tanto, que suministra mucha información es la ultravioleta. Hasta hace poco no se podía estudiar con detenimiento. La capa de ozono impide que la radiación ultravioleta llegue a la superficie de la Tierra, por suerte para el ser humano puesto que es muy nociva. Sin embargo, con el lanzamiento de telescopios al espacio como el Hubble, hoy ya se puede intentar discernir cómo son y cómo transportan la energía las atmósferas de las estrellas.

Y es que ajustando el modelo que reproduce el espectro observado de una estrella se determinan en gran detalle las propiedades físicas y composición química de una atmósfera estelar.

Estrellas de diferente edad y espectro presentan diferentes modelos de atmósfera cuyo estudio tiene múltiples aplicaciones, entre otras conocer la estructura y evolución de las estrellas, la evolución química de las galaxias (incluida la nuestra), la química del medio interestelar o las restricciones de los modelos de formación del Universo que pone en evidencia la observación.

Material elaborado por ALEJANDRO GARCÍA, uno de los miembros de este proyecto de investigación, en colaboración con ANNIA DOMÈNECH (IAC).

## Alumbramiento de estrellas

### GRUPO DE ESTUDIOS DE FORMACION ESTELAR "GEFE" (P1/92)

Investigador Principal: C. Muñoz Tuñón

Investigadores: J.C. Vega, M. Prieto, V. Melo Martín, E. Recillas, J.M. Rodríguez Espinosa, A.M. Varela, L.M. Cairós, N. Caon, D.R. Gonçalves, A. Graham, D. Cristobal Hornillos, O. Fuentes, J. Iglesias

Colaboradores del IAC: H. Deeg, A.M. Pérez García, J.A. Acosta Pulido

Una galaxia *starburst* -la traducción literal es estallido de estrellas- es aquella en la que en un período temporal muy breve ocurre una gran formación estelar, como si se tratara de un parto múltiple pero, además, con todos los recién nacidos emergiendo casi simultáneamente.

Qué provoca este violento incremento del número de astros, cómo, dónde, cuándo ocurre... son algunas de las incógnitas a las que intentan responder los astrofísicos que investigan este fenómeno dentro del proyecto *Grupo de Estudios de Formación Estelar "GEFE"*

del Instituto de Astrofísica de Canarias. Para ello, utilizan métodos de observación -toma de imágenes, espectroscopía (análisis de la luz), fotometría (medida de la luminosidad total de una galaxia) e interferometría (utilización de varios instrumentos simultáneamente)- en los Observatorios del Roque de los Muchachos (ORM) y del Teide (OT); y cálculos teóricos -analizando los diferentes tipos de galaxias donde se podría producir con técnicas variadas, principalmente simulaciones sobre sus características, tasa de formación estelar, temperatura, etc.

Para que se desencadene una generación estelar, es imprescindible la presencia de una elevada densidad de gas en la zona, habitualmente el núcleo, aunque puede ser cualquier lugar de una galaxia con las condiciones necesarias. Durante el proceso se consume este gas, que es junto con el polvo interestelar el material que al colapsar da lugar a una estrella. Cuando el gas se agota, el *starburst* cesa, aunque pueda continuar la formación de estrellas a un ritmo inferior.

Para explicar el brote continuo de estrellas de las galaxias *starburst* se piensa que debe existir un suministro constante de gas a esa parte activa de la galaxia. El proceso podría variar según dónde tiene lugar el brote y bajo

qué circunstancias. Las *starbursts* se han observado en núcleos de galaxias, pero también en regiones HII (en las que el hidrógeno está ionizado), en galaxias irregulares y enanas, así como en galaxias gigantes espirales. Por ejemplo, en una galaxia espiral barrada como podría ser nuestra Vía Láctea (aunque todavía no se ha establecido definitivamente la presencia de la barra), la barra intervendría dejando caer material hacia su centro.

Desde la Tierra, estas regiones se perciben como grandes fuentes de luz debido a que en ellas se genera mucha energía, de hecho son una de las fuentes más luminosas del

Universo. Constan de miles de millones de estrellas formándose al mismo tiempo, algunas con una masa ocho veces mayor que la del Sol. Esta formación tan intensa de estrellas puede modificar la forma de la galaxia. Como una estrella vive menos cuanto más masa posee, las estrellas masivas mueren jóvenes tras sufrir una gran explosión que, además de liberar la energía responsable de su luminosidad, también expulsa material de la estrella formándose una burbuja en expansión. Si se une a las burbujas de miles de estrellas situadas cerca, se forma una super-burbuja, que puede romperse liberando material de su interior, un probable punto de partida para la

aparición de nuevas estrellas. Este fenómeno recibe el nombre de super-vientos.

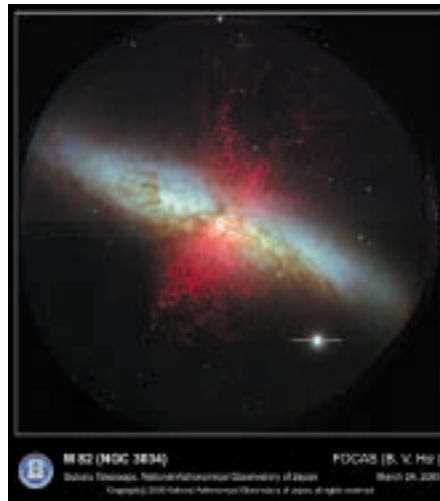


Imagen de M82 tomada con el telescopio Subaru (8m). En la imagen se ha superpuesto la imagen en la banda óptica de la galaxia; se aprecia claramente su forma de cigarro (a esta galaxia se le conoce como "cigar galaxy"). Podemos apreciar los conos de material ionizado perpendicularmente a la galaxia que canalizan el material caliente procedente del *starburst* nuclear.

Material elaborado por VERÓNICA MELO, uno de los miembros de este proyecto de investigación, en colaboración con ANNIA DOMÈNECH (IAC).