

# EL UNIVERSO

**Nuestro Universo: un lugar enigmático, violento y privilegiado.**

## Introducción

Son muchos los siglos que ha dedicado el ser humano a querer entender su entorno. Incluso hoy día se invierten múltiples esfuerzos en intentar conseguir una mayor y mejor comprensión de una de las cosas que más nos fascina de la naturaleza: el Cosmos.

Increíblemente amplio, el Universo es un lugar para nada similar a la imagen que tenemos de él. En una noche despejada podremos ver – lejos de las contaminantes luces de las ciudades – varios centenares de estrellas. La calma y la tranquilidad que parece transmitir la visión de un firmamento estrellado es total. Pero en realidad no es así. El Sol, por ejemplo, combustiona millones de toneladas por segundo en unas reacciones termonucleares de mayor poder que la más potente bomba inventada por el ser humano.

En el Universo se producen innumerables explosiones, colisiones, interacciones gravitatorias, expulsiones de gas incandescente, etc... . Incluso todo el Universo esta en constante movimiento, en contraposición con la imagen de inmovilidad que aparentemente recibimos cuando se observa.

Al igual que un vehículo automóvil, también el Universo consta de un sinnúmero de distintos componentes, los cuales no tienen razón de ser el uno sin el otro.

Pero ¿tiene el cosmos una estructura?

El Universo como tal esta perfectamente estructurado al detalle en las más diversas escalas. Así, por ejemplo nos vemos en un azul y privilegiado planeta rodeados por nuestro único satélite natural que gira en torno a nosotros una vez al mes. También nosotros orbitamos nuestra estrella más próxima en compañía de otros ocho planetas, un centenar de satélites y un ejército de asteroides y cometas. El Sol, a su vez, se mueve alrededor de su órbita en torno al centro galáctico... como hacen otros muchos miles de millones de estrellas más o menos parecidas al Sol. Así mismo nuestra galaxia, la Vía Láctea, se mueve en torno a un centro común de gravedad que tiene junto con las docenas de galaxias compañeras que forman el “grupo local”.

Todas estas galaxias del grupo local giran sobre sí mismas y, además, sobre otros cúmulos de galaxias formando entre todos un supercúmulo. Este, de nuevo, se desplaza por las inmensidades del espacio intergaláctico alrededor de otros supercúmulos y todos ellos en conjuntos parecen moverse hacia un lugar al que se ha denominado “gran atractor” y del cual apenas se sabe nada.

En conjunto tenemos a cientos de trillones de estrellas agrupadas en miles de millones de galaxias que se mueven en un Universo al que se ha calculado una edad de 13.700 millones de años. Esta cifra, por supuesto, puede cambiar en un futuro a medida que avance el desarrollo de los instrumentos de medi-

*Alex Mendiola* goitia ción y con ellos el conocimiento humano ya que a esa increíble escala no es fácil acertar plenamente con la solución definitiva a las preguntas que nos hagamos al respecto.

## ¿Cómo empezó todo?

El Universo no se hizo en siete días gracias a una mano divina que separó a la luz de las tinieblas y creó el cielo y la tierra y al hombre. El génesis de todo es bastante más complicado.

A mediados del siglo pasado un astrónomo llamado Edwin P. Hubble logró descubrir desde su observatorio en EEUU que las nebulosas espirales no pertenecían en realidad a la Vía Láctea, lugar al que se limitaba la concepción del Universo en aquella época. Logrando disolver a esas nebulosas en estrellas - es decir en galaxias como la nuestra -, Hubble amplió en miles de veces el tamaño del cosmos imaginado por la Humanidad por aquellos entonces. Dicho descubrimiento le valió el prestigio internacional absoluto. Pero no contento con este fabuloso hallazgo, Hubble siguió investigando y se dio cuenta que había un desplazamiento hacia la zona roja del espectro de las distintas líneas espectrales que nos indican la composición química del objeto observado. No sin dificultades Hubble concluyó que la galaxia que estaba observando se alejaba de la nuestra. Comprobó, además, que a todas las galaxias les parecía ocurrir lo mismo. De esta manera se pudo comprobar que el Universo esta en clara expansión.

Pero si ahora se expande alguna vez tuvo que estar unido en algún punto. Y con esta idea o filosofía se creó la teoría de la singularidad llamada “Big Bang” por sus detractores. Pero curiosamente ha sido este último nombre el que ha prevalecido y del que todo el mundo habla en la actualidad.

Resumiendo los hechos: El Universo tuvo que empezar en un punto concreto, estallando para comenzar la expansión en la que se encuentra actualmente.

### **¿Cómo fue ese punto o Singularidad?**

Dicen los expertos que la Singularidad tuvo que ser un lugar infinitamente pequeño e infinitamente denso en el que la materia o la energía como tal no existían. Debido a una causa aún desconocida esa Singularidad explotó arrojando una cantidad de energía de proporciones incalculables al recién creado espacio – tiempo. El remanente de esta explosión fue registrada en un magnífico trabajo de la comunidad científica gracias al extraordinario satélite artificial COBE. En las primeras fracciones de segundo la energía se transformó ya en una opaca sopa de materia en un estado muy primitivo. Con el paso del tiempo, pequeñas irregularidades existentes en la Gran Explosión provocaron una levemente mayor concentración de energía y masa en ciertos lugares del Universo. Estas concentraciones, al tener mayor masa (aunque sea por muy poco) pudieron disfrutar de una ventaja gravitatoria con lo que pudieron atraer masa a sus alrededores. A la postre, este privilegio daría lugar a las galaxias.

Poco a poco, con el paso de los primeros millones de años se fueron formando las primeras

protogalaxias en las que empezaron a brillar las estrellas de la primera generación. Estas estrellas se crearon a partir del hidrógeno existente en cualquier parte del Universo (recordemos que el hidrógeno es el átomo más simple que existe) y su desarrollo implicó la creación en su horno termonuclear de elementos más pesados como el helio, oxígeno, carbono, etc... Con su vida acabada esas estrellas de primera generación expulsaron todos los materiales al espacio en forma de novas o supernovas enriqueciendo así el medio del espacio interestelar del cual se nutren hoy en día las estrellas de segunda generación como nuestro Sol. (1)

Llegado a este momento nos encontramos con un Universo relativamente estructurado en supercúmulos de galaxias, grupos de galaxias y galaxias. Estas últimas, a su vez se componen de otras estructuras como las estrellas, nebulosas, nubes de polvo oscuras, cúmulos abiertos de estrellas, cúmulos globulares, un halo, estrellas de neutrones, agujeros negros, supernovas, sistemas estelares de estrellas y planetas y satélites, etc. ...

Aún con toda esta ordenación parece haber un caos todavía en el Cosmos más debido a nuestra ignorancia que a un caos real.

Parece ser que en el Universo existen una auténtico abanico de objetos galácticos de distinta naturaleza de los cuales debemos destacar los inexplorados cuásares; misteriosas fuentes de tremenda energía, o las hypernovas.

Las mismas galaxias albergan una gran cantidad de misterios sobre los cuales se esta trabajando con ímpetu. ¿Hasta donde llegan las

galaxias? ¿Cómo se mantienen unidas? ¿Hay mucha o poca materia oscura? ¿Hasta donde llega el halo galáctico? ¿Cómo, cuando, donde y por que se formaron los cúmulos globulares de las galaxias? ¿Chocan las galaxias entre sí destruyéndose las estrellas que las componen? ¿Qué albergan los núcleos galácticos?

Todas estas preguntas irán encontrando sus respectivas respuestas ya que en próximos capítulos trataremos con detalle cada uno de los componentes del Cosmos, ajenos al Sistema Solar. Aprenderemos a conocer como son los cúmulos abiertos o globulares, la evolución estelar desde la nebulosa primigenia, pasando por las estrellas binarias hasta la supernova o nebulosa planetaria. Cómo nacen las estrellas y posibles formas en la que pueden terminar. Y dispondremos de información más concreta sobre las galaxias y sus misterios e, incluso, hablaremos de las ideas actuales sobre le Universo como un todo.

(1) *Curiosamente se denomina aquellas estrellas contemporáneas al Sol estrellas de Iª generación y las más viejas como estrellas de IIª generación. No se ha utilizado esta forma en la explicación para no confundir al lector.*

### **La vida de una estrella**

Erase una vez...

En cierto lugar del inmenso Cosmos, en una galaxia espiral cualquiera, al lado de una remota región de algún brazo de este universo–isla, se hallaba una nube de gas y polvo interestelar; un resto no usado en la formación de la primera generación de estrellas de la galaxia o remanentes de alguna estrella que

ya no existe y murió como supernova o nebulosa planetaria.

Entonces, hace unos 4.800 millones de años, en su paso por el brazo espiral de la galaxia, una onda expansiva de la muerte de alguna lejana estrella alcanzó nuestra acumulación de materia y ocasionó una perturbación en la nube primigenia; amén de enriquecer químicamente son sus despojos nuestro entorno. (Recordemos que estamos hechos de materia que se formó en el corazón de estrellas que ya no existen). Como consecuencia de ello la acu-

mulación empezó a contraerse lentamente y a girar sobre sí misma.

Otra teoría nos dice que fue la propia nube la que provocó su colapso al no ser homogénea en su distribución.

En cualquier caso con el paso de los milenios nuestra protagonista fue dejando atrás su caótica forma para convertirse poco a poco en un sistema más o menos ordenado compuesto por un núcleo, en el cual se concentró la gran mayoría de la materia, y un disco de “residuos” a su alrededor. Y al igual que un

patinador gira más rápido sobre sí mismo cuando pega los brazos y las piernas a su cuerpo, también la mencionada materia más densa en el centro y un disco menos denso alrededor fue girando más y más deprisa con el paso del tiempo y a consecuencia de su lento colapso. Más concretamente fue la conservación del movimiento angular la que obligó a la materia a girar más rápido debido a la atracción gravitatoria. Expresado matemáticamente el equilibrio supondría lo siguiente:

$$L=MR^2W$$

Donde R es el vector de posición de una partícula (brazos del patinador) y W es la velocidad angular (o de giro). Si R disminuye W tiene que aumentar para que L sea constante.

Como curiosidad cabe decir que si la nube de materia interestelar es muy grande, su materia supera la llamada “masa de Jeans” y la acumulación de materia se fragmenta en varios pedazos, cada uno de los cuales da lugar a la formación de una estrella. De esta manera nacen varias estrellas “hermanas” al mismo tiempo. No se sabe exactamente si, por ejemplo nuestro Sistema Solar, nació dentro de una grupo de estrellas brillantes o si, por el contrario se formó en una nube molecular pequeña.

Todavía nuestra nube primigenia dista mucho de asemejarse a lo que va a ser en un lejano futuro, pero ya se puede hablar de dos partes bien diferenciadas. El centro de la misma, de forma aproximadamente esférica, lo podemos calificar como el núcleo del cual evolucionará la “protoestrella”. (Más adelante veremos que es exactamente una protoestrella.) Asimismo alrededor del núcleo se fue ge-



M 42 donde en la actualidad se observan nacimiento de estrellas

nerando el llamado “disco protoplanetario” en el cual se dan unas condiciones muy diferentes a las que encontramos en el núcleo.

¿Pero qué acontece exactamente en nuestro futuro sistema estelar en un estado tan primitivo? El movimiento de rotación provoca que la materia tienda a concentrarse en el plano ecuatorial del sistema, perpendicular al eje de rotación y la pérdida de grandes cantidades de energía gravitatoria debido a la contracción en sí en forma de radiación infrarroja (calor). Al principio, la energía generada por la protoestrella y la captura del disco (y núcleo) del gas restante compensan la pérdida energética hasta un cierto límite, pero llegado un momento estos dos factores son insuficientes y la temperatura baja desde los  $2.000^{\circ}\text{C}$  a los  $-220^{\circ}\text{C}$  en las regiones más externas.

Para entender lo que ocurrió después, debemos echar un vistazo al interior más profundo de la protoestrella. A medida que avanza la contracción de la protoestrella en su núcleo aumentan la temperatura y la presión. Entonces nos encontramos con una materia tan comprimida en el centro por el peso de todo el material que hay encima que la presión equivale a varios miles de atmósferas (atmósfera o “bar” = unidad de presión del aire al nivel del mar) y la temperatura alcanza varios millones de grados debido al calentamiento del gas estelar que provoca la contracción. Estas dos condiciones son suficientes para provocar una reacción termonuclear que funde dos átomos de hidrógeno en uno de helio. En este proceso se libera una increíble cantidad de energía en varios pasos que no voy

a relatar para no complicar esta historia sobre el nacimiento de una estrella.

La enorme energía liberada por la fusión de los átomos de hidrógeno (H) para convertirse en helio (He) queman, a su vez, todo el H del núcleo para convertirlo en He. Así se crea una energía equivalente a la explosión de varios millones de toneladas de TNT. La reacción nuclear de H en He se producen además de He, neutrinos y fotones. Éstos dos últimos salen el exterior de la estrella después de un largo periodo y son los que llevan consigo la energía. Esta nueva energía empujará la materia hacia fuera contrarrestándose así la enorme fuerza de gravedad que empuja hacia dentro. En el momento que los primeros fotones llegan a la superficie y escapan a la velocidad de la luz, la estrella acaba de nacer regalando generosamente sus primeros rayos de luz al Universo cien millones de años después de que la nube primigenia empezara a colapsar sobre sí misma... Ha nacido una estrella.

A su alrededor mientras tanto se ha formado un disco de materia en el plano ecuatorial de la recién nacida estrella. En este disco encontramos partículas diminutas de todo tipo de elementos. En las regiones más externas, donde la temperatura es muy baja incluso encontramos grandes cantidades de partículas de hielo.

El nacimiento de nuestra joven estrella va a tener importantes repercusiones sobre su entorno. Junto a la energía la estrella irradia constantemente un chorro de partículas energéticamente cargadas llamado “viento estelar” o “viento solar” si se trata de nuestro Sol. Este

viento estelar va a barrer literalmente su entorno llevándose consigo a todas las partículas inferiores a un centímetro. En las fotografías que recientemente nos ha aportado el telescopio espacial Hubble (HST) se puede ver como en la Nebulosa de Orión hay una gran cantidad de sistemas estelares en los que acaba de nacer una estrella y cómo a su alrededor se ha creado un disco de materia.

Durante los primeros millones de años de vida de la estrella la actividad es realmente frenética y su viento estelar es, consecuentemente, muy intenso. Todo el material que el viento estelar no pudo barrer pudo desaparecer debido a la gravedad de la propia estrella o a factores externos como influencias de otras estrellas o supernovas.

Pero si el material permanece con el tiempo se va concentrando en pequeñas motas de polvo. Estas tienen un poco más de fuerza gravitatoria que su entorno inmediato, por lo que atrae un poco más a la partícula vecina. A medida que aumentan su tamaño, las motas de polvo adquieren más poder gravitatorio y, por ende, un radio de acción o influencia mayor. De esta manera, y con el paso de millones de años se van formando por agregación los planetesimales; pequeños cuerpos celestes que van aumentando sus dimensiones. Unos cien millones de años después de la formación del disco protoplanetario se formaron los planetas y las estructuras esenciales tal y como las conocemos hoy. Pero aún sufrirían muchos cambios superficiales. La densidad de pequeños fragmentos que vagan entre los cuerpos mayores es muy elevada y durante los primeros 400 millones de años la actividad meteorítica es muy intensa en el interior del Sistema Solar.

De nuevo hemos de esperar algunos millones de años para apreciar que esta actividad se calma. Para entonces los planetas mostrarán sus múltiples cicatrices y, a lo mejor, alguno de ellos acumula agua y una atmósfera protectora en la que se pueda desarrollar la mayor maravilla del Universo: la Vida.

Un factor muy importante para la Vida (para nosotros lo ha sido) es la estabilidad de la estrella asociada.

Después de su “infancia” muy activa, la estrella se calma y entra en una fase de consumo/actividad continuo. Transcurren de esta manera, sin sobresaltos, los próximos 9.000 millones de años para una estrella “del montón” como lo es el Sol. Durante esta etapa la estrella permanece en lo que se ha denominado “secuencia principal” del famoso diagrama de Hertzsprung-Russel. Pasado este enorme espacio de tiempo el astro envejece quemando sus reservas de hidrógeno a la razón de ¡varios trillones de toneladas por segundo! Con este consumo hay un momento en el que a la estrella se la tiene que acabar el combustible. ¿Y qué ocurre entonces? La estrella no quiere morir todavía y busca alternativas. La más factible es empezar a utilizar el helio que estuvo generando durante los últimos 9.000 millones de años. Ello implica, sin embargo una pérdida en la efectividad generadora de energía, por lo que el astro se ve forzado a aumentar su ritmo de producción si quiere mantener su actual estado. El núcleo de la estrella se contrae aumentando la temperatura y la presión para mantener la producción energética y las

capas exteriores se expanden con su consecuente enfriamiento (fase de gigante roja). La estrella comienza a aumentar su tamaño. Si nuestro astro tiene planetas a su alrededor, éste va a ser su fin. El Sol, por ejemplo, se hinchará hasta tragarse a Mercurio primero, a Venus después y.. ¿a la Tierra?. Seguramente a nuestro querido planeta (que para entonces no presentara ni el menor rasgo de vida o agua) será un planeta cuya corteza asemeje a lava recién expulsada por un volcán; una Tierra en la que el Sol ocupará la mayor parte del firmamento y en la que la temperatura superficie supera los 1.000° C., que correrá la misma suerte que sus vecinos interiores.

El extraordinario hinchazón de la estrella causará un enfriamiento de su superficie al haber aumentado las dimensiones del astro sin que se genere más energía. Cuando la estrella ha quemado la mayor parte del H y He la energía producida por las reacciones termonucleares no es suficiente para frenar la contracción gravitatoria. La estrella se vuelve roja (como ya vimos antes), igual que un hierro incandescente pasa de colores blanco azulados al rojo cuando se enfría, antes de apagarse. En este estado de un astro se le llama “gigante roja”. Los más fa-

mosos ejemplos son Betelgeuse en Orión y Antares en Scorpius.

Durante este proceso la estrella vuelve a calentarse debido a la contracción, la cual provoca una mayor presión y temperatura que, a su vez son responsables de un aumento de producción energética. La estrella vuelva a aumentar su tamaño.

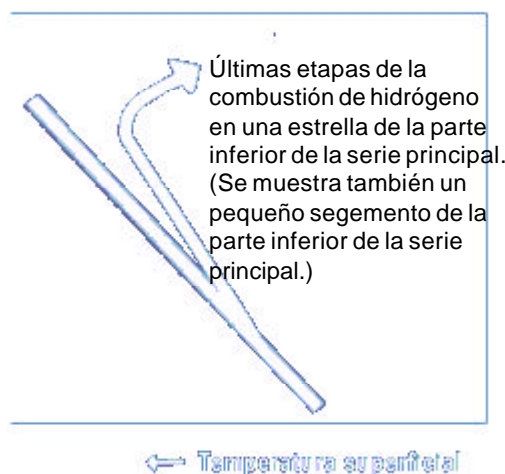
Este estadio de inestabilidad en su etapa como gigante roja no dura mucho tiempo. A lo sumo algunos millones de años. La utilización del helio para convertirlo en otros metales más pesados en las capas externas del núcleo no es suficiente para mantener a la estrella que empieza a colapsar. Aún así, la estrella conserva todas sus envolturas y su atmósfera, si bien la composición y distribución cambian respecto a la composición inicial

La estrella sufre en sus etapas finales grandes periodos de inestabilidad. La falta de combustible disponible ocasionará una especie de infarto a nuestro astro, si bien esto es ya materia del siguiente episodio de El Universo.

### La muerte de una estrella

En el último episodio de “El Universo” dejamos a nuestra estrella agonizando...

Como ya vimos las estrellas más masivas consumen su energía con mayor rapidez y debido a ello sus vidas son más cortas. La evolución estelar viene determinada por su masa y composición química inicial, si bien el parámetro principal es el primero pues establece más que ningún otro su desarrollo y muerte decidiendo si nuestro astro va a perecer como enana blanca, estrella de neutrones, pulsar, o como un agujero negro.



Las estrellas pasan la mayor parte de su vida quemando hidrogeno y helio en equilibrio hidrostático (1). Consumido el 10% del hidrogeno del núcleo, empiezan a producirse cambios bruscos en el interior ya que el centro se contrae aumentando su temperatura y presión y las capas exteriores se expanden y enfrían pasando la estrella a la fase de gigante roja. La temperatura del interior alcanza los 100 millones de grados Kelvin y empezando entonces a quemar helio en el corazón estelar e hidrogeno alrededor del mismo en las llamadas “capas fuentes” .

A partir de este momento el proceso evolutivo depende mucho de la masa de la estrella. Veamos cuales son los diferentes finales posibles. Podemos distinguir entre: estrellas poco masivas (menos de 8 masas solares) que pueden pasar por una fase de nebulosa planetaria antes de morir como enanas blancas (a este grupo pertenece nuestro Sol) y estrellas muy masivas (de mas de 8 masas solares) que pasan por la fase de supernova para morir como estrellas de neutrones o agujeros negros.

### **Estrellas de menos de 8 masas solares**

La materia en el interior del núcleo es muy densa y su temperatura extremadamente elevada. Bajo estas condiciones los átomos están ionizados (2) y forman un plasma compuesto por los propios iones y electrones. La transformación de helio en carbono se produce de forma explosiva aumentando mucho la luminosidad de la estrella (llamado “flash de helio”). Una vez iniciada la reacción, el núcleo se expande, las capas exteriores se contraen y

disminuyen su temperatura y luminosidad. Acto seguido la estrella se estabiliza y sigue su interacción de forma gradual obedeciendo la ley de los gases ideales. Alrededor del corazón estelar la reacción del helio también se produce de forma explosiva en las capas fuentes y produce inestabilidades debido a pulsos térmicos que hacen que la estrella empiece a oscilar. Estas oscilaciones provocan que las capas externas se separen del núcleo formándose lo que denominamos como “nebulosa planetaria”. Esta fase suele durar unos 100.000 años. Las nebulosas planetarias pueden tener forma esférica o irregular. Pero no todas las estrellas poco masivas pasan por esta fase. Después de que las capas se hayan separado podemos ver que en el centro queda un objeto muy caliente que es el remanente del núcleo de la gigante roja o supergigante: una enana blanca. Ésta emite radiación ultravioleta que llega a la nebulosa excitándola y haciéndola brillante. Finalmente, con el tiempo, la nebulosa se expande y diluye en el medio interestelar quedando solo la enana blanca como resto perceptible de la antigua estrella.

### **Enanas blancas**

Las enanas blancas tienen una masa inferior a 1.4 masas solares (límite de Chandrasekhar), un tamaño parecido al de un planeta y su densidad es muy elevada. Tan elevada, que para hacernos una idea debemos poner como ejemplo a un cm<sup>3</sup> de materia que pesaría una tonelada.. En ellas ya no se producen reacciones nucleares y radian debido a su energía interna puesto que son cuerpos tremendamente calientes. Las enanas blancas viven mucho tiempo y se van enfriando poco a poco hasta que acaban como ena-

nas negras. Éstas últimas aún no se han observado nunca por lo que su existencia es meramente teórica hasta que los nuevos métodos e instrumentos de observación nos permitan detectarlas.

Las enanas blancas son astros conocidos desde 1.862 cuando el Sr. Bessel detectó una en Sirio. Desde 1.844 este astrónomo detectó anomalías en el comportamiento de la más brillante de todas las estrellas del firmamento nocturno y pronto se dio cuenta de que algo debía perturbar a la estrella principal de Canis Mayor. Según sus cálculos este objeto perturbador debía tener una masa entre el 75% y el 95% de la de nuestro Sol. Asimismo pensó que dicho elemento no debía brillar mucho al no haberse detectado en observaciones anteriores. En 1.914 Adams descubrió con ayuda del espectro de Sirio B que la estrella tiene tres veces la temperatura del Sol y que, por tanto, corresponde a una estrella blanca. Dado que la energía total irradiada es la cuarta potencia de su temperatura, cada cm<sup>2</sup> de su superficie brilla con una intensidad 30 a 80 veces superior a la de nuestro astro rey.

Pero al ser una compañera tan poco luminosa (no observada antes con los más potentes telescopios de la época), se supuso que Sirio B tenía que ser mucho más pequeña que las estrellas hasta entonces conocidas. Adams demostró que así era en 1928 cuando concluyó que el desplazamiento al rojo mostrado por el espectro de Sirius B esta en relación directa entre la masa y el radio estelar, tal y como predijo la teoría general de la Relatividad.

La materia dentro de la enana blanca esta muy enrarecida ya que los átomos están ionizados; es decir que han perdido uno o más elec-

trones. Éstos últimos y los núcleos atómicos componen la materia de nuestra pequeña estrella. A medida que pasa el tiempo

la temperatura de la estrella disminuye, las fuerzas electrostáticas entre iones y electrones empiezan a actuar y la enana blanca adquiere una estructura cristalina. Se puede decir que llega a alcanzar una fase sólida y tiene propiedades similares a las de un metal. En la fase final de su vida no son mas que objetos inertes y fríos compuestos por carbono y oxígeno cristalizado.

**Estrellas muy masivas (más de 8 masas solares).**

En estas estrellas la reacción de fusión del helio se produce de forma gradual y no explosiva como en el caso anterior. Después de esta transformación otras reacciones nucleares se siguen produciendo en el núcleo y en torno a él en las capas fuente, de manera que se van formando elementos más pesados como el neón, oxígeno, silicio o, hierro. La estrella esta en la fase de supergigante. Para hacernos una idea del tiempo que una estrella permanece quemando los diferentes elementos veamos la siguiente tabla:

Ejemplo para masa=25 masas solares

FUSION DEL	DURACION (AÑOS)	TEMPERATURA (K)	DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )
FUSION DEL H	7 x 10 <sup>6</sup> (7 millones)	4 x 10 <sup>7</sup>	5 x 10 <sup>3</sup>
FUSION DEL He	7 x 10 <sup>5</sup>	2 x 10 <sup>8</sup>	7 x 10 <sup>5</sup>
FUSION DEL C	600	6 x 10 <sup>8</sup>	2 x 10 <sup>8</sup>
FUSION DEL Ne	1	1.2 x 10 <sup>9</sup>	4 x 10 <sup>9</sup>
FUSION DEL O	6 meses	1.5 x 10 <sup>9</sup>	1 x 10 <sup>10</sup>
FUSION DEL Si	1 día	2.7 x 10 <sup>9</sup>	3 x 10 <sup>10</sup>

En este estadio la estrella tiene un núcleo con estructura de cebolla, produciéndose en cada capa reacciones nucleares. Después del hierro (fe) ya no se pueden generar más reacciones, puesto que la tem-

peratura es demasiado elevada y se empiezan a originar procesos y reacciones como la fotodescomposición del hierro que absorben energía en vez de emitirla. El núcleo no puede soportar el peso de las capas mas externas y colapsa . La materia cae sobre el interior y salen rebotadas hacia el exterior al encontrarse con un “escudo” impenetrable, produciendo una enorme explosión que expulsa las capas externas de la estrella al medio interestelar a velocidades increíbles, liberando una tremenda energía, visible incluso desde otras galaxias.

Esta explosión es conocida como supernova y durante la duración de la misma la estrella libera tanta energía como lo hizo en todos los años anteriores de su vida, brillando 1.000 millones de veces más que antes. Es decir, la estrella brilla tanto como toda la galaxia a la que pertenece. La velocidad de expansión del material eyectado alcanza los ¡10.000 km/s!. O lo que es lo mismo que decir que la materia alcanzaría el límite externo de nuestro Sistema Solar (si del Sol se tratara) en un solo día. En comparación las naves Pioneer y Voyager llevan más de 20 años viajando y aún no han llegado a los últimos confi-

transparente, viéndose por siglos una nebulosa como la supernova del cangrejo (M1) en Taurus, los velos en Cygnus o la SN1987A en la Gran Nube de Magallanes.

Las supernovas se pueden detectar con telescopios ópticos, radiotelescopios y telescopios de rayos x. Los remanentes de las supernovas se suelen mostrar como cáscaras huecas de gas en expansión. Si la estrella que explota es miembro de un sistema binario, su compañera queda literalmente destrozada y su resto es lanzado hacia las profundidades del espacio. Como ejemplo práctico podemos mencionar que se cree que 50 Arietis, AE Aurigae y μ Columbae son tres estrellas “fugitivas” que en su día fueron arrojadas por una estrella moribunda en Orión, componente de un sistema estelar cuádruple .

La media de supernovas en galaxias de tamaño medio es de una por siglo. En nuestra propia Vía Láctea ha habido varias que el ser humano ha podido registrar, aunque con otras no pudiera hacerlo por encontrarse en el lado opuesto de la galaxia u ocultas por nubes de polvo interestelar. En la mayoría de las ocasiones la supernova tornó visible a una estrella débil o muy débil. Por lo que recibía el nombre de “estrella nueva” (stella nova):

Estas son las supernovas que ha podido contemplar y registrar el hombre en La Vía Láctea.

Hasta ahora no hemos mencionado que existen dos tipos de supernovas llamados sencillamente “tipo 1” y “tipo 2”. Las de tipo 2 son las que hemos descrito anteriormente y que provienen de la explo-

nes de nuestro sistema planetario ni mucho menos. Transcurridos varios años de la explosión de supernova inicial las capas más externas de la ex estrella se han expandido tanto que el gas estelar se diluye y vuelve

Estas son las supernovas que ha podido contemplar y registrar el hombre en La Vía Láctea.

Año de observación	Constelación	Duración	Magnitud
185	Centaurus	20 meses	-8,0m
393	Scorpius	8 meses	-1,0m
1006	Lupus	2 años	-8m a 10m
1054	Taurus	2 años	-3,5m
1181	Cassiopeia	6 meses	-1m
1572	Cassiopeia	483 días	-4m
1604	Ophiuchus	1 año	-2,6m

sión de estrellas muy masivas. Las de tipo 1 provienen de la deflagración de estrellas en sistemas binarios cuando se ha transferido gran cantidad de masa de una estrella a la otra. Ambas se

distinguen entre sí con facilidad por tener curvas de luz distintas. (Ver figuras 1 y 2. ) Cualquier aficionado interesado puede participar en campañas de observación de supernovas y ver de cual de los dos tipos se trata. Como curiosidad podemos mencionar que diversas observaciones de astrofísicos indican que las supernovas del tipo 1 no muestran líneas espectrales en la banda del hidrógeno, cosa que sí ocurre en las supernovas de tipo 2.

Como hemos visto, después del estallido, queda un objeto en el lugar que ocupaba el núcleo de nuestra estrella gigante ,cuyo destino va a estar determinado por su masa. Si la masa es entre 1.4 y 3 masas solares tendremos una estrella de neutrones. pero si la masa supera los 3 masas solares el objeto seguirá contrayéndose formando un agujero negro.

**Tipo I. Son las que el brillo aumenta de 0.2 a 0.5 magnitudes por día y en las que el descenso es muy brusco en los primeros días y ( 3 mag. en 20 a 40 días)**

**Tipo II. En este tipo el descenso es menos rápido ( 1 mag. en 20 días) y después mucho mas lento e irregular.. Las desviaciones de este esquema son , sin embargo , frecuentes.**

### **Estrellas de neutrones o pulsares**

Las estrellas de neutrones son muy pequeñas. Su tamaño oscila entre 15 y 20 km. de diámetro. Debido a este minúsculo tamaño su densidad es enorme: del orden de  $4 \times 10^{17}$  kg/m<sup>3</sup>.

Para hacernos una idea más concreta podemos imaginar que el Sol (1.000.000 de veces más grande que nuestro planeta) se convirtiera en una estrella de neutrones. Entonces nuestro astro rey tendría el tamaño de la Tierra y su materia sería un billón de veces más densa que el agua. En otras palabras una cucharada de materia de este "Sol de neutrones" pesaría un millardo de

toneladas. Tanta masa en un volumen tan pequeño hace que la fuerza gravitacional sea monumental y una persona de estatura media pesaría allí unos cien millardos de toneladas.

La superficie de nuestro cadáver estelar es de hierro y sólo debido a que el intenso campo magnético polimeriza a estos átomos se crea una estructura férrea 1.000.000 veces más dura que el mejor acero de la Tierra. Cabe decir como curiosidad que esta superficie es, dadas sus específicas características, un superconductor eléctrico en dirección de las líneas del campo magnético y en direcciones perpendiculares a la misma un magnífico aislante. Por debajo de la superficie de hierro nos encontramos con una

importante cantidad de núcleos atómicos que no son radioactivos. A medida que nos adentramos hacia el interior de la estrella de neutrones, la densidad aumenta. Alcanzados una densidad 400 millardos de veces superior a la del agua los núcleos atómicos ya no pueden seguir creciendo, por lo que se dan neutrones solitarios que circulan entre los núcleos atómicos. Pero si la densidad sigue aumentando los núcleos atómicos se rompen y se crea un superfluido de neutrones que no tiene viscosidad alguna. Esto ya ocurre a pocos kilómetros por debajo de la superficie y hasta este punto la ciencia puede explicar lo que acontece a la materia de una estrella de neutrones. A partir de aquí cruzamos el umbral de lo desconocido. Se cree que el

núcleo esta formado por piones e hiperiones en estado conjunto líquido o sólido, si bien se especula también con la existencia de quarks solitarios, pero esto es algo que aún nos tienen que aclarar nuestros expertos en física cuántica.

millones de veces el de la superficie terrestre. Los púlsares no emiten radiación térmica por lo que son muy difíciles de ver.

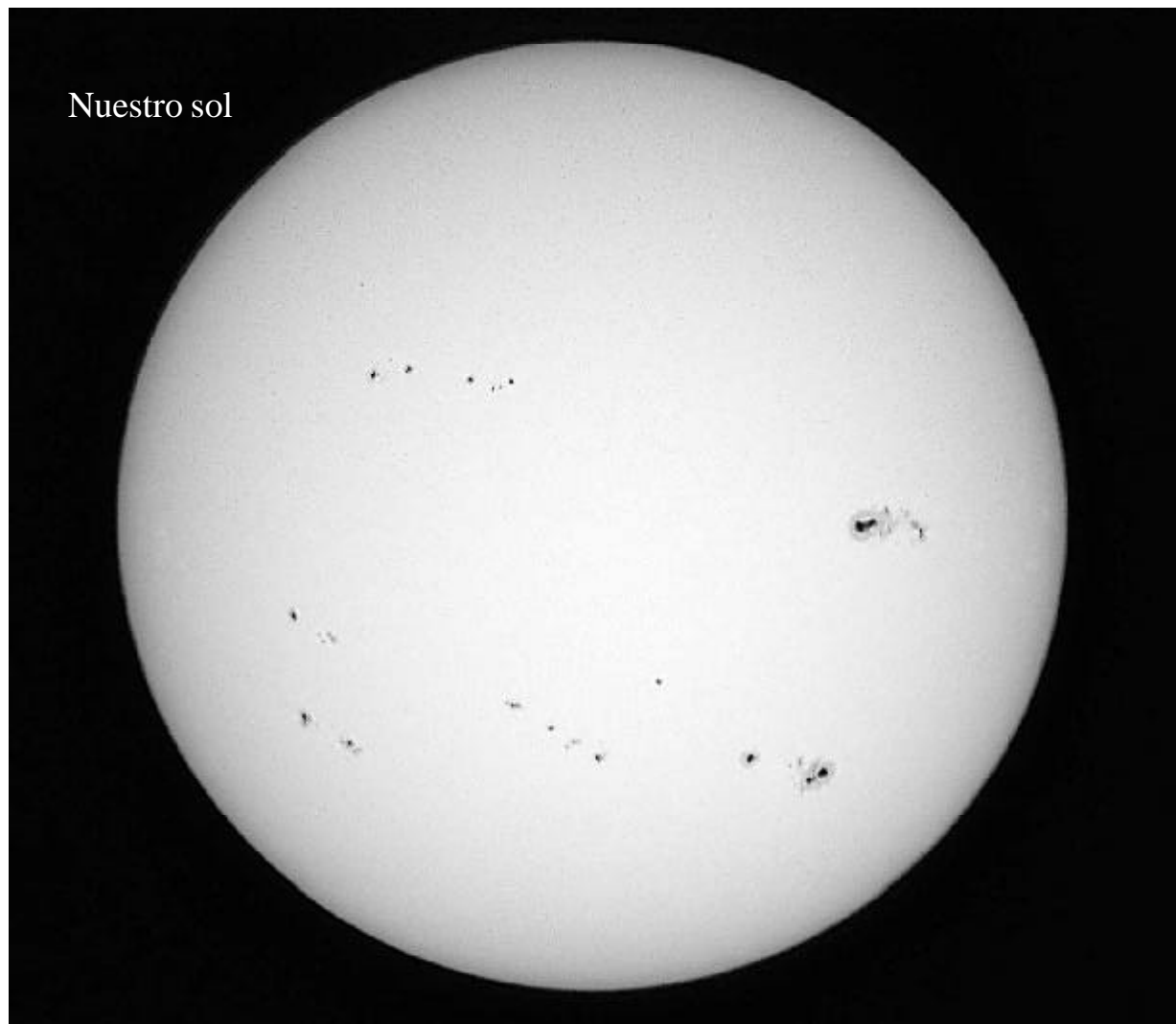
Los púlsares se descubrieron por casualidad al detectarse una serie de pulsos periódicos cada 1337

lla escapando por los polos produciendo radiación sincrotrón. Esta radiación solamente va en la dirección del eje del campo magnético. Cuando nuestra línea de visión intercepta el eje del campo magnético recibimos la radiación. Cada vez que

hace un giro volvemos a verla. Solo los pulsares cuyo eje magnético coincide con nuestra visual pueden ser detectados. Poco a poco la rotación se va haciendo más lenta con el tiempo, aumentando su periodo de revolución.

Conocemos unos 500 pulsares y todos ellos aparecen en lugares donde con anterioridad

hubo supernovas. Pero su edad de más de un millón de años no nos permite ver a ésta puesto que en este espacio de tiempo ya se han desvanecido totalmente los remanentes de la supernova. En los 50 años que se les lleva investigando poco se ha averiguado de ellos, salvo que tienen periodos de rotación realmente asombrosos tanto por su velocidad como por su exactitud. De todos los púlsares que se conoce se ha averiguado que sus velocidades de giro



La estrella de neutrones es un rápido rotador debido a la conservación del momento angular que evita que la estrella se descomponga. Después de la explosión de supernova el tamaño de nuestra estrella inicial que estaba girando, se ha reducido drásticamente por lo que la velocidad de giro de nuestro pequeño astro tiene que aumentar mucho. El periodo de rotación típico es de 1 segundo.

También tienen un fuerte campo magnético del orden de 100.000

segundos en radioemisión. Como parecía que pulsaban los llamaron pulsares. pero en realidad no pulsan. Como la estrellas de neutrones giran tan rápidamente y tienen un campo magnético muy intenso. Existe un cierto ángulo entre el eje de rotación y el eje magnético. Los electrones son acelerados a velocidades relativistas a lo largo de las líneas del campo magnético describiendo trayectorias helicoidales y salen así a la superficie de la estre-

oscilan entre  $\frac{1}{4}$  de segundo hasta  $\frac{1}{16000}$  de segundo. Increíble, ¿verdad? Estos giros rotacionales son, además, tremendamente exactos. Tanto es así que los mejores relojes atómicos son un millón de veces más inexactos (imperfectos) que estas estrellas de neutrones pulsantes. Nuestro conocimiento es escaso, si bien con el tiempo la Ciencia nos podrá aclarar los misterios de estos objetos que pueblan el cosmos.

### **Agujeros negros**

Si después de la explosión de supernova la masa que queda es superior al límite de Oppenheimer-Volkoff de 3 masas solares, nuestro objeto sigue colapsando hasta convertirse en un punto de densidad infinita o agujero negro. Éstos son objetos muy poco conocidos. Los agujeros negros se caracterizan por su masa, su momento angular, por la ausencia de campo magnético y carga eléctrica.

Se puede calcular el radio al que debería contraerse un objeto para convertirse en un agujero negro (llamado radio de Schwarzschild) si se multiplica la masa ( $m$ ) con el doble de la constante gravitacional ( $g$ ) y se divide por el cuadrado de la velocidad de la luz en el vacío ( $c^2$ ), quedando la fórmula de la siguiente manera:

$$RS=2Gm/c^2$$

Si nuestro astro rey se convirtiera en un agujero negro, su tamaño se vería reducido de los 1.390.404 kilómetros a un tamaño aproximado de 2,95 Km. Un segundo ejemplo sería que nuestro privi-

legiado lugar en el Cosmos, la Tierra, se convirtiera hipotéticamente en un agujero negro alcanzaría el asombroso tamaño de 0,89 centímetros. Algo realmente impresionante.

Un agujero negro emite mucha energía, pero su gravedad es tan descomunal que absorbe inmediatamente la radiación emitida. Solamente las cosas situadas más allá del límite de influencia gravitacional del agujero negro, llamado "horizonte de sucesos" es relevante para un observador externo. Todo lo que ocurre en el interior no influye para nada al exterior, jamás. Los agujeros negros son objetos de difícil comprensión para la mente humana y la Ciencia tiene mucho que aprender de ellos todavía.

(1) Una estrella esta en equilibrio hidrostático cuando es estable, es decir, las fuerzas gravitatorias que tienden a contraerla están equilibradas con las fuerzas de presión generadas en el interior que tienden a expandir al astro.

(2) *Es decir, los electrones ya no están unidos a los iones.*

**Lectura recomendada: "El origen del Sistema Solar"**  
**De Josep Ma<sup>a</sup> Trigo Rodriguez**  
**Editorial Complutense**

### **ATRIBUIDO A EINSTEIN**

«A través del descargo de energía atómica, nuestra generación ha traído al mundo la fuerza más revolucionaria desde el descubrimiento del hombre prehistórico del fuego. Esta fuerza básica del universo no puede encajarse en el concepto pasado de moda de nacionalismos estrechos. Allí no hay ningún secreto y no hay ninguna defensa; no hay ninguna posibilidad de control excepto a través de la comprensión despertada e insistente de las personas del mundo. Nosotros, los científicos, reconocemos nuestra responsabilidad ineludible de llevar a nuestros conciudadanos a una comprensión de la energía atómica y su implicación en la sociedad. En esto queda nuestra única seguridad y nuestra única esperanza, nosotros creemos que una ciudadanía informada actuará por la vida y no para la muerte.»