

MATERIA INTERESTELAR

1. ¿QUÉ ES LA MATERIA INTERESTELAR?

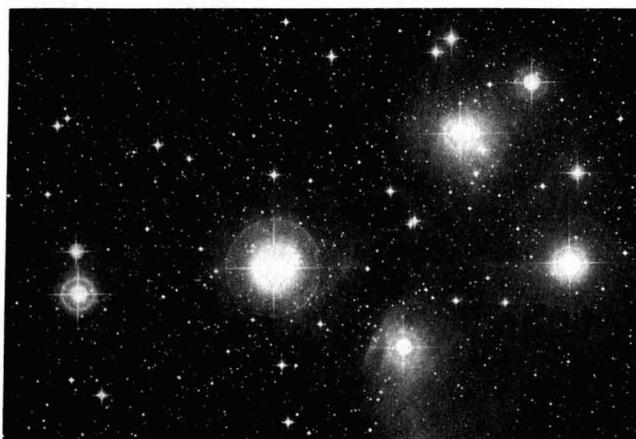
Acostumbramos pensar que el espacio que separa las estrellas de nuestra galaxia está vacío. Las películas y novelas de ciencia-ficción relatan a menudo la terrible historia del pobre astronauta que, separado de su nave espacial y perdido en el espacio, muere a consecuencia del horroroso vacío a su alrededor. Esto nos ha llevado a creer que no hay nada en el espacio interestelar. Sin embargo, desde hace mucho tiempo es conocida la existencia de nubes difusas que se ven brillar en ciertas partes de la Vía Láctea y, más recientemente, los astrónomos han constatado la presencia de materia interestelar muy tenue que llena los enormes espacios entre las estrellas. Esta materia se encuentra en todas partes y está constituida de gas y pequeñas partículas sólidas que reciben el nombre de *polvo*. La composición química del gas es muy similar a la del resto de los objetos celestes: 90% de hidrógeno, 9% de helio y 1% de elementos pesados como carbono, oxígeno, nitrógeno, neón, azufre, hierro, etcétera, en tanto que las pequeñas partículas de polvo parecen estar compuestas de silicatos, grafitos y otros materiales sólidos como el hielo.

La manera en que ha sido detectada la materia interestelar se debe a que, aunque escasa y tenue, acumulada a todo lo largo del trayecto que nos separa de las estrellas, logra producir ciertos efectos sobre la luz proveniente de ellas. El gas y el polvo son capaces de absorber parte de la luz de las estrellas haciendo que las veamos más débiles, e incluso, puesto que la absorción afecta preferentemente a la luz azul, más rojas de lo que en realidad son. Estos dos procesos se conocen como la *extinción* y el *enrojecimiento* de la luz de las estrellas y sólo han sido plenamente conocidos y estudiados desde principios de este siglo.

El gas y el polvo de nuestra galaxia se encuentran distribuidos de manera poco uniforme. Preferentemente, la materia interestelar está localizada en el plano o disco de la Vía Láctea y muy asociada a los brazos

espirales; hay poco gas y polvo fuera del plano y esto mismo ocurre en todas las galaxias con disco y brazos espirales como la nuestra. Grandes nubes de materia interestelar densa y fría se detectan fácilmente en el disco galáctico. Éstos son los objetos más grandes de nuestra galaxia ya que su tamaño puede llegar a ser de varios años luz y su masa de más de miles de veces la masa del Sol. Los astrónomos detectan fácilmente las nubes de gas y polvo porque se observan como nebulosidades brillantes en las fotografías del cielo; sin embargo a veces aparecen como grandes zonas oscuras en el espacio interestelar, que impiden completamente el paso de la luz de las estrellas que se encuentran más atrás. Cuando las nubes se ven brillantes, es porque se encuentran en las cercanías de alguna fuente de energía (por lo general estrellas) que ilumina y calienta el gas a su alrededor.

La materia interestelar es, por lo general, muy tenue, con una densidad promedio de menos de una partícula por cada centímetro cúbico. Aun en el caso de las nubes oscuras muy densas, la densidad del gas llega a ser apenas de un millón de partículas por centímetro cúbico; un millón parece mucho pero si comparamos esto con la



Cúmulo estelar de las Pléyades. Las estrellas están rodeadas de gas y polvo que reflejan su brillo (Fig. 1).

densidad de la atmósfera terrestre, a presión y temperatura normales, que es de diez trillones de partículas por centímetro cúbico, nos damos cuenta de que estas nubes son, en realidad, apenas un tenue gas, casi un "vacío". De hecho este "vacío" es más perfecto que el que se consigue en los más modernos laboratorios terrestres. Sin embargo, esta materia tenue que, como ya vimos, puede acumularse en nubes de cientos o miles de masas solares, tiene gran importancia en la vida y evolución de las estrellas y de la galaxia misma, pues constituye la base a partir de la cual se forman nuevas generaciones de estrellas en las galaxias. A continuación, veamos con detalle las condiciones físicas de este medio.

2. NEBULOSAS BRILLANTES

2.1. Regiones H II y formación de estrellas masivas

Cuando la nube de materia interestelar se encuentra cerca de una estrella, que es fuente de luz y calor, ésta ilumina al gas y al polvo, por lo que la detectamos como una nebulosa brillante. Su brillo se debe a que simplemente está reflejando la luz de la estrella, de la misma manera que los planetas y la Luna reflejan la luz solar. Nebulosas como ésta se conocen como *nebulosas de reflexión* y hay numerosos ejemplos de nebulosidades brillantes en nuestra galaxia. Por ejemplo, al mirar con detalle una fotografía del cúmulo estelar llamado las Pléyades (Fig. 1), se aprecia cómo los cuerpos celestes que lo conforman parecen envueltos en tenues nebulosidades brillantes; esto no es más que gas y polvo alrededor de las estrellas, iluminadas por éstas.

En ocasiones, el cuerpo celeste que ilumina el gas y el polvo puede ser una estrella joven muy caliente, con una temperatura en su superficie de más de veinticinco mil grados Kelvin (recordemos que el Sol tiene 6000 grados Kelvin de temperatura superficial). En este caso, la radiación de la estrella tiene mucha energía y los fotones ultraenergéticos que la constituyen son capaces de ionizar los átomos de gas en la nube. Esto quiere decir que los átomos, que son fundamentalmente de hidrógeno, pierden su electrón quedando separados los protones y los electrones. Estas regiones donde el gas está ionizado se conocen como *regiones H II* y su estudio tiene gran importancia pues permite determinar las condiciones físicas y la composición química del medio interestelar, así como inferir algunos datos de las estrellas que lo ionizan. La Nebulosa de Orión, que puede observarse por medio de unos binoculares en la estrella central de la Daga de Orión, es un ejemplo de una de estas regiones; los cuerpos celestes que iluminan y ionizan la región son cuatro estrellas calientes que forman el llamado Trapecio de Orión (ver Fig. 2, pág. 33).



Nebulosa planetaria de la Hélice (Fig. 3).

Hay muchas regiones H II en nuestra galaxia, algunas de las cuales están siendo ionizadas por un conjunto grande de estrellas. Las más famosas, por lo espectacular de su apariencia, tienen nombres propios como Nebulosa de Trífida, Nebulosa de la Rosette o Nebulosa de Norteamérica. También se detectan regiones H II en numerosas galaxias vecinas, como las Nubes de Magallanes. En la Nube Mayor de Magallanes se ha encontrado una región H II gigante conocida como la Nebulosa de la Tarántula, que está siendo ionizada por un cúmulo estelar compuesto por un centenar de estrellas jóvenes muy calientes, cuyas edades son de unos cuantos millones de años. En las galaxias espirales se encuentran también regiones H II gigantes que se localizan fácilmente en los brazos espirales y, de hecho, los están delineando. Los casos más extremos de regiones H II gigantes son las llamadas Galaxias H II, galaxias pequeñas donde se observa que una fracción considerable de cada una de ellas está involucrada en el proceso de formación estelar pues se están generando varios miles de estrellas masivas y calientes simultáneamente. La gran importancia de estudiar estas regiones deriva del hecho de que son zonas de las galaxias donde se han formado estrellas muy recientemente; sabemos que las estrellas que son capaces de ionizar la región tienen corta vida y sólo duran unos pocos millones de años. Las nubes de gas localizadas, calentadas y ionizadas por las estrellas recién constituidas, representan la materia sobrante de la formación estelar. Los astrónomos han encontrado que en las cercanías de muchas de las regiones H II estudiadas se están aún formando estrellas.

2.2. Nebulosas planetarias

Un tipo totalmente distinto de nubes de gas ionizado por estrellas calientes lo constituyen las *nebulosas planetarias*. En este caso, encontramos una nube de gas que está rodeando a una estrella muy vieja. Ésta, que origi-

nalmente fue un cuerpo celeste como el Sol en cuanto a tamaño y temperatura, ya se encuentra en las fases finales de su vida. Recordemos que una estrella del tamaño del Sol evoluciona lentamente y, cuando se agota en su núcleo el hidrógeno que le sirve de combustible, se transforma en una enorme *gigante roja* externamente fría que, más adelante, evolucionará a una estrella del tipo *enana blanca*. En la fase final del periodo de gigante roja, la estrella eyecta, de manera no-violenta, las capas externas de su atmósfera, quedando al descubierto su interior más caliente. El gas eyectado se va alejando de la estrella progenitora a baja velocidad a medida que recibe su luz y calor. Este gas, así calentado y ionizado, se presenta ante el observador como una nebulosa brillante que rodea al astro central. Un ejemplo de este tipo de objeto celeste se muestra en la figura 3 donde se presenta la nebulosa planetaria llamada Nebulosa de la Hélice.

Se conocen varios miles de nebulosas planetarias en nuestra galaxia y muchas se han detectado en galaxias vecinas. El estudio de estos objetos nos permite entender con mayor detalle las fases evolutivas finales de las estrellas de masa baja e intermedia, así como analizar los efectos que éstas producen en la evolución del medio interestelar y de la galaxia misma. Por ejemplo, los astrónomos que estudian las nebulosas planetarias han descubierto que el gas, expulsado por las estrellas en las fases avanzadas de evolución, está ligeramente contaminado por elementos pesados "cocinados" en el interior de la estrella a partir de hidrógeno. Es decir, el gas contiene un poco más de helio, carbono y nitrógeno de lo que había originalmente al formarse la estrella y, al ser eyectado, irá a mezclarse con el medio interestelar, enriqueciéndolo con elementos pesados.

2.3. Remanentes de supernova o la muerte de las estrellas masivas

Existen nebulosas brillantes y ionizadas, constituidas por gas del medio interestelar que ha sido "chocado" por el material arrojado violentamente durante la explosión de una supernova. Pero ¿qué es una supernova? Ya hemos visto que cuando una estrella del tamaño del Sol agota el combustible en su núcleo, se desprende "pacíficamente" de un poco de su masa y así logra terminar su evolución tranquilamente llegando a ser una estrella enana blanca. Por otra parte, cuando una estrella masiva, mucho mayor que el Sol, llega al final de su evolución, explota arrojando violentamente al medio interestelar sus capas externas a una velocidad de miles de kilómetros por segundo. Durante unos días el astro agonizante alcanza un brillo extraordinario y puede llegar a observarse como uno de los cuerpos celestes más

brillantes del cielo. Los astrónomos de la antigüedad, al observar este fenómeno, pensaban que se trataba del nacimiento de una nueva estrella, de ahí que las hayan llamado *novas* o *supernovas*; hoy sabemos que se trata de la muerte violenta de una estrella masiva, cuyos restos constituirán un *pulsar* o un *agujero negro*. El gas expulsado por este cuerpo celeste acarrea una enorme cantidad de energía y avanza barriendo y ionizando el medio interestelar que encuentra a su paso. Actualmente se piensa que los elementos más pesados que el hierro, que encontramos en el Universo, en la Tierra y en nosotros mismos, fueron originados en estas violentas explosiones y así es como siguen siendo producidos. El lugar de la galaxia en donde ocurra una de estas violentas explosiones quedará muy alterado por los efectos de la explosión, pues ahí el material del medio interestelar será barrido y acumulado dando forma a inmensos cascarones de gas caliente que se expandirán a alta velocidad durante miles de años. Una de las remanentes de supernova más conocidas es la Nebulosa del Cangrejo (Fig. 4), cuya explosión fue reportada por astrónomos chinos en el año 1052 de nuestra era. Se dijo que la estrella llegó a ser tan brillante que se veía en el día. El caso más recientemente reportado de una explosión de supernova, perceptible a simple vista, ocurrió en 1987 en la Nube Grande de Magallanes, que es una pequeña galaxia satélite de la Vía Láctea, localizada a unos ciento cincuenta mil años luz de distancia.

3. LAS GRANDES Y FRÍAS NUBES MOLECULARES: SEMILLEROS DE ESTRELLAS

Las zonas donde el gas y el polvo interestelar están fríos y se acumulan en la galaxia se detectan en las fotografías del cielo como grandes nubes oscuras. En estas nubes, la materia se encuentra a temperaturas de entre 10 y 20 grados Kelvin, que corresponden a entre 250 y 260 grados Celsius bajo cero. A estas bajísimas temperaturas los átomos gaseosos se unen formando moléculas; por esta razón, las nubes que se forman reciben el nombre de *nubes moleculares*. Dado que el hidrógeno es el mayor constituyente del gas del medio interestelar, resulta natural que el principal componente de las nubes moleculares lo sean las moléculas de hidrógeno, H_2 . Sin embargo, existen otros muchos tipos de moléculas presentes en estas nubes; hasta el momento se han detectado alrededor de cincuenta, algunas de las cuales son: CO (monóxido de carbono), CH (metilidina), CN (cianógeno), NH_3 (amoníaco), SiO (monóxido de silicio), H_2O (agua) y muchas más. La mayor parte de ellas ha sido descubierta en el medio interestelar mediante técnicas de radioastronomía, ya que el gas molecular a estas temperaturas emite radiación preferentemente en frecuencias de radio.

Se sabe que en las nubes moleculares, junto con el gas, también se acumula mucho *polvo* que absorbe la radiación de las estrellas y es el responsable de que estas zonas se vean oscuras al no dejar pasar la luz. Este polvo está constituido por pequeñas partículas sólidas de grafitos o silicatos. Por su tamaño y composición serían similares al polvo de gis o arenas muy finas. La cantidad de granos de polvo que se encuentra no es muy grande, sólo uno por cada 10 mil átomos de gas pero es suficiente para que llegue a oscurecer totalmente algunas zonas del cielo. Un conocido ejemplo de estas nubes moleculares oscuras es la Nebulosa de la Cabeza de Caballo (ver Fig. 5, pág. 33) Esta nebulosa es parte de una gran nube molecular que se encuentra en la constelación de Orión, asociada a la región H II de la que hablamos antes.

Durante las últimas décadas se han encontrado pruebas de que hay formación estelar reciente en el interior de las nubes moleculares. Una de estas pruebas es el descubrimiento de que existen numerosas fuentes de energía ocultas dentro de las nubes. Cabe suponer que tales fuentes de energía son estrellas embebidas en la nube molecular. Estas estrellas, invisibles para la astronomía óptica, han podido detectarse porque calientan el gas y el polvo a su alrededor, y el polvo, en estas condiciones, emite radiación infrarroja que es detectada fácilmente. En otros casos se detectan, además, pequeñas regiones H II (gas ionizado alrededor de una estrella caliente recién formada) y *maseres* (al igual que en un láser, éstas son zonas en donde la luz se amplifica enormemente) embebidos en el interior de las nubes. Todas estas detecciones sólo pueden hacerse con técnicas de radioastronomía o en luz infrarroja, porque estas nubes son opacas a la radiación visible. No hay ninguna duda de que la formación estelar ha sido continua en la galaxia y que nuevas estrellas siguen formándose a partir del gas y el polvo en el interior de las nubes moleculares del medio interestelar.

4. LA INTERACCIÓN ESTRELLAS-MEDIO INTERESTELAR

Hemos constatado que el medio interestelar está lleno de una materia muy tenue formada por gas y polvo, que se encuentra en distintos estados, frío y denso o caliente y brillante, dependiendo de las fuentes de energía que tenga en sus cercanías. Esta materia interestelar se encuentra en perpetua interacción con el principal componente de la galaxia que son las estrellas. Es la materia prima con la que se formaron las estrellas que actualmente vemos y, a la vez, es un medio que evoluciona



Remanente de supernova conocido como Nebulosa del Cangrejo (Fig. 4).

constantemente al enriquecerse continuamente con elementos pesados (carbono, nitrógeno, oxígeno, neón, silicio, azufre, etcétera) generados en el interior de las estrellas y que son parcialmente eyectados por ellas en las etapas finales de su evolución, ya sea como nebulosas planetarias o como remanentes de supernovas. De manera que el medio interestelar actual contiene un 1% de elementos pesados en comparación con el casi cero por ciento que tenían en el momento de la formación de la Vía Láctea. Esta contaminación de la materia interestelar con elementos más pesados sucede, desde luego, paulatinamente, ya que las estrellas, y en especial las estrellas pequeñas, evolucionan muy lentamente (el Sol, por ejemplo, tardará unos cuatro mil quinientos millones de años más en llegar a la fase de nebulosa planetaria); sin embargo no hay dudas de que tal enriquecimiento existe. El proceso de formación estelar continúa desarrollándose actualmente en el interior de las grandes nubes de gas, frías y densas, por lo que las estrellas que están constituyéndose iniciarán su vida con una composición química ligeramente distinta, más enriquecida en elementos pesados en comparación con las estrellas que se formaron al inicio de la vida de la galaxia. Debido a esto, las nuevas estrellas evolucionarán de manera un poco diferente; al final de su evolución entregarán al medio interestelar un gas ligeramente más enriquecido que el que recibieron. El gas sobrante será iluminado y calentado por las estrellas recién creadas y se dispersará para ir a acumularse en otras zonas donde se reiniciará la formación de nuevas estrellas.

Podemos decir, por tanto, que la profundización en el estudio de la dinámica y las condiciones físicas de la materia interestelar ayudará a entender mejor el nacimiento, evolución y muerte de las estrellas, así como la evolución química de la galaxia misma. ■