

# NADA ES ETERNO

## VIDA Y MUERTE DE NUESTRA GALAXIA

Enric Marco

En una noche tranquila, sin nubes ni Luna y, sobre todo, lejos de la contaminación lumínica de la ciudad, la belleza del firmamento nos fascina. Por ello, ya desde la antigüedad, el ser humano pensó que este debía ser obra de los dioses y asoció las constelaciones a sus mitos.

La franja blanquecina que cruza el cielo tenía que tener un origen mítico, pensaron. Zeus había yacido con la mortal Alcmena mientras su marido Anfitríon estaba ausente. El fruto de esta infidelidad, Heracles (más conocido como Hércules), fue su hijo preferido a pesar de Hera, su esposa. Pero se podía convertir en ser inmortal si mamaba de los pechos de la diosa. Así pues, Hermes, por encargo de Zeus, aprovechó que Hera dormía para dejar a Hércules a su lado. Hera se despertó sobresaltada al verlo mamando y lo apartó violentamente. Sin embargo la leche que ya salía se esparció desde el Olimpo por todo el firmamento. Así nació mitológicamente la Vía Láctea, o camino de la leche de Hera, que ha fascinado e intrigado tanto a los poetas como a los astrónomos a lo largo de los siglos.

Una observación minuciosa de la Vía Láctea permite ver zonas brillantes, descomponibles en estrellas, que se alternan con otras zonas oscuras que son nebulosas de gas y polvo, como el Saco de Carbón. En lugares sin contaminación lumínica también podemos distinguir cúmulos estelares a simple vista, mientras que desde el hemisferio sur destacan dos nebulosas brillantes separadas de la Vía Láctea: la Pequeña y la Gran Nube de Magallanes.

Galileo Galilei observó por primera vez la Vía Láctea con un telescopio a finales del 1609 y principios de 1610. Vio cómo el fondo blanquecino se resolvía en miles de estrellas. Pero fueron Immanuel Kant y Thomas Wright, en el siglo XVIII, quienes propusieron que era realmente un disco de estrellas, del cual el Sistema Solar solo era un componente. William Herschel, en 1780, y Jacobus C. Kapteyn, en 1922, hicieron los primeros mapas de la ga-

**«LA INVESTIGACIÓN SOBRE LA VÍA LÁCTEA NO AVANZÓ MUCHO HASTA QUE NO SE ENCONTRÓ UN MÉTODO FIABLE PARA ESTIMAR LAS DISTANCIAS. EL DESCUBRIMIENTO DE LA RELACIÓN PERÍODO-LUMINOSIDAD DE LAS ESTRELLAS CEFIDAS PERMITIÓ CONOCER, FINALMENTE, LA PROFUNDIDAD DE LA GALAXIA»**

laxia después de contar las estrellas de muchas regiones del cielo.

La investigación sobre la Vía Láctea no avanzó mucho hasta que no se encontró un método fiable para estimar las distancias. El descubrimiento de la relación período-luminosidad de las estrellas cefeidas, en 1912, conseguido por Henrietta Swan Leavitt, del Harvard College Observatory, permitió conocer, finalmente, la profundidad de la galaxia. La astrónoma encontró en la Pequeña Nube de Magallanes una correlación entre el período de variación de la luminosidad de estas estrellas y su luminosidad intrínseca. La luz de las variables cefeidas fluctúa en períodos más largos cuanto más brillantes

son. Si sabemos lo que brilla una cefeida vista desde la Tierra y conocemos su brillo real a partir de la medida de su período seremos capaces de calcular la distancia.

Sin embargo, quedaba una gran duda: ¿la Vía Láctea es todo el universo o es solo una galaxia de un conjunto enorme de galaxias? Harlow Shapley, que había desplazado el Sol a las afueras de la galaxia tras observar multitud de cefeidas por todo el cielo, pensaba en una única gran galaxia, mientras que Heber Curtis sostenía que la Vía Láctea era una de tantas. En 1920 se llegó a hacer un gran debate público para argumentar las dos posiciones. Poco tiempo después Edwin Hubble observó cefeidas en la nebulosa de Andrómeda y obtuvo la distancia. Esta era tan grande que se hubo de concluir que muchas de las nebulosas visibles eran otras galaxias muy lejanas.

### ■ ESTRUCTURA ESPIRAL

Desde la Tierra, la Vía Láctea se nos presenta plana y alargada porque tiene forma de disco. De hecho la forma es muy similar a otras galaxias y eso se ha podido comprobar a partir de los datos en infrarrojo del satélite COBE, y con observaciones en radio, por ejemplo. Nuestra es-

A la izquierda, la Vía Láctea desde Pinar de Araceli, en la Puebla de Don Fabrique (Granada). Se observa Júpiter a la izquierda.



trella se encuentra bastante apartada, a unos 26.000 años luz del centro galáctico.

El disco galáctico es muy delgado, ya que tiene 100.000 años luz de diámetro y solo 1.000 de grosor. Compuesto fundamentalmente por gas hidrógeno, polvo y estrellas jóvenes, está estructurado en un conjunto de cuatro brazos espirales que, en forma de perfecta espiral logarítmica, se encuentran alrededor del centro galáctico. En estos la densidad del gas y del polvo es mayor que la media, lo que favorece la formación estelar. Sin embargo, recientemente se han encontrado indicios de que realmente solo hay dos brazos.

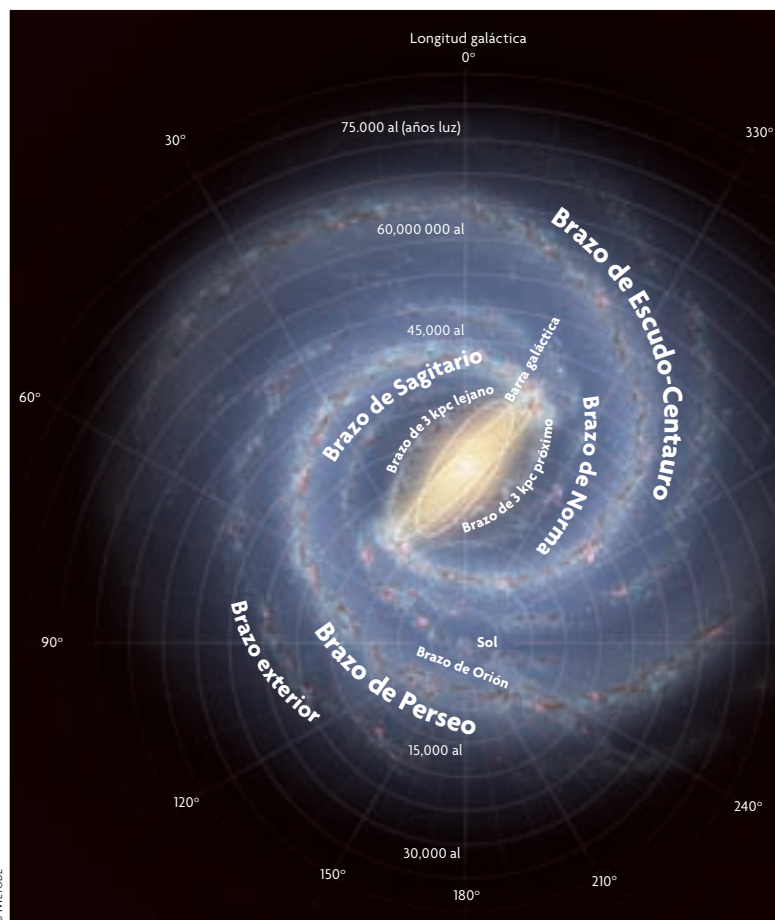
En 1996 se propuso que la estructura galáctica central en donde se articulan los brazos no es esférica, como se pensaba hasta entonces, sino que tiene forma de barra, como se observa en otras galaxias. Estas sospechas se confirmaron el año 2005 con las observaciones en el infrarrojo del telescopio espacial Spitzer.

Según la teoría más aceptada parece que los brazos espirales son una ilusión y que no representan ninguna estructura móvil. Si lo fuera, como la velocidad de rotación de la galaxia es diferencial, es decir, mayor cerca del centro y progresivamente menor en las regiones exteriores, tras unas pocas rotaciones los brazos se curvarían y se enrollarían cada vez más hasta desaparecer. Eso, sin embargo, no se observa. Las teorías modernas más bien ven los brazos como ondas de densidad. Todo el material galáctico del disco va girando, pero se frena y se concentra en algunas zonas de la misma manera que los coches se mueven rápido y frenan en un embotellamiento. En este disco, pues, el Sol atraviesa los brazos y se mueve en una órbita elíptica de unos 240 millones de años de duración, con perturbaciones causadas por las distribuciones de masas cambiantes. Este hecho ha llevado a especular sobre su influencia en los cambios climáticos en la Tierra y las extinciones en masa de especies.

A finales del 2013 será lanzada la misión Nesga de la ESA para censar mil millones de estrellas de nuestra galaxia, un 1% del total, y determinar con precisión su magnitud, posición, distancia y desplazamiento. Tras los cinco años de la misión tendremos, seguro, una nueva y más exacta visión del disco.

Contrariamente al disco, el centro galáctico o bulbo tiene una estructura esferoidal de unos 10.000 años luz de diámetro. Es una zona muy rica de estrellas, de edades distintas, desde estrellas jóvenes de 200 millones de años hasta estrellas viejas de más de 7.000 millones de años.

**«PARECE QUE LOS BRAZOS ESPIRALES SON UNA ILUSIÓN Y QUE NO REPRESENTAN NINGUNA ESTRUCTURA MÓVIL. SI LO FUERA, DESPUÉS DE UNAS POCAS ROTACIONES LOS BRAZOS SE CURVARÍAN Y SE ENROLLARÍAN CADA VEZ MÁS HASTA DESAPARECER»**



Esquema de la Vía Láctea.

### ■ UN AGUJERO EN EL CENTRO DE LA GALAXIA

Desde la posición que ocupa el Sol en la galaxia el centro es muy difícil de estudiar. Situado en la dirección de la constelación de Sagitario, se encuentran nebulosas oscuras que absorben la luz de las estrellas que están detrás e impiden estudiarlas con las técnicas convencionales. El centro galáctico se tiene que observar desde telescopios terrestres y desde el telescopio Spitzer en radiación infrarroja y también mediante radiotelescopios.

A las frecuencias de infrarrojo, microondas o radio, y también en rayos X y rayos gama, es posible atravesar estas capas de polvo y gas y revelar el objeto que se encuentra en el centro. Bruce Balick y Robert Brown descubrieron en 1974 una intensa fuente de radio, llamada Sagitario A\*, de naturaleza totalmente desconocida. La densidad de estrellas en el núcleo galáctico es real-



© NASA/CXC/MIT/F. Baganoff, R. Stcherbakov et al.

mente alta y las estrellas parecen comportarse como un gas isoterma. Rainer Schödel, Reinhard Genzel y colaboradores han estudiado sistemática y minuciosamente el movimiento de las estrellas situadas a muy poca distancia (miles de unidades astronómicas<sup>1</sup>) del centro. En particular describieron la estrella S2 con un período orbital de 15,2 años y una distancia mínima en el centro galáctico de solo 120 UA, es decir de 17 horas luz, un poco más de tres veces el semieje mayor de la órbita de Plutón. Una órbita tan pequeña, con un período tan corto, tan solo puede ser causada por un cuerpo muy compacto. Con estos datos, la aplicación de la tercera ley de Kepler, por la cual, si se conoce la distancia al centro galáctico y el período de revolución de la estrella, se obtiene directamente la masa del cuerpo central, revela que el misterioso objeto situado en el centro de la galaxia es, en realidad, un agujero negro supermasivo de unos 4,1 millones de masas solares. Observaciones recientes indican que el radio mide solo 6,25 horas luz, es decir, como la órbita de Urano.

La existencia de un agujero negro supermasivo se ha revelado como usual en la mayoría, si no todas, de las galaxias espirales y elípticas. La explicación de este hecho, según las teorías actuales, habría que buscarla en el colapso de estrellas supermasivas o bien en el resultado de la colisión entre galaxias.

El último componente luminoso de la galaxia es el halo que rodea las anteriores estructuras y que está for-

<sup>1</sup> Cada unidad astronómica (UA) equivale a la distancia entre la Tierra y el Sol.



La misión Gaia cartografiará las estrellas de la Vía Láctea.

mado, como mínimo, por 150 cúmulos globulares y por estrellas de campo con grandes velocidades y órbitas perpendiculares al plano galáctico.

Los cúmulos globulares están formados por cientos de miles de estrellas agrupadas en forma esférica en un volumen de pocos años luz. El ejemplo más conocido es M13, situado en la constelación de Hércules. Harlow Shapley demostró que la distribución de los cúmulos globulares es muy homogénea alrededor del centro galáctico. Prácticamente todos se encuentran en una esfera de 137.000 años luz del centro.

La característica principal de sus estrellas es el bajo contenido en elementos pesados, o baja metalicidad, lo cual indica su vejez, ya que no han sido contaminados por explosiones supernova anteriores. No nos tiene que extrañar, por tanto, que el más «joven» de los cúmulos globulares tenga 11.000 millones de años, mientras que el más antiguo, con 13.000 millones de años, es solo un poco más joven que el propio universo. Estos objetos son, sin duda, los más viejos de la galaxia.

## ■ EL MISTERIO DE LA MATERIA OSCURA

Cuando se suman las masas de todos los componentes luminosos de la galaxia —el disco de gas y polvo, las estrellas, la barra, el bulbo, el agujero negro central y el halo—, se llega a una masa total de  $9 \times 10^{10}$  masas solares. Este valor, alcanzado mediante técnicas y observaciones muy diferentes, coincide bastante con el valor de la masa situada en el interior de la órbita del Sol. Si se aplica la tercera ley de Kepler a la órbita del Sol alrededor del centro galáctico, la masa interior es de  $8,8 \times 10^{10}$  masas solares. Esta coincidencia de resultados no es casual, ya que la mayor parte de la masa luminosa se encuentra dentro de la órbita solar.

Por ello, entre la comunidad de astrónomos, causó sorpresa el hecho de constatar que, más allá del Sol, la velocidad de las estrellas no merma al alejarse del centro, sino que permanece constante como si algo «estira-



Imagen en rayos X, obtenida por el satélite Chandra, del agujero negro supermasivo Sagitario A\* y de la región que lo rodea. Se ve el remanente de Supernova Sagitario A Este y los lóbulos de gas caliente que se extienden doce años luz a cada lado del agujero negro.



ra» a las estrellas. Este efecto se ha observado también en otras galaxias espirales, como comprobó la astrónoma Vera Rubin y colaboradores a finales de los años setenta del siglo pasado. Algo desconocido y no luminoso hace que las estrellas de la periferia de las galaxias espirales se muevan más rápido de lo que puede parecer razonable. Este componente no brillante pero con masa, ya que ejerce una atracción gravitatoria sobre el componente visible, recibe el nombre de materia oscura y es un elemento que hay que tener en cuenta en todas las simulaciones de formación a gran escala del universo o en la formación de galaxias.

El halo de materia oscura parece estar distribuido de manera esférica, engloba el halo estelar y se extiende hasta 750.000 años luz del centro galáctico. La masa es de  $1,9 \times 10^{12}$  masas solares. Esta enorme masa hace ridícula la masa del componente visible, ya que este tan solo representa el 4,5 % de la masa total.

¿Pero qué es este componente? Por ahora es un misterio. No puede ser de materia ordinaria como gas o polvo interestelar, porque su presencia ya habría sido detectada con las técnicas usuales. La primera hipótesis convincente hizo pensar en objetos compactos masivos (MACHO, de *Massive Compact Halo Objects*). En esta categoría incluiríamos enanas blancas, estrellas de neutrones, agujeros negros y enanas marrones, es decir, estrellas ya muertas y apagadas u otras que no han llegado a brillar nunca o muy poco. La presencia de estos MACHO puede ser detectada cuando pasan entre una estrella lejana y la Tierra. Entonces la luz de la estrella puede ser desviada y/o aumentada por un efecto relativista llamado lente gravitacional. C. Alcock y colaboradores han estudiado millones de estrellas de la Gran Nube de Magallanes y han encontrado muy pocos ejemplos de estos

Las fotografías simuladas de la derecha muestran la secuencia del choque entre la galaxia de Andrómeda y la Vía Láctea (de arriba a abajo y de izquierda a derecha):

- A) Cielo nocturno actual, con la Vía Láctea y la galaxia de Andrómeda a 2,5 millones de años luz.
- B) Dentro de 2.000 millones de años, el disco de la galaxia de Andrómeda que se acerca es notablemente más grande.
- C) Dentro de 3.750 millones de años, Andrómeda llena el campo de visión.
- D) y E) Dentro de 3.850-3.900 millones de años, durante el primer acercamiento, el cielo resplandece con la formación de nuevas estrellas.
- F) Dentro de 4.000 millones de años, Andrómeda se estira por las mareas. La Vía Láctea también se deforma. Andrómeda se aleja de ella pero vuelve.
- G) Dentro de 5.100 millones de años, durante la segunda pasada, los núcleos de la Vía Láctea y de Andrómeda aparecen como un par de lóbulos brillantes.
- H) Dentro de 7.000 millones de años, las galaxias fusionadas forman una gran galaxia elíptica. Limpia de polvo y gas, la nueva galaxia ya no tiene estrellas jóvenes ni nebulosas.





fenómenos. Por eso concluyen que la contribución de los MACHO al halo de materia oscura es solo de un 20%.

Actualmente se considera la posibilidad de que partículas masivas que interactúan débilmente (WIMP, de *Weakly Interacting Massive Particles*) constituyan la parte principal de la materia oscura. Algunas consideraciones teóricas sobre la formación y la evolución del universo darían apoyo a estas partículas desconocidas.

#### ■ FUSIÓN CON LA GALAXIA VECINA ANDRÓMEDA

La Vía Láctea, junto a la gran galaxia de Andrómeda, situada a unos 2,5 millones de años luz de nosotros y decenas de galaxias menores, forman el llamado Grupo Local de galaxias, que están ligadas gravitatoriamente y se mueven por las fuerzas que ejercen las masas visibles y la materia oscura que hay entre ellas. Así, mientras el universo en conjunto se expande aceleradamente, los componentes del Grupo Local se mueven en conjunto, pero internamente pueden converger.

Ya hace cien años que se sabe que Andrómeda se aproxima a la Tierra. Las últimas medidas confirman que su velocidad es de unos 400.000 km/h, tan grande que recorre la distancia Terra-Lluna en una hora. Pero a pesar de esta enorme velocidad, Andrómeda no llegará aquí hasta que no transcurran 4.000 millones de años. Lo que no se sabía hasta hace poco es si el choque entre las dos galaxias sería frontal –con el consiguiente final catastrófico– o tangencial –con solo ligeras deformaciones de las estructuras galácticas.

Recientemente el equipo liderado por Roeland van der Marel y colaboradores ha conseguido resolver el dilema tras estudiar el movimiento de estrellas individuales de Andrómeda durante ocho años. En un proceso largo las dos galaxias se aproximarán y se deformarán por efectos de marea. Finalmente se fusionarán y formarán una única nueva galaxia elíptica. Parece que las estrellas individuales de cada galaxia no quedarán afectadas, ya que están separadas por grandes distancias. Más que de una colisión, sería mejor hablar de una intercalación. Eso sí, sus posiciones resultarán afectadas. El Sistema Solar no será destruido por la colisión, pero el Sol y su corte de planetas, entre ellos la Tierra, serán enviados, seguramente, a algún otro lugar de la nueva galaxia elíptica Andrómeda-Vía Láctea. De todas formas en aquel tiempo la Tierra estará demasiado caliente para ser habitada, calentada por un inmenso Sol ya convertido en gigante rojo.

A veces sabes que una situación acabará mal, hagas lo que hagas. Pero sí, por lo menos, puedes aplazar el final o dejar el desenlace para futuras generaciones, egoístamente ya te puedes sentir satisfecho. ☺

**Enric Marco Soler.** Técnico Superior de Laboratorio del departamento de Astronomía y Astrofísica, Universitat de València.