

# UN VIAJE AL UNIVERSO III

Esos astros inquietos:  
las estrellas variables de luz

Stella Maris Malaroda



Ilustraciones: LEANDRO GONZÁLEZ



# UN VIAJE al UNIVERSO III

Esos astros inquietos:  
las ESTRELLAS VARIABLES DE LUZ

Stella Maris Malaroda

Ilustraciones: LEANDRO GONZÁLEZ

Malaroda, Stella Maris

Un viaje al universo III : esos astros inquietos: las estrellas variables de luz . - 1a ed. - La Punta : Universidad de la Punta, 2012.

E-Book.

ISBN 978-987-1760-28-2

1. Ciencias para Niños. 2. Astronomía. I. Título  
CDD 520.054

Fecha de catalogación: 17/04/2013

**Autor**

Stella Maris Malaroda

**Ilustraciones**

Leandro González

**Diseño de tapa**

Rocío Juárez

**Edición**

Darío Calderón

1ª edición

ISBN: 978-987-1760-28-2

© **Universidad de La Punta, 2012**

Queda hecho el depósito que establece la Ley 11.723

Libro de edición argentina

No se permite la reproducción parcial o total, el almacenamiento, el alquiler, la transmisión o la transformación de este libro, en cualquier forma o por cualquier medio, sea electrónico o mecánico, mediante fotocopias, digitalización u otros métodos sin el permiso previo y escrito del editor. Su infracción está penada por las leyes 11.723 y 25.446

# a mis padres Por estar siempre a mi lado

13

*Agradezco a las autoridades de la Universidad de La Punta, especialmente a su Rectora, la Dra. Alicia Bañuelos y al Sr. Secretario de Ciencia y Técnica, Ing. Alejandro Munizaga, por posibilitarme continuar con las ediciones de estos "Viajes al Universo". A Natalia Perinetti, Melina Manzur y el equipo de Comunicaciones de la ULP por el excelente trabajo de edición. Mi agradecimiento también para Victoria Alaniz por su ayuda en diferentes temas relacionados con la Universidad de La Punta.*

*A Leandro González por su colaboración y sus acertados dibujos. A Hugo Levato por su constante apoyo en esta nueva y apasionante actividad como es la divulgación astronómica.*



# ÍNDICE

<b>Introducción</b>	9
<b>Capítulo 1</b>	11
<b>Hagamos un poco de historia</b>	
<b>Capítulo 2</b>	15
<b>¿Cómo averiguamos que la estrella es variable?</b>	
2.1.- ¿Qué medimos? Las magnitudes estelares	
2.2.- ¿Cómo se mide la variación de brillo? La curva de luz	
2.3.- ¿Cómo se clasifican?	
2.4.- ¿Cómo se designan?	
<b>Capítulo 3</b>	23
<b>Estrellas variables regulares - Estrellas pulsantes</b>	
3.1.- Estrellas pulsantes	
3.2.- Estrellas Cefeidas	
3.3. - Poblaciones estelares	
<b>Capítulo 4</b>	31
<b>Estrellas variables explosivas</b>	
4a - Novas recurrentes	
4b - Supernovas	
4c - Remanentes de supernovas, estrellas de neutrones y agujeros negros	
4d -Estrellas R Corona Boerealis - Variables distintas	
<b>Capítulo 5</b>	43
<b>El Sol como estrella variable</b>	
5a - Las manchas solares	
5b - Pulsaciones solares	
5c - Evolución del Sol	
<b>Epílogo</b>	49

15



*Vivimos en un Universo extraño y maravilloso. Se necesita una extraordinaria imaginación para apreciar su edad, tamaño, violencia e incluso su belleza. Podría parecer que el lugar que ocupamos los humanos en este vasto cosmos es insignificante; quizá por ello tratamos de encontrarle un sentido y de ver cómo encajamos en él.*

De "Brevisima historia del tiempo"  
Stephen Hawking y Leonard Mlodinow



# INTRODUCCIÓN



Las estrellas, a lo largo de su vida, pasan por varios períodos que se traducen en variaciones de luz, de tamaño, de temperatura, entre otras características físicas. Estas inestabilidades ocurren aún antes de ser consideradas estrellas, o sea, aún antes de convertir el hidrógeno de su núcleo en helio, cuando todavía están inmersas en el gas y el polvo interestelar de los cuales se forman. Pero muchas de estas variaciones ocurren en miles y hasta millones de años y, por lo tanto, el astrónomo no puede seguir el curso de tales cambios en una estrella determinada.

¿Cómo averigua estos cambios? Compara estrellas similares y de diferentes edades y así va comprendiendo el o los mecanismos que producen estas inestabilidades y propone modelos que los explican.

En este libro trataremos a aquellas estrellas que varían su luz en períodos que van desde pocas horas a algunos años. También analizaremos aquellas estrellas que varían su brillo de un modo explosivo y, en algunos casos, destructor como en el de las estrellas supernovas. Todos estos cambios son de importancia y alteran de algún modo a la estrella.

En un principio sólo se observaron las estrellas variables de luz, pero, hoy en día, con las mejoras instrumentales, son muchas las variaciones que se observan y miden en las estrellas, como su velocidad y su campo magnético, entre otros parámetros.

Dejaremos para otra ocasión aquellas estrellas que varían su luz por la presencia de otra estrella y/o planeta que produce eclipses: estrellas que se denominan binarias eclipsantes o constituyen sistemas extrasolares.

En nuestro caso, y siguiendo con la nomenclatura clásica, en este libro hablaremos de "estrellas variables" considerando sólo aquellas que varían su luz intrínsecamente.

Los invito a averiguar qué son y por qué varían.





# Capítulo I

## Hagamos un poco de historia

Desde la prehistoria el hombre ha observado el cielo, en principio con un interés casi místico. Pero, además, ha observado distintos fenómenos como el cambio del día a la noche, los movimientos del Sol y de la Luna, como así también sus cambios (fases) a lo largo de un cierto período “que luego se determinó que eran algo más de 27 días”. Esas antiguas generaciones deben haber notado que algunos astros vagaban entre otros fijos, los planetas entre las estrellas. Es posible que también hayan notado alguna estrella que brilló intensamente en alguna oportunidad y luego se debilitó.

Los hombres de la prehistoria hacían uso de los cambios “regulares” o periódicos, como el ciclo lunar o las distintas alturas del Sol, fijando los tiempos de, por ejemplo, siembra y cosecha para el desarrollo de sus vidas y la obtención de sus alimentos. En principio, deben haberle temido a esos cambios y, probablemente, se los deben haber atribuido a un castigo celestial. Luego, al comprobar que se repetían con cierta regularidad, comenzaron a utilizarlo en su favor.

Sin embargo, deben haber notado también cambios en algunas estrellas, no

en su posición en el cielo, sino en sus brillos.

Los observadores del cielo de la antigüedad consideraban a las estrellas como “astros fijos”, o sea que no variaban nunca. Pero hay muchas estrellas que varían sus brillos entre las visibles a simple vista y, en algunos casos, ese cambio debe haber sido tan notable que no podían haberlo ignorado.

La arqueoastronomía es la rama de la astronomía que se encarga de revelar los misterios de esta ciencia en la antigüedad.

¿Qué sabemos hoy en día de esos momentos? ¿Hay datos escritos y/o dibujados de eventos espectaculares en el cielo? ¿Podremos, en definitiva, averiguar algo de estos primeros astrónomos observadores?

Datos escritos de observaciones astronómicas se encuentran en Asia occidental: datan de alrededor del año 2000 antes de Cristo (a.C.). Y en Asia oriental hay datos de alrededor del año 1000 a.C. Se observan también pinturas en rocas y alineación de grandes piedras que dan información a los astrónomos de antiguas observaciones astronómicas.





Fig. 1 - ~~STONEHENGE~~ Crédito: Clive Ruggles

12 |

En la figura 1 se muestra la formación de rocas Stonehenge que se encuentra ubicada en el condado de Wiltshire, Inglaterra. No se sabe muy bien en qué época se construyó, pero se piensa que fue entre los años 3000 y 2500 a.C. por los antiguos Druidas. Se cree que era una especie de templo. En el momento del solsticio de verano en el hemisferio norte, alrededor del 21 de junio, el Sol aparece detrás de una de las piedras principales dando la impresión de que se balancea sobre ella. Su interpretación actualmente es muy discutida y la alineación de las piedras no se sabe si fue calculada o accidental.

La astronomía en Occidente fue introducida por los babilonios con su matemática y la observación del Sol, la Luna, los planetas y las estrellas. Quizás todas estas observaciones tenían un sentido

astrológico. Más adelante, los griegos tomaron estos estudios y formularon un modelo de universo.

Aristóteles, filósofo griego que vivió entre los años 384 y 322 a.C., formuló un modelo de "mundo" (=universo) compuesto por tierra, aire, agua y fuego, y más allá y alejado de estos cuatro elementos, un quinto que no cambiaba y que se movía de modo uniforme y en círculos. Este quinto elemento estaba ocupado por las estrellas y de allí el nombre de Esfera Celeste donde ellas se ubicaban.

En este modelo aristotélico no podían existir estrellas que variaban de brillo. Este pensamiento predominó en Occidente por muchos siglos y es por ello que no tienen datos de eventos espectaculares.

Sólo se tienen datos astronómicos y meteorológicos, pero no de estrellas variables.

Por otro lado, en Oriente, que no fue influenciado por las ideas de Aristóteles, sí informaron de eventos inesperados en el cielo. Hay datos de observadores chinos que dan información de supernovas, novavas, cometas y eclipses, entre otros. Estas observaciones fueron bastante precisas y metódicas y dan una muy buena información para el astrónomo actual.

Hay algo que es cierto, las estrellas variables siempre existieron y, en un principio, la información astronómica fue sólo descriptiva. En Occidente, con el Renacimiento, en el siglo XV, se produce la gran revolución científica. Ya no se considera más que los astros son invariables y, con el invento del telescopio en el año 1609 fue posible ver estrellas cada vez más débiles y la idea de la invariabilidad de los cielos fue dejada completamente de lado.

El cambio más espectacular que se conoce en el brillo de una estrella es, pro-

bablemente, la tremenda explosión que ocurrió en el año 1572.

En ese año de nuestra era, el astrónomo Tycho Brahe, que vivió entre los años 1546 y 1601, observó una "nueva" estrella en la constelación de Cassiopea. Midiendo las variaciones de brillo y comparando con los brillos de otros astros y planetas, encontró que en su máximo, ¡era tan brillante como Venus! Se estima que aumentó su brillo en unos 100 millones de veces. Esta estrella, que es una supernova, se identifica actualmente como la estrella de Tycho.

En el año 1604, Johannes Kepler, que vivió entre los años 1571 y 1630, observó otra "nueva" estrella, denominada la estrella de Kepler. No fue tan brillante como la de Tycho, pero alcanzó el brillo de Júpiter.

El primer caso auténtico por el cual se comprobó que una estrella variaba periódicamente su brillo fue la estrella Omicrón Ceti. En el año 1596, David Fabricius observó una estrella que no aparecía en ningún catálogo de la época y poco tiempo después dejó de verse.

113



Fig. 2.- Esquema de variación de brillo de la estrella Mira. Se observa que la estrella se va debilitando, o sea, haciéndose cada vez menos brillante, en un período de 11 meses.

En el año 1603, Bayer la observó y la llamó Omicrón Ceti, sin saber que había sido ya observada. Recién en 1638, el astrónomo Holwarda notó que la estrella se hacía visible a simple vista de tiempo en tiempo. En el año 1660 se determinó que la estrella tenía una variación con un período de unos 11 meses. La denominó Mira, la Maravillosa. Lo que ocurre es que Mira se agranda y se achica periódicamente, es decir, que lo que varía es su radio. Al agrandarse se hace más brillante y cuando se achica se hace más débil. Cuando ocurre esto último, es tan débil que no se la puede ver más a simple vista y se requiere un telescopio o binoculares para observarla. La estrella Mira fue la primera variable periódica descubierta.

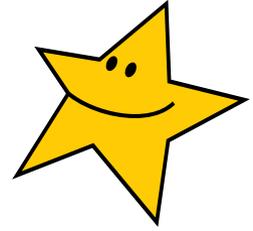
Y así comenzó todo



# Capítulo 2

¿CÓMO AVERIGUAMOS QUE

LA ESTRELLA ES VARIABLE Y QUÉ MEDIMOS?



A menos que la estrella tenga un cambio repentino de brillo, no sabemos si una estrella es variable. Para averiguarlo debemos observarla durante un período de tiempo e ir midiendo durante ese tiempo su brillo. Para medir el brillo utilizamos un instrumento que se denomina fotómetro.

Otro método es, por ejemplo, tomar imágenes de una misma zona del cielo durante varios días y luego superponerlas. Si alguna estrella varía cambiando su brillo, eso se detecta rápidamente ya que se observa una estrella más brillante o más débil que el resto de las estrellas que no varían. Este método ha sido muy usado por la rapidez en la detección, y el instrumento que se utiliza se denomina “blink”, que significa “parpadear”, ya que ese es el efecto que produce el análisis de las imágenes.

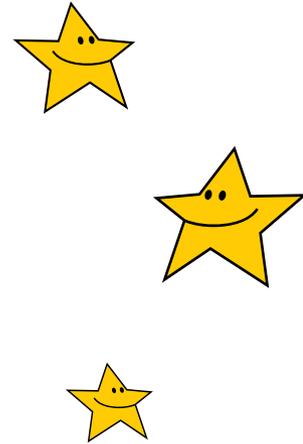
En términos generales podemos decir que una estrella se designa como variable cuando exhibe una variación medible de su brillo o luminosidad no causada por la fluctuación de nuestra atmósfera.

| 15

## 2.1.- ¿Qué medimos? Las magnitudes estelares

La medida del brillo de las estrellas se denomina “magnitud estelar”. Los primeros datos de una información cuantitativa del brillo de las estrellas, o sea una medición registrada, se encuentra en los libros VII y VIII del Almagesto, realizadas alrededor del año 137 por Claudius Ptolomeo, que vivió entre los años 100 y 170 de nuestra era.

Este catálogo lista 1.028 estrellas pertenecientes a 48 constelaciones del Norte que ya se conocían desde la antigüedad. En él se da una descripción de su ubicación en la constelación correspondiente y una “magnitud” que indica su brillo en una escala entre 1 y 6. El número 1 correspondía a las estrellas más brillantes, o sea, “de



primera magnitud" y el número 6 correspondía a las estrellas más débiles visibles a simple vista.

Ptolomeo no explica cómo las define a estas magnitudes, algo sorprendente considerando la detallada descripción que da de las posiciones en las diferentes constelaciones. Ya no se tiene posibilidad de consultar el Almagesto original pues desapareció. Se conservan actualmente varias copias realizadas entre los siglos IX y XVI.

Se cree que para armar el Almagesto, Ptolomeo se basó en las observaciones realizadas por Hipparco, el gran astrónomo observador que vivió entre los años 190 a 120 a.C. Esto está aún en duda entre los historiadores de la ciencia astronómica. No es posible determinar fehacientemente si fue Hipparco el primero que estableció el sistema de magnitudes o Ptolomeo. No fue posible encontrar el catálogo de Hipparco y sólo hay referencias a él en el Almagesto. Sin embargo, hay un poema del siglo 3 a.C. llamado "Phaenomena" donde se mencionan estrellas brillantes, otras de "segundo grado" y otras débiles, que se corresponderían con las estrellas de brillos o magnitudes 1 a 3, 4 a 5 y 6, respectivamente, descritas en el Almagesto.

16 |

De todos modos, lo más importante de esta discusión es que este sistema de medición de brillos o magnitudes, se ha mantenido hasta nuestros días con los cambios propios debido a la mejora de los instrumentos de medición. La escala es "invertida", en el sentido que una estrella de magnitud 1 o primera magnitud, es más brillante que una estrella de magnitud 6 o sexta magnitud.

A pesar de haberse determinado esta escala "a ojo", sorprendentemente, los astrónomos encontraron que esta diferencia de brillos es posible transformarla en numérica. Se encontró que una estrella de magnitud 1 es 100 veces más brillante que una estrella de magnitud 6. Si seguimos con los cálculos, se encuentra que una estrella de magnitud 1 es 2,512 veces más brillante que una de magnitud 2, y es  $2,512 \times 2,512$  veces más brillante que una estrella de magnitud 3, y así sucesivamente.

Una estrella de magnitud 1 es  $2,512 \times 2,512 \times 2,512 \times 2,512 \times 2,512$  veces más brillante que una estrella de magnitud 6, o sea, 100 veces más brillante.

En general para hallar la diferencia de brillo entre una estrella de magnitud o brillo  $m$  y otra de magnitud  $n$ , hay que multiplicar 2,512 por sí mismo  $(n-m)$  veces.

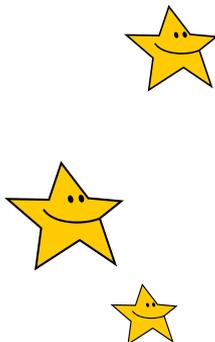
Si consideramos los métodos utilizados en la antigüedad, a simple vista, o sea sin la ayuda de telescopios, y las modernas observaciones, es evidente que el trabajo de Hiparco y Ptolomeo es muy importante y fueron los primeros en establecer una escala en la historia de la ciencia.

En la actualidad la observación y medición de los brillos o magnitudes estelares se realiza utilizando detectores electrónicos muy especiales y capaces de medir brillos de estrellas muy débiles, imposibles de detectar a simple vista.

Hay estrellas que son mucho más brillantes que las que tienen magnitud 1 y por ello se debió incluir la magnitud 0 y hasta los números negativos. Por ejemplo, la estrella más brillante del cielo, sin considerar el Sol, es Sirio que tiene una magnitud de  $-1,5$ . El Sol tiene una magnitud de  $-26,75$  y la de la Luna llena es  $-12,7$ . Estas magnitudes son visuales, o sea que el instrumento con el cual se realizan las mediciones actúa como el ojo humano.

Algo que es importante destacar es que estas magnitudes o brillos que se observan y miden se denominan magnitudes aparentes, ya que las mismas se determinan desde la Tierra: algunas estrellas pueden parecer débiles por estar muy alejadas y otras, como en el caso del Sol, muy brillantes por estar muy cerca nuestro. Es el mismo efecto que nos produciría una lamparita ubicada cerca nuestro y otra igual alejada varios metros. Siempre nos parecerá la más cercana como la más brillante a pesar de ser iguales.

| 17



## 2.2.- ¿Cómo se mide la variación de brillo? La curva de luz

Vimos que para determinar si una estrella es variable, a menos que “explota”, es necesario medir durante un período de tiempo la magnitud o brillo de la misma con un fotómetro, y se observa entonces la variación del brillo contra el tiempo que, según el tipo de variable, puede ser de horas hasta años. También se determina una curva que se denomina

“curva de luz de la estrella”. La curva se obtiene uniendo los diferentes puntos que representan el brillo de la estrella en cada momento. En la figura 3 se representa la curva de luz de la estrella Mira.

En base a la curva de luz es posible determinar el período de la variación de brillo, o sea, cuando vuelve a repetirse la misma forma de la curva. Una vez determinada la variación y el período es posible clasificarla en algún grupo de estrellas variables similar a la que acabamos de observar.

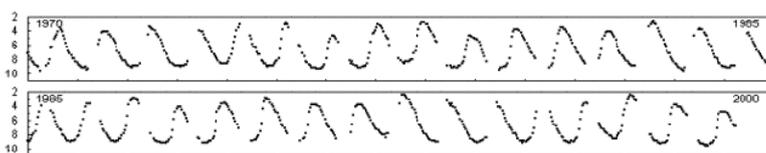


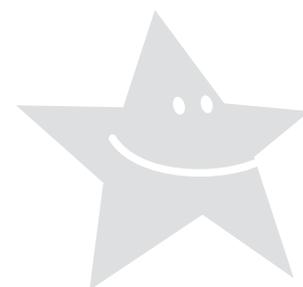
Fig. 3.- Curva de brillo de Mira

En la figura 3 se muestra una curva de luz de la estrella Mira que, como ya vimos, cambia de brillo en un período de 11 meses. En este caso, las observaciones de esos cambios van entre los años 1970 y 2000. Si analizamos la curva, veremos que la estrella pasa de tener un brillo de unas 2 a 3 magnitudes hasta casi 10 magnitudes. Recordemos que los números más chicos representan brillos mayores. O sea que pasa de ser muy brillante, entre 2 y 3 magnitudes, a bastante débil, casi 10 magnitudes. Como nosotros podemos detectar a ojo desnudo estrellas hasta magnitud 6, aproximadamente, cuando la estrella Mira tiene magnitudes menos brillantes que ese valor, dejamos de observarla a simple vista y necesitaremos contar con telescopios para poder verla. La estrella no desaparece, solo se vuelve menos brillante.

### 2.3.- ¿Cómo se clasifican?

Las estrellas variables, debido a las mejoras instrumentales que permiten medir variaciones de brillo muy pequeñas, se dividen en la actualidad en muchos grupos, dependiendo de la característica de su variación y/o de su detección.

En este libro no nos detendremos a analizar cada una de estas clases y subclases. Una muy buena descripción de las estrellas variables es





posible encontrar en la página: “El aficionado y las estrellas variables”  
<http://webs.satlink.com/usuarios/i/icoper/observar.htm>

En general, podemos considerar dos grandes grupos:

### 1.- Estrellas variables regulares o periódicas

Estas estrellas, como su nombre lo indica, varían con cierto período, o sea, su variación se repite cada cierto tiempo.

A su vez, se dividen en dos grandes grupos:

**1.1.- Variables de corto período:** en estos casos, la repetición de la variabilidad ocurre en términos de horas y hasta 100 días.

**1.1.- Variables de largo período:** la repetición ocurre con tiempos mayores a 100 días.

### 2.- Estrellas variables irregulares.

A este grupo pertenecen las estrellas variables en las cuales no es posible detectar un período específico.

También entre estas estrellas es posible detectar subgrupos:

**2.1.- Variables irregulares propiamente dichas:** son estrellas que pasan por variaciones lentas, inesperadas y completamente impredecibles.

**2.2.- Variables semiregulares:** son estrellas que tienen un período promedio, pero cada uno de ellos cambia considerablemente.

**2.3.- Variables explosivas:** en este caso, las variaciones de luz se deben a explosiones que pueden ser repetitivas como, por ejemplo, en el caso de las novas, o únicas y destructivas, como en el caso de las supernovas. Evidentemente por su característica, este grupo es el grupo impactante de las variables y el que llama más la atención por su espectacularidad.

Más adelante analizaremos con más detalle a las variables explosivas.



## 2d.- ¿Cómo se designan?

Todas las estrellas que observan los astrónomos tienen nombre. Se las designa, por ejemplo, con letras y/o números, con letras griegas seguidas del nombre de la constelación en aquellos casos en que son estrellas brillantes, con la designación del instrumento con el cual se observó o con letras y/o números según el catálogo donde se indican características y datos observacionales de la estrella.

Por ejemplo, en la tabla siguiente se indican algunos de los diferentes nombres de dos estrellas muy conocidas para los observadores del hemisferio sur, la estrella  $\alpha$  Crucis de la Cruz del Sur y  $\alpha$  Centauro.

a)  $\alpha$  Crucis (alfa Crucis):

CPD-62 2745  
HIC 60718  
HD 108248  
WDS J12266-6306AB

b)  $\alpha$  Centauro (alfa Centauro)

CPD-60 5483  
HD 128620  
WDS J14396-6050AB

### En el caso de las estrellas variables, ¿cómo se las designa?

En este caso, uno de los nombres está directamente relacionado con la variabilidad de su brillo, de tal modo que, por ejemplo, si nos dicen que una estrella se denomina RX Scorpii, sabemos que es una variable de luz, luego determinaremos a qué grupo pertenece, pero ya sabemos que lo es.

### ¿Cuál es la regla para darles nombres a las estrellas variables de brillo?

La primera estrella variable descubierta en una constelación determinada se designa con la letra R y el nombre de la constelación. Por ejemplo, R Scorpii. Las siguientes estrellas variables





que se encuentren en esa constelación se van designando con las letras S, T, U, , Z. La siguiente estrella variable luego de la que lleva la letra Z se designa con RR, RS, , RZ, SS, ST, , SZ y así se continúa hasta ZZ.

Cuando se acaban estas 54 combinaciones de letras en una constelación dada, se continúa con AA, AB, , AZ, BB, BC, , BZ, y así se sigue hasta QZ. En total, se llega a 334 designaciones en una constelación dada.

Hay constelaciones en donde se han encontrado más de 334 estrellas variables, por lo tanto, la siguiente variable encontrada se designa como V335 y el nombre de la constelación, y así se continúa. Por ejemplo, V335 Cygni, que es la que sigue a QZ Cygni.

Al ir aumentando el número de variables y comprobar los diferentes períodos y variaciones, se halló que la enorme mayoría de las nuevas estrellas variables observadas tenían mucha semejanza con una u otra de las conocidas. Por ello es que se clasificaron asignándolas a grupos determinados. Con respecto a las diferentes clases o grupos de variables, la primera estrella descubierta de cada grupo es la que da el nombre al mismo. Se dice, por ejemplo, que la estrella descubierta es una variable “tipo Mira” si su variación es similar a la estrella Mira, la Maravillosa.

Si se observa una estrella variable de luz, primero hay que averiguar si ya se conocía su variación. Para ello, se determina la posición, o sea, las coordenadas de la estrella en el cielo, y luego, se revisan los catálogos de estrellas variables que existen. En caso de que no haya sido observada con anterioridad, se comunica a la comunidad internacional, tanto de profesionales como de aficionados, de este descubrimiento. De este modo, comenzarán a observarla y así será posible catalogarla perfectamente y asignarla al grupo que le corresponde. Por supuesto, el nombre será el que le sigue en la constelación en la cual se encuentra.



# Capítulo 3

## Estrellas variables regulares - Estrellas pulsantes

Este grupo de estrellas variables regulares, o sea que se le puede determinar muy bien un período de variación, está compuesto por una variedad de estrellas que, a su vez, forman diferentes subgrupos o subclases según los períodos o edades.

No veremos cada una de estas subclases, sólo la más importante desde el punto de vista astrofísico, que es el de las variables pulsantes. Pulsante significa que la estrella se agranda y se achica periódicamente. En este grupo, las Cefeidas son muy características y deben su nombre a la primera estrella de este tipo descubierta, que fue Delta Cefei. Otros dos grupos de estrellas pulsantes muy importantes son las denominadas W Virginis y RR Lyrae. Más adelante veremos las diferencias.

| 23

### 3.1.- Estrellas pulsantes

Debemos hacer una pregunta importante. ¿Es posible que una estrella pulse en cortos períodos de tiempo? La respuesta a este interrogante es, sin lugar a dudas, ¡sí!

Si hacemos un poco de historia, nos deberemos remontar al año 1879, cuando el astrónomo August Ritter propuso que era posible que una estrella pulse en un corto período de tiempo. Por supuesto, su teoría no podía ser corroborada observacionalmente en ese entonces y su idea quedó allí.

Años más tarde, en 1914, Harlow Shapley demostró que la hipótesis de la pulsación era la más acertada para un grupo de estrellas variables, las Cefeidas, cuyo número iba aumentando constantemente. Finalmente, Sir Arthur Eddington, en 1918, obtuvo una fórmula matemática para explicar la pulsación en estas estrellas. Comprobó que las Cefeidas con radios más grandes deberían pulsar más lentamente que las más pequeñas.



Principal causa:

Pequeña variación en T superficial → grandes variaciones  $\epsilon \rightarrow$  luminosidad L pues

$L \propto T^4$  (o sea que la Luminosidad L es proporcional a  $T \times T \times T \times T = T^4$ )

La estrella cambia su radio cuando se encuentra en una zona de inestabilidad que ocurre cuando la temperatura de su atmósfera es de 6.000° a 9.000°.

En 1920, Sir Eddington demostró teóricamente que si la estrella en algún momento pulsa, el período de pulsación está relacionado con la densidad de la estrella.

Las Cefeidas lo demostraron

24 |

### 3.2.- Estrellas Cefeidas

En el año 1784, el astrónomo John Goodricke descubrió que la estrella Delta Cefei mostraba variaciones de brillo. Sin embargo, en ese momento no se sospechaba lo importante que este tipo de variables resultaría ser para la astronomía, como veremos más adelante.

A partir de ese año fueron encontradas muchas estrellas similares a  $\delta$  (delta) Cefei, cuya curva de luz se muestra en la figura 4. En esta curva se observa que esta estrella varía en el término de unos 5 días casi 0,5 magnitudes, o sea, cambia de magnitud 3.7, aproximadamente, a 4.3 aproximadamente. De todos modos, siempre es observable a simple vista pues, como vimos, nuestro límite visual es de magnitud 6.

En el año 1912, la astrónoma Miss Henrietta Leavitt analizando estrellas Cefeidas en la Nube Menor de Magallanes, descubrió que éstas tenían un período que estaba directa-

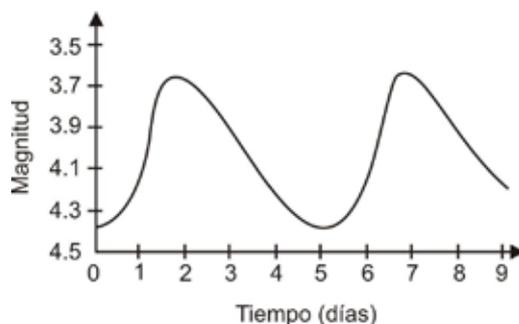
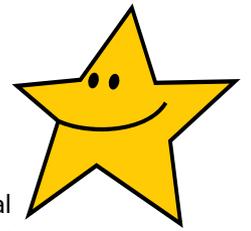


Fig. 4.- Curva de luz de  $\delta$  CEPHEI





mente relacionado con el brillo de las mismas. Esto lo encontró al ordenarlas de acuerdo con su período creciente y se sorprendió al ver que las había ordenado, sin pensarlo, en orden de brillo creciente.

Como la Nube Menor de Magallanes se extiende en una pequeña zona del cielo, para fines prácticos, se puede considerar a todas sus estrellas a la misma distancia de la Tierra. Por ello, se puede concluir que la diferencia de brillo que observó se debía a diferencias ciertas y no a distintas distancias a nosotros, o sea que el brillo de las Cefeidas en la Nube Menor de Magallanes dependía directamente de su período. Esta relación se conoce con el nombre de “Relación Período - Luminosidad”.

Pero, si esto es válido para las estrellas Cefeidas de la Nube Menor de Magallanes, debiera ser cierto para todas las demás variables de este tipo encontradas en diferentes zonas del cielo.

Este descubrimiento fue trascendental para la astronomía, pues, si observamos una estrella Cefeida y determinamos su período y medimos su brillo aparente desde la Tierra, podríamos determinar la distancia a la cual se encuentra por la relación Período-Luminosidad. Además, como estas estrellas son muy brillantes, pueden ser observadas en galaxias alejadas. O sea que las estrellas Cefeidas son indicadores de distancia.

| 25

Este ha sido uno de los descubrimientos más importantes en la historia de la astronomía, ya que permitió establecer también las distancias a objetos muy alejados de la Tierra y de ese modo ir delineando las dimensiones de nuestra Galaxia. Del mismo modo, si esa estrella Cefeida se encuentra en una galaxia distinta a la nuestra, y considerando que su distancia a la Tierra es la misma para todas las estrellas de esa galaxia, es posible, entonces, determinar la distancia a la cual se encuentra la misma.

Los astrónomos siempre han buscado el modo de determinar distancias de astros muy alejados, y es por ello que estas estrellas se consideran como “candelas” en el espacio.

Pero, ¿todas las estrellas pulsantes que se observan, son similares o existen diferencias?



Esto fue encontrado luego de analizar las observaciones de otros grupos de estrellas pulsantes, como las W Virginis, y fue así que las estrellas se dividieron en “poblaciones” según la edad, o sea, el momento de su formación.

### 3.3.- Poblaciones estelares

En 1944 el astrónomo Walter Baade observó estrellas Cefeidas en la galaxia cercana Andrómeda y vio que éstas eran más parecidas a las que se encontraban en los cúmulos globulares que las Cefeidas galácticas. Llegó a la conclusión que se estaban considerando estrellas que pertenecían a diferentes poblaciones y así se comenzó a hablar de estrellas de Población I y de Población II. Actualmente se considera también estrellas de Población III.

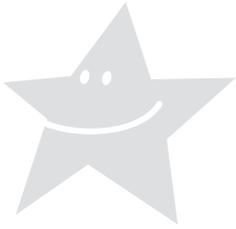
¿Cuál es la diferencia entre ellas? No vamos a considerar en este libro las subdivisiones que se establecieron a lo largo de los años entre las diferentes poblaciones. Trataremos las características de las estrellas que pertenecen a la Población I, a la Población II y a la Población III.

Las estrellas más viejas, las que se formaron con el material interestelar inicial de la formación del Universo, o sea hidrógeno y helio, son las estrellas de Población III. Estas estrellas, por lo tanto, no contenían ningún otro elemento químico, simplemente porque en las etapas iniciales del Universo los únicos elementos químicos presentes eran el hidrógeno y el helio.

A medida que las estrellas evolucionaban, o sea, iban envejeciendo, las de mayor masa explotaban y enviaban material procesado y enriquecido con metales más pesados que hidrógeno y helio al espacio interestelar, y se formaban nuevas estrellas: las estrellas de Población II. Nuevamente, algunas estrellas explotaron y mandaron material al espacio interestelar con más material procesado y son, por lo tanto, las estrellas más jóvenes. Nuestro Sol pertenece a esta última población estelar.

¿Qué ocurre con las estrellas pulsantes? ¿Tienen distintas edades? ¡Sí! Si representamos en un gráfico la temperatura de la atmósfera de la





estrella contra la luminosidad o brillo, se obtiene un diagrama que se conoce como Diagrama HR, en honor a dos astrónomos, Hertzsprung y Russell, quienes encontraron esta relación a principios del siglo XX.

En este diagrama se muestra la evolución de una estrella, o sea, el “camino” que sigue durante “su vida” variando su temperatura y su temperatura atmosférica. Pero hay una zona de inestabilidad o “pulsacional” donde las estrellas al pasar comienzan a pulsar.

En la figura 5 se observa el diagrama HR para estrellas de diferentes masas y temperaturas y se indican los diferentes caminos según estos valores. Como vemos, se representan estrellas con diferentes luminosidades, en este caso, entre  $0,1 L_{\odot}$  y  $100.000 L_{\odot}$ . Donde  $L_{\odot}$  es la luminosidad del Sol que se toma igual a 1. También se observan los diferentes caminos evolutivos (vida) de las estrellas según las diferentes masas. En el diagrama de la figura 5 se muestran los caminos seguidos por estrellas con masas que van desde  $0,5 M_{\odot}$  hasta  $15 M_{\odot}$ , donde  $M_{\odot}$  es la masa de Sol y se toma igual a 1. O sea que en ese diagrama podemos observar el camino evolutivo de nuestro Sol, que se encuentra marcado con amarillo.

| 27

Podemos ver también las diferentes temperaturas de la atmósfera de las estrellas. Recordemos que la temperatura de la atmósfera del Sol es de unos  $6.000^{\circ}\text{C}$ .

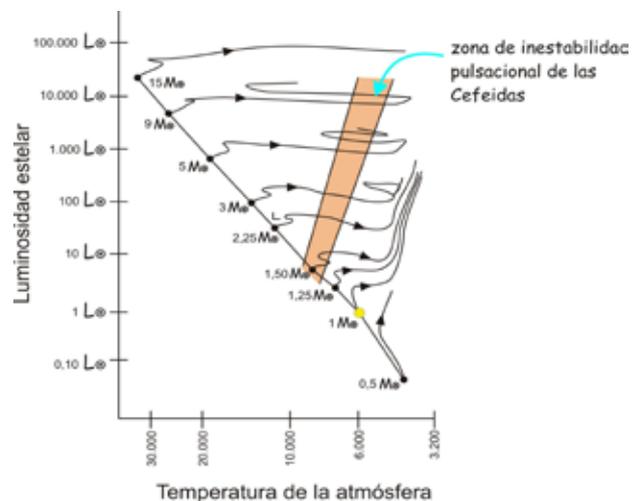


Fig. 5. Diagrama HR para diferentes masas estelares.

$L_{\odot}$  significa Luminosidad Solar y es igual a 1;

$M_{\odot}$  es La masa del Sol y es igual a 1.

En la figura 5 se representa la zona de pulsación o inestabilidad de las Cefeidas. Se observa que esa zona se extiende desde la parte superior hasta la inferior en el diagrama HR a una temperatura prácticamente constante. Pero vemos que no todas las estrellas, si en su camino evolutivo pasan por allí, comenzarán a pulsar. Vemos que para una estrella como el Sol, donde masa es igual a 1, la estrella no pasa por la zona de inestabilidad pulsacional.

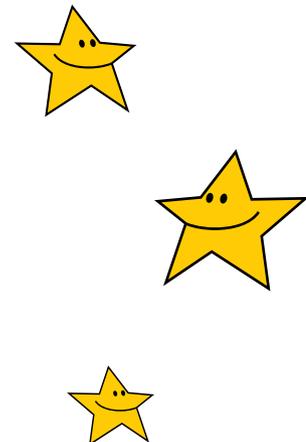
Se conocen otras estrellas pulsantes, como las de tipo Mira, que se ubican en otras zonas del diagrama, pero, en la figura 5 sólo se muestran las Cefeidas.

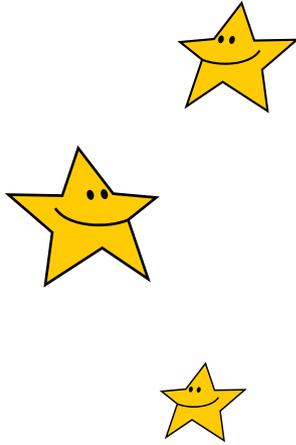
Las estrellas evolucionan, o sea, llegan a esta zona de inestabilidad por diferentes caminos como lo vemos en el diagrama. Hay estrellas con mayor masa y jóvenes que llegan más rápido a esta zona porque consumen su combustible más rápidamente que las de menor masa y viejas. Por lo tanto, habrá estrellas de Población I y Población II en la misma zona de inestabilidad. En conclusión, podemos decir que las estrellas pulsantes pertenecen a distintas "Poblaciones estelares".

Las estrellas Cefeidas o Cefeidas clásicas son estrellas de Población I, o sea jóvenes. Las estrellas W Virginis y las RR Lyrae, que se encuentran en los cúmulos globulares, son de Población II y, por lo tanto, más viejas que las denominadas Cefeidas Clásicas. En nuestra Galaxia, las estrellas de los brazos espirales son jóvenes de Población I con un porcentaje más elevado de elementos químicos más pesados, y las del centro y halo de la Galaxia son estrellas de Población II con un porcentaje menor de elementos químicos en su composición.

Esta diferencia llevó a un error en la determinación de las dimensiones del Universo en los primeros años del siglo XX. En la segunda mitad de ese siglo, se redeterminaron las dimensiones y las distancias aumentaron casi 2 veces más.

Como conclusión, las estrellas pulsantes de Población I y Población II, o sea, las Cefeidas Clásicas y las W Virginis y las RR Lyrae son importantes, pues son indicadores de distancia con diferentes relaciones Período - Brillo. Y al observar una de ellas en alguna galaxia y/o cúmulo alejado, es posible hallar la distancia al mismo.





Uno de los más importantes descubrimientos del siglo XX fue realizado por el astrónomo Harlow Shapley en 1917. Shapley observó las estrellas variables pulsantes de los cúmulos globulares para determinar sus distancias. Encontró que la distribución de estos objetos era esférica y centrada en un punto ubicado en la Vía Láctea, cerca de Sagitario. Le dio "forma" a la Galaxia y determinó que las dimensiones de la misma era del orden de 300.000 años luz de largo y unos 1.000 años luz de "ancho", o sea unas 10 veces más grande de lo que se pensaba en esos momentos, y la forma era la de un espiral. De este modo, se cambiaba la ubicación del Sol en la Galaxia ya que lo "sacó" del centro galáctico. Este "descubrimiento" fue el más importante desde que Copérnico determinó que la Tierra no era el centro del Universo en el siglo XVI. Estas observaciones se contraponían a lo encontrado por Kaptein contando estrellas.

Todos estos estudios fueron muy importantes en el primer lustro del siglo XX por los grandes cambios en las ideas que los astrónomos tenían del Universo y la ubicación del Sol en él.

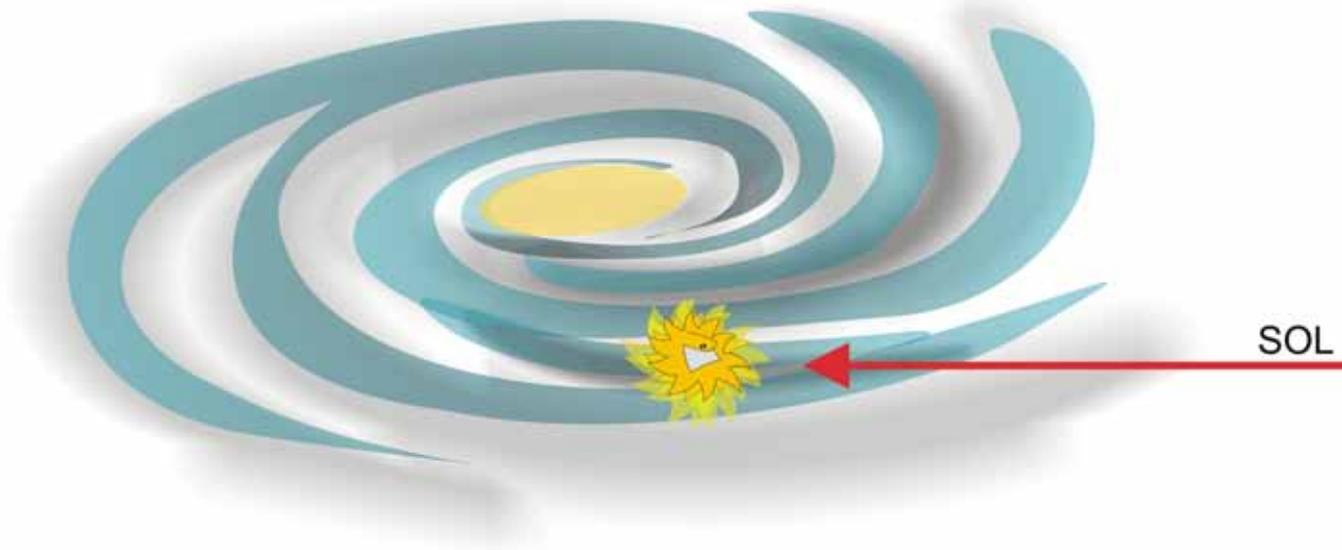


Fig. 6 - REPRESENTACIÓN DE la Galaxia con la ubicación del Sol.



# Capítulo 4

## Estrellas variables explosivas



Las estrellas variables explosivas o cataclísmicas más espectaculares para el observador del cielo, son las novas y las supernovas. La aparición de un astro nuevo y brillante, ya sea una estrella o un cometa, era considerada por los antiguos chinos como un presagio, tanto de enfermedades y desgracias como de victorias de guerras o anuncios de buenas cosechas.

Sin duda, entre los años 2700 a.C. y 1230 de nuestra era, se encontraron muchos astros que iluminaron el cielo. En algunos casos se observaban cometas y en otros estrellas nuevas o "novas" como se las designa. Sin embargo, la identificación de estos cuerpos no parece haber interesado tanto a los astrónomos chinos como lo que acontecía luego de cada aparición. Los pueblos de Europa y Cercano Oriente, no se preocupaban tanto por los cambios que se produjeran en el cielo y, por lo tanto, no se tienen registros muy antiguos.

Hay un registro muy antiguo de los astrónomos chinos de una estrella muy brillante en el año 134 a.C. y de otra observada en el año 1006 de nuestra era en la constelación de Lupis, que también fue observada por astrónomos europeos, egipcios y japoneses.

Nuevamente, los astrónomos de ese país de Oriente observaron en el año 1054 una estrella muy brillante en la constelación de Tauro. Esta estrella fue observada por dos años y luego se volvió invisible. Lo más importante de este objeto es que en su lugar quedó una nebulosidad muy bonita. Este "remanente de supernova", como se llama el resto visible que queda luego de la explosión, fue uno de los objetos más estudiados en el siglo XX, y se la denominó nebulosa del Cangrejo. (Ver Fig. 7.) Además, allí se pudo detectar también la estrella residual que quedó después de la explosión, una estrella de neutrones que analizaremos más adelante.

Fig. 7. MR. NEBULOSA DEL CANGREJO DESDE EL HUBBLE

Imagen NASA, ESA, J. Hester, A. Loll (ASU)



No se tienen más registros de “nuevas estrellas” hasta que, en noviembre del año 1572, el astrónomo Tycho Brahe observó una estrella muy brillante en la constelación de Cassiopea, con un brillo comparable con Venus. Se observó hasta marzo de 1574. Tycho Brahe registró todos los datos referidos a sus cambios en el brillo. Esta estrella “nueva” es conocida como la “estrella de Tycho”.

Pocos años más tarde, en octubre de 1604, el astrónomo Johannes Kepler observó una estrella muy brillante, con un brillo similar a Júpiter en la constelación de Ofiuco. Se observó a simple vista hasta marzo del año 1606. Esta fue la última supernova observada en nuestra galaxia.



Con la aparición del telescopio en el año 1609, las observaciones astronómicas fueron cada vez más completas y, además, se comenzaron a descubrir estrellas “novas” pero más débiles.

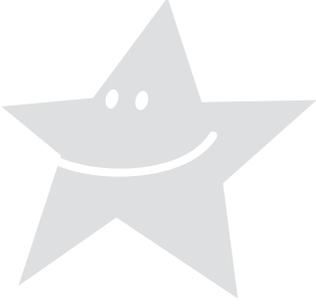
32 |

El 21 de febrero de 1901, el astrónomo T. Anderson observó una estrella brillante en la constelación de Perseo que, según se comprobó analizando fotografías tomadas de la zona dos días antes, no se observaba. Se determinó que esa estrella había aumentado en sólo dos días, unas 10.000 veces su brillo. ¡Una verdadera explosión!

En el año 1918, otra estrella brilló en la constelación del Águila con un brillo similar a la estrella observada por Kepler. La fotografía astronómica fue incrementando notablemente el número de nuevas estrellas detectadas en diferentes galaxias.

Harlow Shapley reconoció en 1926 que las “nuevas estrellas” se dividían en dos grandes clases, “novas normales” y “supernovas” con aumentos de brillo muy diferentes, llegando, en el caso de las supernovas, a alcanzar brillos de hasta 100 millones de veces el brillo de nuestro Sol. En el caso de las supernovas, las explosiones son destructivas para las estrellas como lo que ocurrió con las supernovas de los años 1054, 1572 y 1606.

Si una estrella supernova, se encontrase a unos 100 años luz del Sol, ¡brillaría en el cielo más que la Luna Llena! Hasta el pre-



sente, no se ha observado ninguna supernova a esa distancia. Ya veremos por qué.

Desde que se inventó el telescopio, la única supernova observada desde la Tierra a simple vista en la Vía Láctea o sus alrededores, ocurrió en la Nube Mayor de Magallanes en la nebulosa Tarántula. La Nube Mayor de Magallanes es una galaxia irregular que podemos observar en los cielos del sur y es satélite de la nuestra que se encuentra a unos 175.000 años luz de distancia. La supernova se denominó SN1987A y se descubrió el 23 de febrero del año 1987. La letra "A" significa que fue la primera supernova detectada en ese año.

#### **4.1.- Novas recurrentes**

Por año, unas 30 estrellas novas aparecen en nuestra galaxia, pero muchas de ellas no son visibles por la distancia a la cual se encuentran o por estar inmersas en polvo y gas interestelar.

Hasta la primera mitad del siglo XX, como vimos, no se distinguía entre novas y supernovas. A partir de ese momento, se comenzaron a distinguir perfectamente.

Se observó que la mayoría de las estrellas novas son recurrentes, o sea que las explosiones que sufren se repiten en el tiempo pudiendo o no tener algún tipo de período. Estas explosiones no destruyen a la estrella, pero ésta va perdiendo material en cada una de ellas.

El modelo que se propone es que son dos estrellas que giran una alrededor de la otra como un sistema planetario o sea con un centro de gravedad común. Cada tanto, una de ellas "tira" material sobre la otra y la "enciende", produciendo esto una explosión tal como se observa en las novas.

Las novas recurrentes son importantes para comprender los mecanismos físicos que intervienen en este tipo de variabilidad y que, en la mayoría de los casos, se pueden observar antes y después del evento explosivo.

## 4.2.- Supernovas

Como vimos, este tipo de variabilidad es terminal y destructiva para la estrella. La estrella es transformada de un modo irreversible en una "cáscara" de material interestelar, que se expande y se denomina "remanente de supernova" y un núcleo muy pequeño denominado estrella de neutrones. Posiblemente, si este núcleo continúa reduciéndose, puede transformarse en un agujero negro.

Las supernovas presentan un fenómeno muy importante y complejo y es la fase terminal en la vida de una estrella de mucha masa, del orden de unas 8 masas o más veces la masa del Sol.

Con mejoras técnicas de observación se están descubriendo cada vez más supernovas en nuestra y otras galaxias. En cuanto a los tipos de supernova que se observan, se dividen en supernovas Tipo I y Tipo II: la diferencia reside en las curvas de la variación de brillo, siendo las Tipo I las más brillantes. Además, los brillos de las supernovas Tipo I que se conocen teóricamente, son muy útiles para la determinación de la distancia a galaxias alejadas.

El descubrimiento de la supernova SN1987A (ver Fig. 8.) observada en la Nube Mayor de Magallanes fue fundamental. Pues:

- \* Fue la más brillante observada en 400 años.
- \* Se pudo observar con todos los dispositivos con los que se contaba, tanto desde tierra como desde el espacio.
- \* Fue la primera explosión de supernova de una estrella previamente observada y catalogada. La precursora de esa supernova fue la estrella Sanduleak -69°202.
- \* Fue la primera vez que se detectaron en tierra neutrinos, que son partículas subatómicas sin carga, de una fuente diferente al Sol. La detección de neutrinos fue crucial, pues confirma la teoría del colapso de la estrella y la formación de una nueva estrella, la estrella de neutrones.

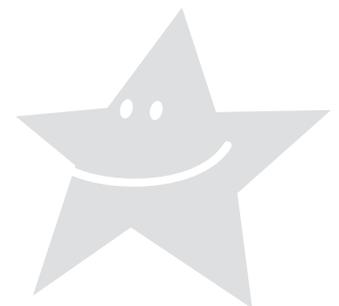




Fig. 8. Imagen de la nebulosa Tarántula y la supernova 1987<sup>a</sup>, abajo a la derecha.

Foto obtenida por David Malin, en el Anglo-Australian Observatory.

Recientes observaciones de supernovas han mostrado que algunas de ellas brillan con mayor intensidad y durante más tiempo que las que se conocen como tipos I y II. Estas supernovas son de 10 a 100 veces más brillantes que las conocidas.

Estas estrellas han abierto nuevos interrogantes y se denominan "supernovas súper cargadas".

Las supernovas provienen, como ya vimos, de estrellas de mucha masa y a medida que se van estudiando nuevas sorpresas les deparan a los astrónomos. La mayoría de las suposiciones que se hacían con respecto a estas estrellas están erradas y deberán ser reconsideradas. Los próximos años traerán más luz al conocimiento de los estados finales de estas estrellas de tanta masa.

Un objeto interesante que podemos observar en el cielo sur es la estrella  $\eta$  (eta) Carina, cuya imagen se observa en la figura 9. Es una de las estrellas más cercanas a la Tierra, que se piensa explotará en un futuro no muy lejano en términos astronómicos, ya que podría ser del orden del millón de años. La más grande de las dos estrellas es un objeto inestable que está cerca del fin de su vida. Los astrónomos consideran que este objeto es similar a una supernova, pero justo antes de que se destruya su estrella. Hoy en día se puede estudiar en detalle a  $\eta$  Carina como en la imagen que se muestra, que fue obtenida por el telescopio Hubble.

Fig. 9.- Imagen de  $\eta$  Carina

Crédito ES/NASA



Pero, ¿qué es lo que queda luego de una explosión tan catastrófica como es la explosión de una supernova?

### 4.3.- Remanentes de supernovas, estrellas de neutrones y agujeros negros

Vimos que cuando observamos una supernova, la estrella alcanza un brillo tan intenso que es posible detectarla en galaxias lejanas. El "residuo" gaseoso que queda se denomina "remanente de supernova" (RSNs). En las figuras que siguen se observan algunos de ellos.



Fig. 10. Imagen del remanente de la supernova RCW 86, la supernova más antigua documentada. Los chinos observaron el evento en el año 185 DC. Se encuentra en la constelación del Sur Circinus. Se encuentra a unos 8.000 años luz de distancia.

Crédito: X-ray: NASA/CXC/SAO & ESA; Infrared: NASA/JPL-Caltech/B. Williams (NCSU) NASA/JPL-Caltech)B.

Fig. 11. Remanente de la supernova observada en el año 1006.

Créditos de la imagen: NASA, ESA y Zolt Levay (STScI).

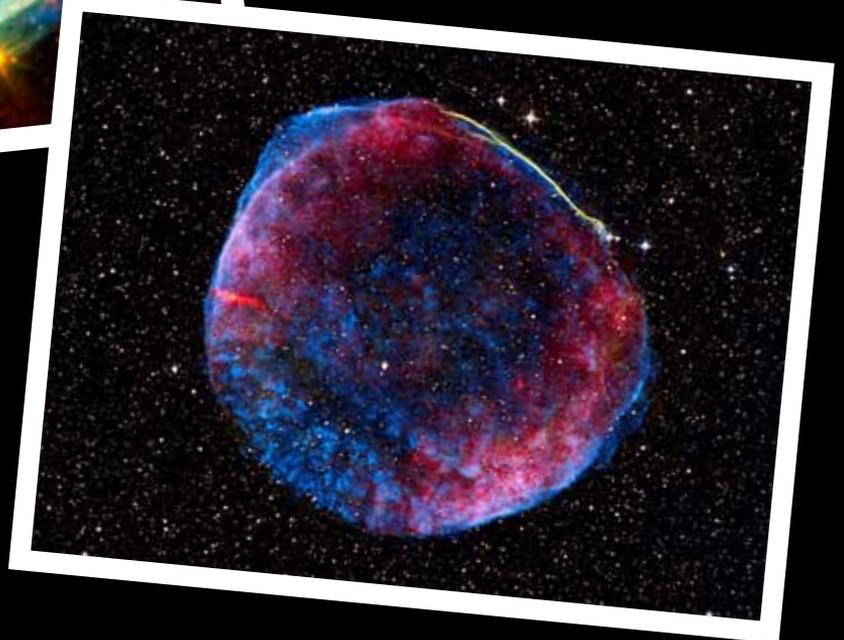


Fig. 12. El remanente de la supernova de Tycho.

(Foto: Rayos gamma, NASA/DOE/  
Fermi LAT Collaboration;  
Rayos-X, NASA/CXC/SAO;  
Infrarrojo, NASA/JPL-Caltech;  
Óptico, MPIA, Calar Alto,  
O. Krause et al. y DSS)

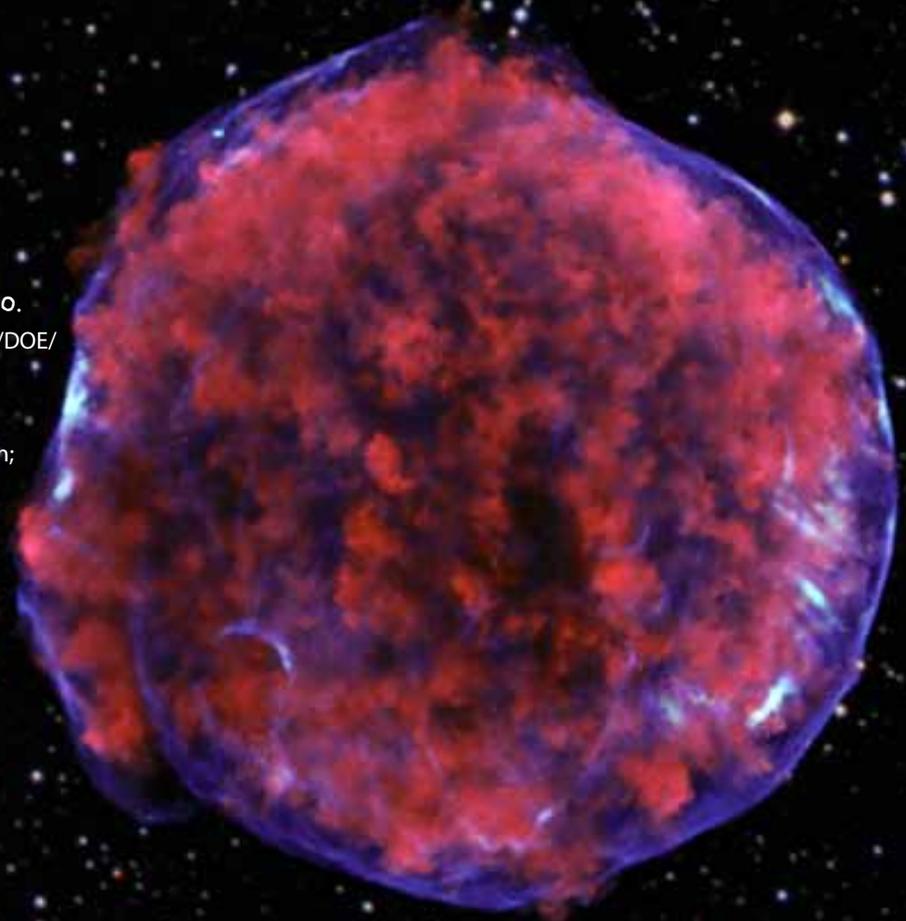


Fig. 13 Imagen del remanente de supernova en la Vía Láctea G1.9+0.3.

Es el resto de la supernova más reciente de nuestra galaxia, de 140 años de antigüedad. No fue observada la explosión de la estrella por su ubicación en la galaxia ya que se encuentra en el centro de la misma, zona muy oscurecida por el polvo y gas interestelar. En la imagen de la derecha, el centro de la galaxia está marcado con rojo en la parte superior y el remanente en el cuadrado abajo a la izquierda (Crédito: X-ray (NASA/CXC/NCSU/S.Reynolds et al.); Radio (NSF/NRAO/VLA/Cambridge/D.Green et al.); Infrared (2MASS/UMass/IPAC- Caltech/NASA/NSF/CfA/E.Bressert)

La zona central o núcleo de la estrella recibe parte del material de la explosión. El resultado es una nueva estrella, una “estrella de neutrones”, que son objetos muy densos que giran muy rápidamente.

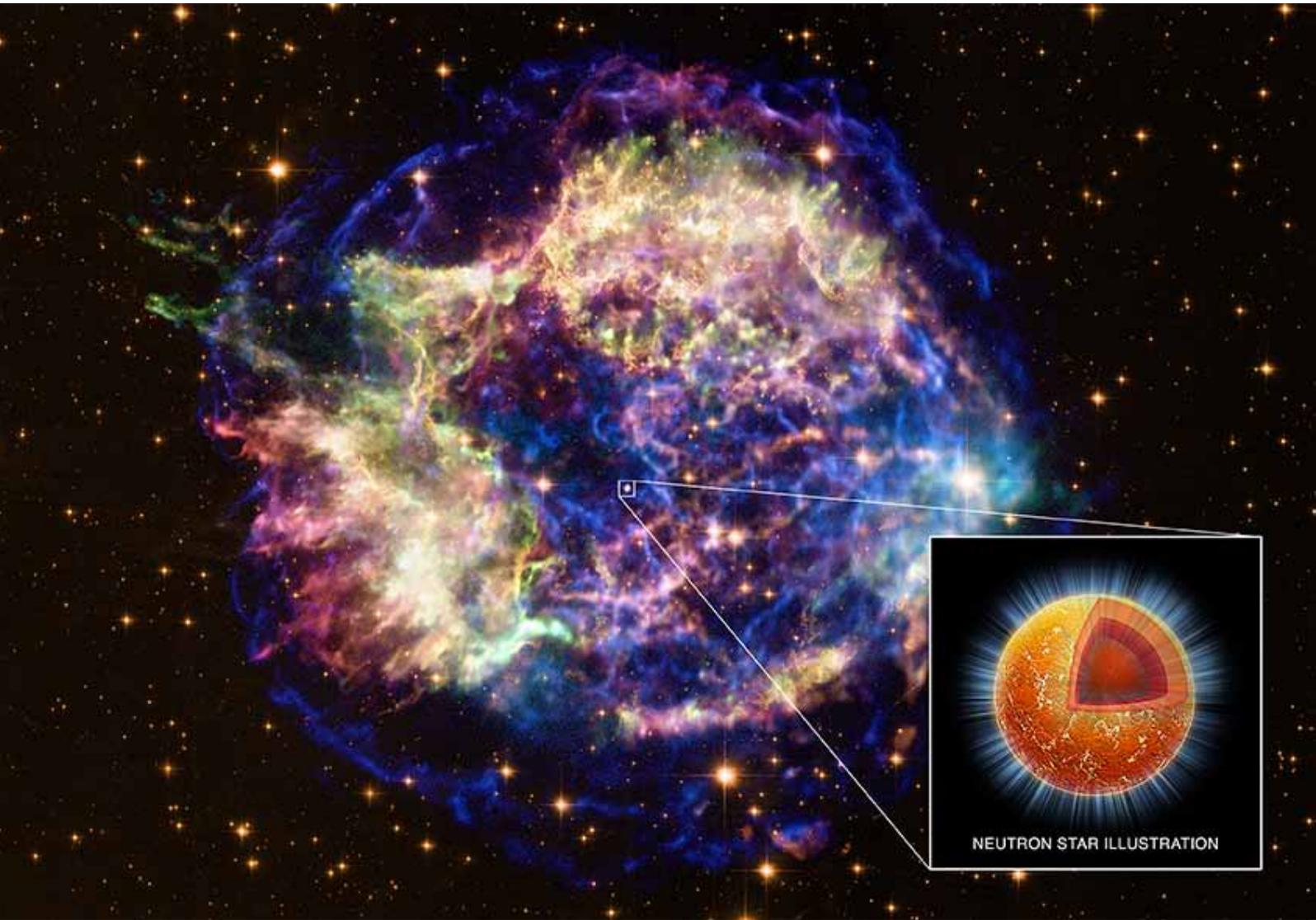


Fig. 14 - Imagen óptica combinada con rayos x del remanente Cassiopea a.

Son los restos de una estrella que explotó hace unos 330 años en nuestra galaxia (medidos en “nuestro tiempo”). En el centro se encuentra una estrella de neutrones, cuyo dibujo artístico se muestra abajo a la derecha. (Crédito: X-ray: NASA/CXC/xx; Optical: NASA/STScI; Ilustración: NASA/CXC/M.Weiss)

Un modo de detectar estos objetos es con radiotelescopios. Si la estrella está orientada de tal modo que podemos recibir la emisión de su radiación, o sea su luz en ondas de radio, observaríamos algo similar a lo que ocurre con los faros. La radiación "escapa" a través de los polos magnéticos. En la figura 15 se muestra un modelo de pulsar.

Esos objetos se denominan "pulsares" y se observaron por primera vez en el año 1967 por Jocelyn Bell y Antony Hewish. Estos radioastrónomos detectaron señales de radio de muy corta duración y muy periódicos. El período medido fue de 1,33730113 segundos. Muchos más fueron encontrados. En la nebulosa del Cangrejo se encontró uno con un período de 0,033 segundos que se observa en el mismo punto en el cual los astrónomos chinos observaron la supernova en el año 1054. Por ello se deduce que este pulsar es lo que quedó de la estrella que dio origen a la nebulosa del Cangrejo.

En la Fig. 15 se muestra un modelo de pulsar.

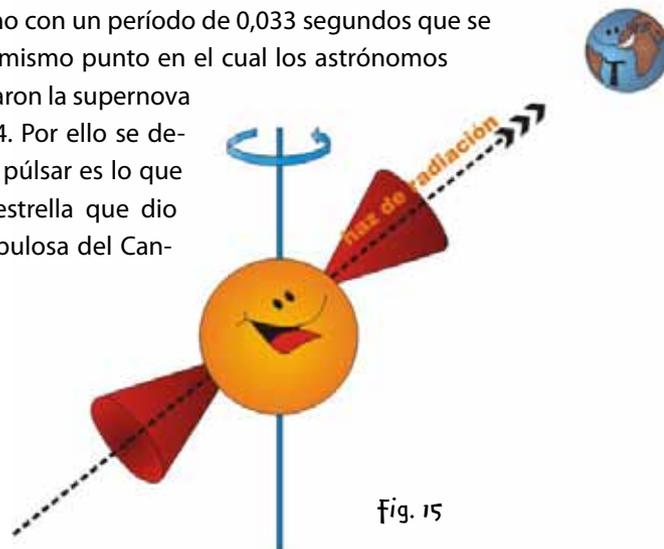


Fig. 15

Lo que se puede decir es que todos los pulsares son estrellas de neutrones, pero no todas las estrellas de neutrones son pulsares, ya que depende de la orientación del eje a través del cual "sale" la radiación respecto del observador terrestre.

La analogía con un faro es muy ilustrativa. Para que nosotros lo veamos debemos estar ubicados de un modo especial. Si estuviésemos arriba del faro no veríamos su cambio de luz.

Si la parte estelar que queda luego de la explosión tiene entre 1,4 y 3 veces la masa del Sol, se tendrá una estrella de neutrones. Pero, si la masa es mayor, la estrella continuará colapsando hasta un punto y tendremos un agujero negro.

El agujero negro es un objeto muy denso, con un campo gravitatorio muy intenso tal que nada puede escapar, ni siquiera la luz, de allí su nombre. En el agujero negro tampoco es posible que la luz brille. Aún la luz que pasa cerca es absorbida y cualquier cosa que pase cerca desaparecerá para siempre. Es posible detectarlo por el efecto gravitatorio que produce en su entorno. Hasta el presente se han detectado varios agujeros negros, muchos en centros de galaxias.

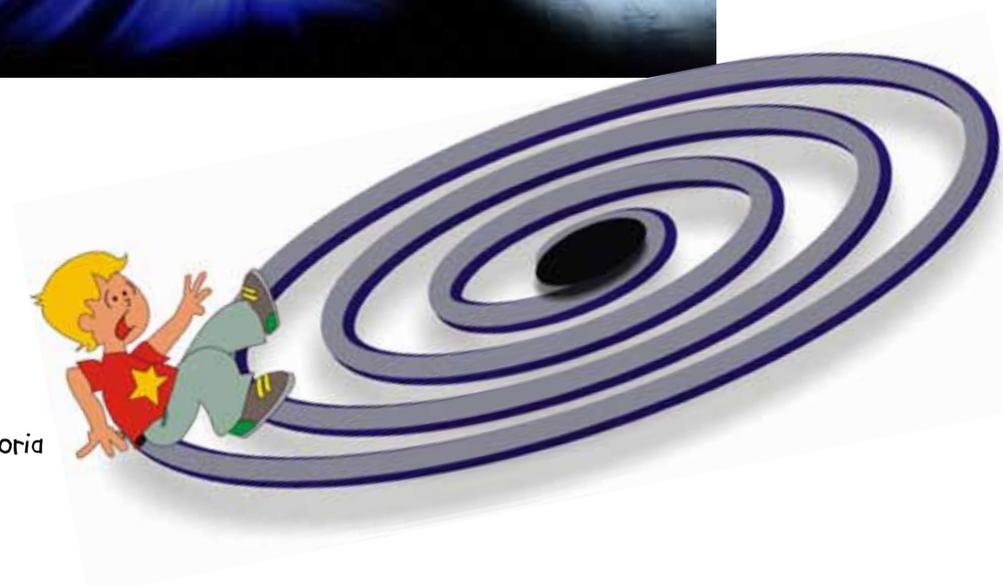


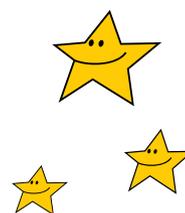
Fig. 16.- REPRESENTACIÓN ARTÍSTICA DEL MODELO DEL SISTEMA BINARIO IGR J17091-3624 QUE CONTIENE UN AGUJERO NEGRO

donde se observa la intensidad del campo gravitatorio del agujero negro a la izquierda que está lanzando lejos el gas de la compañera a la derecha y así se forma un disco de gas caliente alrededor del agujero negro. (Crédito ilustración: NASA/CXC/M.Weiss)



Fig. 17.- AGUJERO NEGRO y su atracción gravitatoria





#### 4.4.- Estrellas R Corona Borealis. Variables distintas

Este tipo de estrellas variables formadas por un pequeño grupo de componentes, menos de 40, son en cierto modo variables “distintas” o al revés.

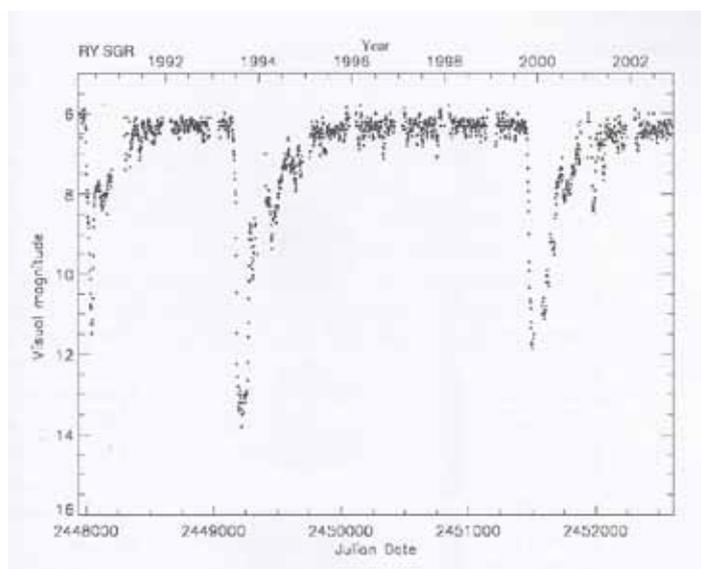
La estrella que da nombre al grupo, o sea R Corona Borealis, fue descubierta como variable por Pigott en el año 1795 y desde ese momento ha sido observada regularmente.

La característica principal de este grupo es que pasan varios años con un brillo normal constante. Luego, rápidamente y sin ningún tipo de período, decrecen su brillo en varias magnitudes y luego regresan lentamente a la normalidad. Se podría decir que las estrellas pertenecientes al grupo de las R Corona Borealis, son como novae pero al revés.

De este tipo de “variables al revés”, donde el cambio de luz es grande e impredecible, se ha tenido un gran aporte de datos por medio de los astrónomos aficionados, ya que éstos monitorean constantemente el cielo en búsqueda de variaciones de cualquier tipo. Esos cambios son inmediatamente informados por parte de los aficionados a organizaciones tanto de profesionales como de aficionados para que continúen con la observación, para así determinar las curvas de luz correspondientes. En la figura 18 se observa la curva de luz de una estrella del grupo de las R Corona Borealis, RY Sagitari.

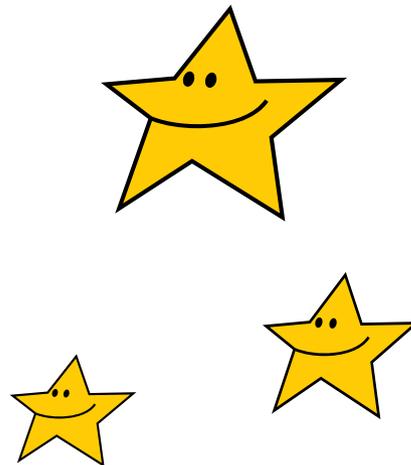
| 41

Fig. 18. Curva de luz de la estrella perteneciente al grupo de variables tipo R Corona Borealis, RY Sagitari, entre los años 1991 y 2003.  
Crédito: AAVSO



En la figura 18 se observa la curva de luz de la estrella RY Sagitari, entre los años 1991 y 2003, abarcando unos 4.000 días. En este caso, la estrella tiene un brillo de 6 magnitudes, aproximadamente, durante varios cientos de días y luego se debilita hasta un brillo de 14 magnitudes aproximadamente. Como se ve en la curva la variación no es siempre la misma como tampoco es el mismo el tiempo que pasa entre un mínimo y otro. Si vemos a las otras curvas de luz, veremos por qué se las conoce como variables al revés.

Es oportuno aclarar que lo que se indica como "Julian Date", o sea, Fecha Juliana, es un modo muy práctico de contar días en Astronomía y dar fechas de eventos astronómicos con estos "días". Estos "días" se cuentan desde el mediodía del 1 de enero del año 4713 a.C. Es muy práctico hacer uso de estos días pues son corridos y así se evita contar si son bisiestos o no, ya que no importa. Cuando se observan eventos que tiene un cierto período este modo de contar los días es el que se utiliza.



# Capítulo 5

## El Sol como estrella variable

### 5.1.- Las manchas solares

Muchas estrellas variables presentan una atmósfera con zonas de distinta temperatura. Esto se traduce en manchas brillantes u oscuras. La variación de la luz se debe a la rotación de la estrella. Nuestro Sol presenta este fenómeno.

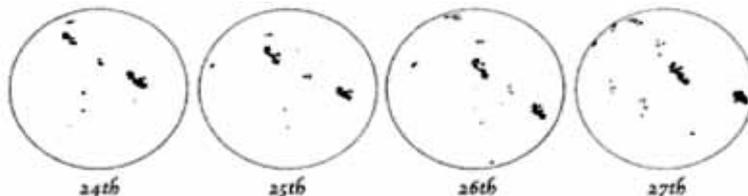
Fig. 19 - MODELO DE ROTACIÓN DE UNA ESTRELLA COMO EL SOL DONDE SE OBSERVA EL CAMBIO DE ASPECTO DE LA SUPERFICIE.

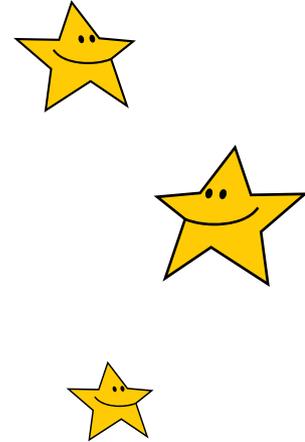


El Sol varía casi imperceptiblemente por este efecto y, por lo tanto, el brillo del Sol no cambia mucho. Las manchas ocupan un porcentaje muy pequeño de su superficie. La temperatura puede variar en unos  $1.500^{\circ}$ . Estas manchas tienen un ciclo regular con un incremento de las mismas cada 11 años. En el máximo se tiene el Sol "activo" y en el mínimo el Sol "quieto".

Ya en el siglo V antes de Cristo, los astrónomos chinos reportaron observaciones de manchas en la superficie del Sol. Pero, varios siglos después, en el siglo XVII, se reportaron manchas sobre la superficie solar y fueron realizadas por los astrónomos Galileo Galilei, Fabricius, Scheiner y Harriot, en forma independiente.

Fig. 20.- OBSERVACIÓN DE LAS MANCHAS SOLARES POR GALILEO.





En la figura 20 que sigue se muestran las observaciones de Galileo de las manchas solares entre los días 24 y 27 de junio de 1612. En esta figura que Galileo representó observando el Sol a simple vista, se ve cómo van desplazándose las manchas a lo largo de los días. Hoy podemos observar estas manchas solares haciendo uso de telescopios especiales o proyectando la imagen del Sol en una hoja, por ejemplo. Nunca debemos observar el Sol a ojo desnudo pues su brillo es muy intenso y podría afectarnos la vista si no tomamos los recaudos necesarios para realizar la observación.

Varios fenómenos más se observan en el Sol como es el caso de las prominencias similares a arcos de fuego. Hay erupciones rápidas que se denominan “flares”, que también se han observado en otras estrellas similares al Sol.

Por supuesto, estas variaciones que observamos en el Sol son “micro variaciones” que, al estar la estrella tan cerca de la Tierra, son notables. Pero, ¿cómo veríamos al Sol a distancias mayores? Se vería como un objeto puntual que variaría su luz debido a las manchas sobre su atmósfera a medida que rota cada 30 días. En realidad, el período de rotación es de 26,93 días en el ecuador solar y 35 días en los polos solares.

¿Cómo se comparan otras estrellas similares al Sol en la aparición y desaparición de manchas y otras variaciones de brillo? Con el análisis de las observaciones se podrán entender los mecanismos que producen estos cambios en el Sol a través del tiempo.

Lo que se encuentra en estrellas similares al Sol, entre otras conclusiones es:

- \* La actividad se relaciona con la velocidad de rotación de las estrellas.
- \* Al formarse la estrella, la velocidad de rotación es alta y va disminuyendo al pasar el tiempo.
- \* La actividad también decrece con el tiempo.

\* El Sol, que es una estrella que está en la mitad de su vida, es una estrella de baja velocidad de rotación y poco activa. Es muy probable que haya rotado más rápido y sido más activa cuando era más joven.

\* Las estrellas con períodos de rotación más rápidos tienden a tener actividad más caótica e irregular.

## 5.2.- Pulsaciones solares

El Sol es la estrella más cercana y la única que podemos ver en detalle. Debido a esto es que podemos observar pulsaciones en las zonas cercanas a las regiones activas del Sol. Duran muy pocos minutos y dan mucha información del interior solar debido a que estos movimientos llegan a diferentes profundidades.

El estudio de estas pulsaciones solares se denomina heliosismología (por helio = sol) Es una técnica similar a la usada por los geólogos para estudiar el interior de nuestro planeta.

Más datos sobre este tema es posible encontrarlos en: <http://soi.stanford.edu/results/heliowhat.html>

En base a estos resultados se comenzó a estudiar pulsaciones en otras estrellas similares al Sol y ese estudio se denomina astrosismología. El problema principal se debe a que las estrellas observadas desde la Tierra son objetos puntuales y mucho menos brillantes que el Sol. Algunas de estas estrellas son  $\alpha$  Centauro y  $\eta$  Bootis. Nuevas mejoras instrumentales permitirán realizar observaciones cada vez más precisas y, de este modo, se incrementará el número de estrellas con pulsaciones detectadas.



## 5.3.- Evolución del Sol

En cuanto a su fin, sabemos que el Sol pasará por algunos estados en los cuales aumentará de tamaño y se transformará en una estrella "gigante roja", luego comenzará a oscilar y lanzará al espacio material

y se irá transformando en un tipo de objeto que se denomina "Nebulosa Planetaria" como la que observamos en las figuras 21 y 22, para terminar como una estrella pequeña que se denomina "enana blanca" y, luego de varios miles de millones de años, se enfriará y se convertirá en una "enana negra". O sea que el Sol nunca se podrá convertir en una estrella supernova.



Fig. 21. Imagen de la Nebulosa Helix.

Crédito de la imagen: NASA, NOAO, ESA, The Hubble Helix Nebula Team, M. Meixner (STScI) y T. A. Rector (NRAO)

Fig. 22.- Imagen de la Nebulosa Dumbbell descubierta en el año 1764 por Charles Messier quien catalogó objetos nebulosos. El catálogo incluía también galaxias, pero la Nebulosa Planetaria Dumbbell fue la primera de su tipo catalogada.

Crédito: NASA/JPL-Caltech/Harvard-Smithsonian CfA



El tiempo de vida del Sol, que es una estrella amarilla, se estima en unos 10 mil millones de años, y su edad actual es de unos 5 mil millones de años.

Recordemos que el tiempo de vida de una estrella depende de la velocidad a la cual transforma su materia (masa) en energía. Las estrellas de mayor masa lo hacen más rápido. Estas estrellas son azules y duran unas 10.000 veces menos que el Sol, o sea, pocos millones de años. En la figura 23 se observa una gran prominencia solar detectada por el satélite solar SOHO.

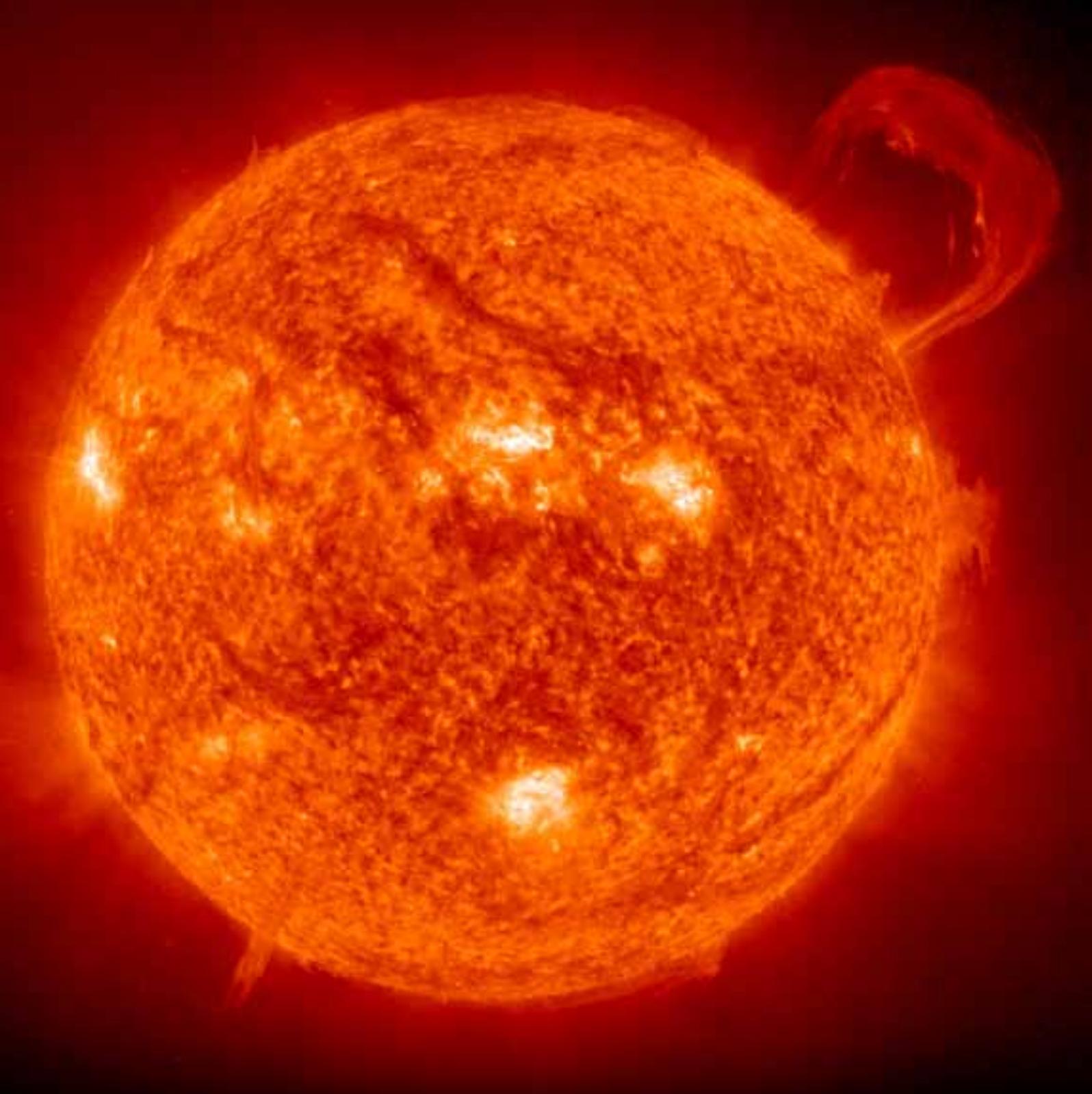


Fig. 23. Imagen del Sol obtenida con el satélite SOHO.

La figura 24 es una imagen del satélite Stereo, que observa en varias regiones del espectro electromagnético y luego combina las fotografías. Se observa la gran actividad en la zona de las manchas.

48 |

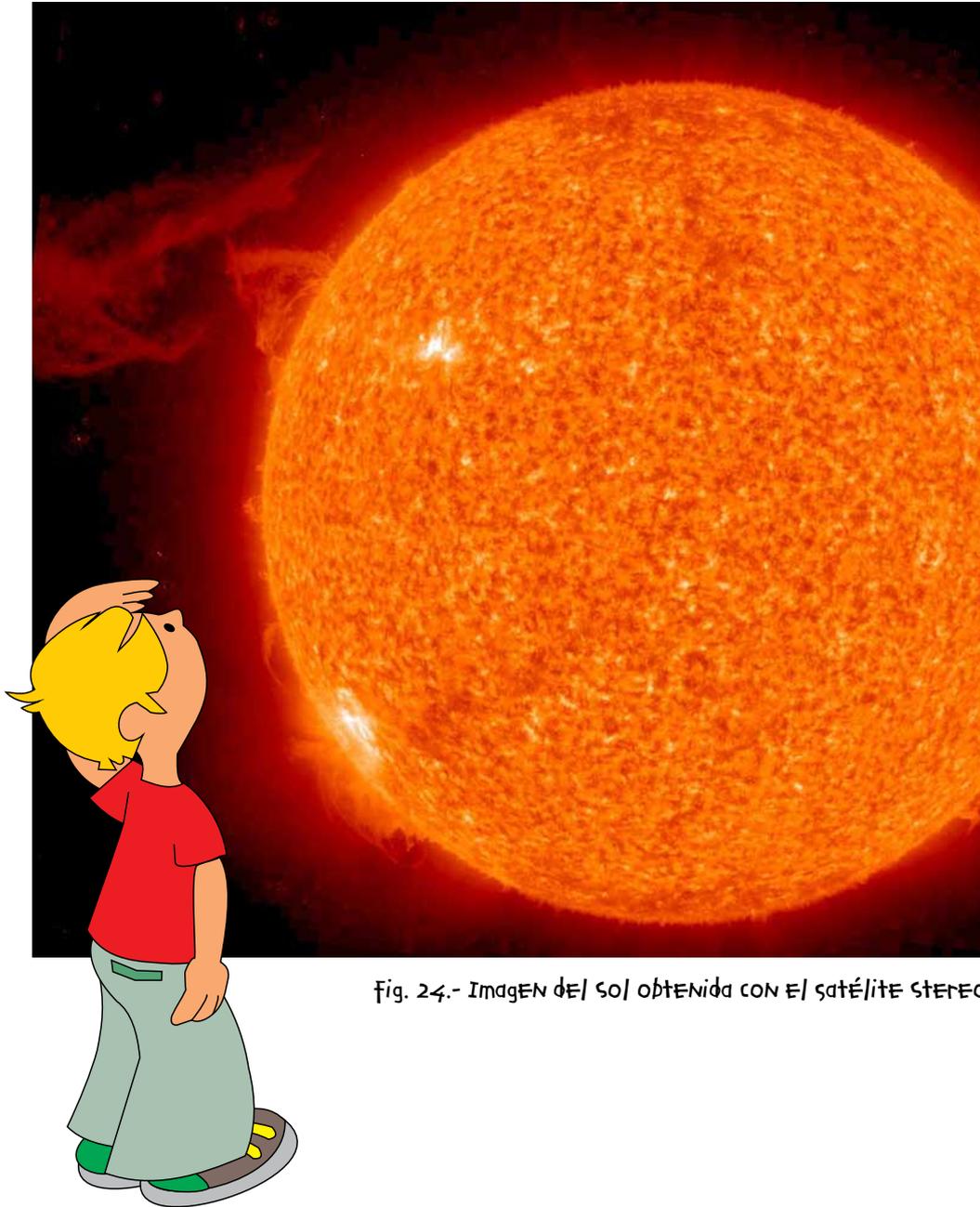


Fig. 24.- Imagen de/ SO/ obtenida con E/ satélite STEREO.

# Epílogo

En este nuevo viaje por el Universo, hemos dado una pequeña descripción de estas estrellas tan importantes e interesantes para la astrofísica, como lo son las estrellas variables de luz.

Estas estrellas también ocupan un lugar importante en la resolución de algunos problemas del Universo como en el caso de las estrellas Cefeidas, que fueron utilizadas para determinar distancias a otras galaxias y también para determinar el tamaño y forma de nuestra galaxia, la Vía Láctea.

Posiblemente, la historia más espectacular y emocionante de las estrellas variables se encuentra en los descubrimientos y posteriores estudios de las novae y supernovas. Muchos de los enigmas del Universo se encuentran encerrados en estas estrellas. Cada nueva puerta que abrimos al entendimiento de los mecanismos que producen las variabilidades, nos permite avanzar cada vez más.

Hay algo que se debe remarcar en la observación y estudio de las estrellas variables y es la activa participación de los astrónomos aficionados de todo el mundo. La astronomía es única en el sentido que los aficionados a esta ciencia pueden contribuir con sus observaciones.

La observación de estrellas variables por distintos instrumentos sigue siendo uno de los campos más fructíferos para los esfuerzos de los aficionados. Son los que obtienen las observaciones necesarias para que luego el astrónomo profesional continúe con la tarea de hallar la explicación satisfactoria a la variabilidad observada.

En muchos casos, el tiempo de observación requerido es muy largo para que pueda ser obtenido por un astrónomo profesional. Muchas son las estrellas variables que no pueden ser

monitoreadas salvo por los astrónomos aficionados. Es muy posible realizar importantes contribuciones al estudio de estas estrellas con telescopios pequeños.

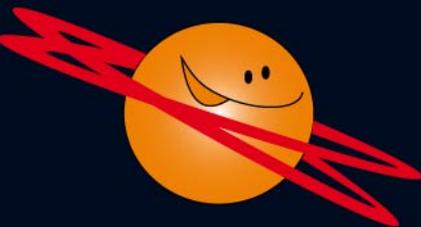
Muchos grupos y redes de observadores se han organizado para llevar adelante investigaciones en colaboración, tanto nacionales como internacionales. Entre ellos se puede mencionar la American Association of Variable Star Observers, AAVSO cuya página es [www.aavso.org](http://www.aavso.org)

La mayoría de las observaciones de estrellas variables se encuentran publicadas en el Information Bulletin on Variable Stars, IBVS, cuya página es <http://cdsbib.u-strasbg.fr/bib/IBVS/>

Sólo nos resta comenzar a observarlas y seguir disfrutando de las maravillas del cielo.

¡Adelante!





“Un viaje al Universo III. Esos astros inquietos: las estrellas variables de luz” describe de modo sencillo y con un lenguaje adecuado a los pequeños lectores las características principales de un grupo de estrellas que varían su brillo en cortos períodos de tiempo: lapsos que van desde horas a algunos años. Esto permite que los chicos puedan ser testigos de esos cambios.

Las estrellas variables de luz son muy importantes en astronomía, pues algunos grupos de éstas permiten a los astrónomos definir distancias a objetos muy alejados de la Tierra y comprender ciertos fenómenos que ocurren en las estrellas a lo largo de su vida.

No es posible dejar de lado a las estrellas variables explosivas, que han maravillado al hombre desde épocas antiguas, y que hoy en día aclaran las ideas sobre las últimas etapas de la vida de una estrella.

Esta publicación es también un reconocimiento al gran aporte que los astrónomos aficionados han hecho a la observación de este grupo tan especial de estrellas. Sobre la base de esos aportes los astrónomos profesionales han encontrado algunas de las respuestas que siempre están buscando para desentrañar los misterios del Universo.



Universidad  
de La PUNTA

SAN LUIS, ARGENTINA

