

# ¿CÓMO ES EL UNIVERSO?

**María Elena LEZAMETA GAÍNZA\***



El tema del Universo ha motivado la reflexión del hombre desde tiempos inmemoriales y la idea que tiene sobre el mismo ha ido evolucionando continuamente a la vez que la sociedad humana. En las civilizaciones antiguas se desarrolló algún tipo de cosmología primitiva como parte de su religión o su folklore, incluso antes de aparecer astronomía alguna. Una revisión histórica del estudio del tema en cuestión, considerando la consecuente evolución de las ideas sobre la estructura y dimensiones del Universo, puede servir para reflexionar sobre la estructura del pensamiento filosófico-naturalista (o científico) que la sociedad tiene en un momento determinado; relacionando los cambios ideológicos ocurridos con el desarrollo cultural y tecnológico de cada momento, se puede comprender mejor cómo se realizan los progresos científicos y ayudar a conocer el método científico.

Dada la curiosidad que el tema suscita, pensamos que resulta interesante tratarlo en el bachillerato como experiencia interdisciplinar. Y puesto que la programación de la asignatura del COU tiene en consideración el tema «Origen y evolución del Universo», proponemos en líneas generales una posible forma de desarrollar el mismo; esta exposición pretende ser un esbozo, por lo que muchas ideas únicamente son sugeridas aunque en la explicación real ante los alumnos deban tratarse con una mayor amplitud.

En un primer capítulo puede realizarse un breve resumen histórico referente al estudio que el hombre ha realizado sobre el Universo desde la Grecia clásica hasta nuestros días, finalizando con un comentario sobre los métodos de investigación que se utilizan en la actualidad para ello.

Una vez situados en la problemática actual, en el

segundo capítulo pueden describirse los constituyentes materiales del Universo y su distribución en el mismo, exponiendo finalmente los conocimientos actualmente existentes sobre nuestra galaxia.

La materia del Universo reviste formas diversas, está distribuida por el espacio, evoluciona en el tiempo y se desplaza. Podemos dedicar un tercer capítulo a la continua transformación materia-energía que se realiza en el Universo; y en particular la dinámica estelar, puesto que las estrellas son los cuerpos más estables y abundantes de las galaxias, constituyendo más del 90 por 100 de la materia de éstas.

Por último, un 4.º capítulo puede hacer referencia a diversos modelos cosmológicos planteados para explicar las propiedades observadas del Universo, dejando planteado el debate actual en espera de que futuras observaciones permitan decidir entre los distintos modelos.

De acuerdo con estas ideas, presentamos la siguiente estructuración del tema:

- I. Forma y dimensiones del Universo. Métodos de estudio del mismo.
- II. Su composición material.
- III. Materia y energía en el Universo.
- IV. Modelos cosmológicos.

## **I. FORMA Y DIMENSIONES DEL UNIVERSO**

En la idea de los antiguos, el mundo se distinguía poco del entorno en que vivían; los Dioses lo

\* Catedrática de ciencias naturales. I.B. «Santa María» de Guecho (Vizcaya).

construían con métodos totalmente humanos y con los materiales de que disponían, y las leyendas mitológicas muestran escenas de la vida de la sociedad correspondiente. Así, surgieron diversas hipótesis sobre la estructura del Universo, para satisfacer la natural curiosidad y preocupación del hombre en un tema del cual se carecía entonces de conocimientos y de posibilidad de adquirirlos. Evidentemente, las ideas actuales son muy diferentes, pero la variación de las mismas ha ocurrido paulatinamente, con algunos saltos bruscos importantes, y rememorarla puede ser interesante para una mejor comprensión del problema.

**Partiendo del Universo-caja**

Retrocediendo dos milenios se llega a la Grecia clásica, donde encontramos los cimientos del pensamiento occidental, y entre ellos, una hipótesis sobre el Universo: la Tierra, con forma de disco plano circular, rodeada de agua y envuelta por una cáscara esférica de estrellas inmóviles que gira regularmente sobre este disco que, naturalmente, es el centro de todo (Fig. 1). Mediante razonamientos, motivados por las dificultades que surgen ante el planteamiento inicial, se llega enseguida a la idea de una Tierra esférica, rodeada por la bóveda celeste también esférica, realizándose incluso algunos cálculos (diámetro de la Tierra, distancia Tierra-Luna) con métodos muy rudimentarios, pero con resultados válidos en la actualidad.

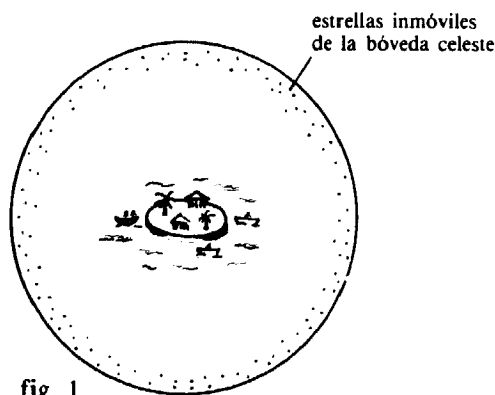


fig. 1

Tras el compás de espera que supone la Edad Media, surge el Renacimiento en el cual se desempolvan, revisan y discuten todas las ideas propuestas por los filósofos griegos, incluso las que habían sido rechazadas anteriormente (por ejemplo, Filolao de Tarento (480-?), discípulo de Pitágoras, había sugerido que la Tierra no es el centro del Universo, sino que se mueve a través del espacio, en torno a un fuego central, alrededor del cual también gira el Sol).

En este ambiente de revisión y discusión de ideas es publicada la obra de Nicolás Copérnico (1473-1543) que plantea un nuevo modelo de los cielos; sugiere que es el Sol, y no la Tierra, lo que constituye el centro del Universo. De acuerdo con este sistema heliocéntrico, los planetas (incluida la Tierra) giran alrededor del Sol; por otra parte, la Luna gira alrededor de la Tierra, por lo que pasa a ser denominada satélite (Fig. 2).

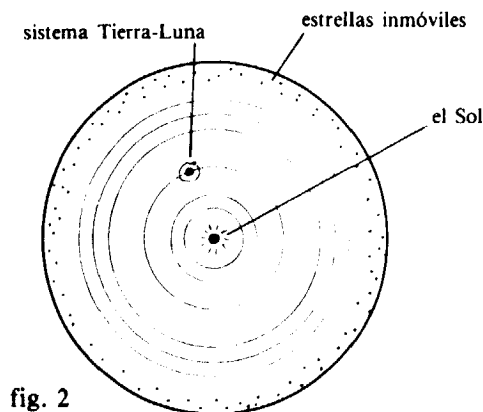


fig. 2

Al romper con la concepción geocéntrica del Universo, Copérnico abre el camino a la explicación materialista del mismo. Pero además de desencadenar una gran batalla ideológica, la obra de Copérnico suscita un renovado interés por nuevas y más precisas observaciones que confirmen o refuten el sistema, y esto tal vez sea la consecuencia más importante.

Así, en los comienzos del siglo XVII, a la vez que por la labor de Tycho Brahe, Kepler y Newton se traza un modelo preciso del Sistema Solar, en el cual las órbitas de los planetas son elípticas (y no circulares), Galileo inicia la astronomía telescópica al enfocar su anteojo hacia el cielo. A partir de este momento, la astronomía evoluciona rápidamente; los tipos de telescopios se diversifican, y cada vez que se consigue alguna mejora en los mismos, se amplía el Universo observable. Pero ¿hasta dónde?, ¿dónde están las estrellas más lejanas?, ¿es finito el Universo?

Sin embargo, la idea del infinito no es aceptable para la mente humana y surgen diversos trabajos para demostrar la finitud del Universo. Olbers plantea su famosa paradoja; básicamente consiste en pensar que si el Universo fuera infinito y con una distribución uniforme de estrellas, el conjunto de todas ellas haría que el cielo brillase continuamente (tendría infinita luminosidad) y, por supuesto, sería inexplicable la existencia de la noche.

Por otra parte Herschel (1738-1822), basándose en escrupulosas e innumerables observaciones, llega a la conclusión de que las estrellas se encuentran distribuidas uniformemente en un volumen de es-

## Surgen los «universos-islas» y las teorías relativas

Cuando los trabajos de Olbers, Herschel y Shapley parecen haber probado que el Universo es finito, se descubre que gran número de nebulosas, que eran consideradas sistemas planetarios en formación, son «universos-islas», es decir, inmensas aglomeraciones de estrellas ya que, en 1923, Hubble (1889-1953) consigue identificar estrellas aisladas en las afueras de la nebulosa de Andrómeda (la discusión sobre la identidad de las nebulosas había surgido en el siglo XVIII); nuevamente surge la pregunta: ¿es finito el Universo? (Fig. 4).

En 1929 Hubble demuestra que las galaxias se hallan en recesión, con velocidades directamente proporcionales a las distancias que nos separan de ellas, y entonces parece resolverse definitivamente el problema planteado por la paradoja de Olbers;

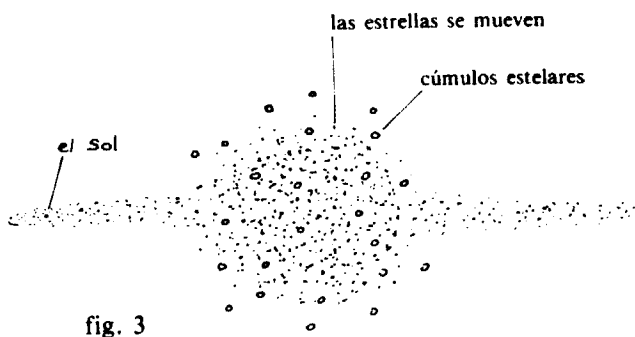
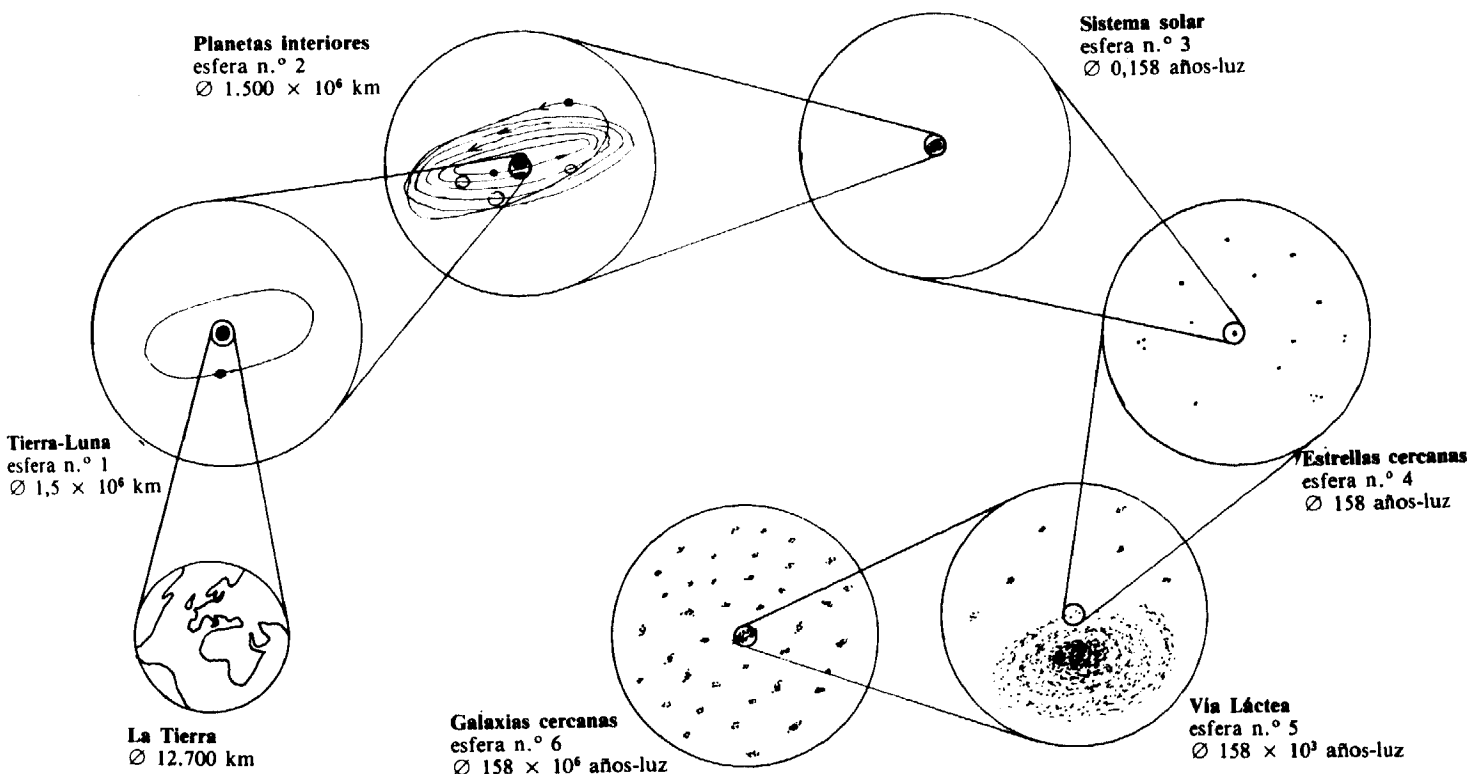


fig. 3

pacio con forma de lente, encontrándose el Sol en el centro de masas; esta idea es modificada por Shapley (1885-), ya que descubre que el Sol se halla muy alejado del centro galáctico (Fig. 3).

fig. 4



La idea que tiene el Hombre sobre el tamaño del Universo ha variado drásticamente en 2.000 años. El sistema Tierra-Luna quedó reducido a la insignificancia al lado del Sistema Solar; éste, a su vez, resultó ser diminuto comparado con la distancia de las estrellas más próximas; el conjunto de las estrellas más cercanas es una pequeñez si se compara con la totalidad de la Galaxia. Y hoy día se sabe de la existencia de una infinidad de galaxias comparables a la nuestra. Los astrónomos sospechan que el número total de galaxias localizadas en aquella región del Universo que nos es dado observar, con los instrumentos más perfectos puede ser de 100.000 millones; además, actualmente nada nos autoriza a pensar que el número de las que existen en la realidad no es infinitamente mayor. (Para ilustrar esta idea consideremos una serie de reducciones: la Tierra proyectada y reducida dentro de una esfera (n.º 1) de  $1,5 \times 10^6$  de diámetro; está en otra (n.º 2) mil veces mayor y así sucesivamente, con reducciones similares hasta la 6.ª esfera).

se puede demostrar que, por hallarse en expansión el Universo, la cantidad total de radiación que incide sobre la Tierra tiende a cierto valor finito, aun en la hipótesis de que el número de galaxias sea infinitamente grande. Dado el desplazamiento hacia el rojo, y el consiguiente debilitamiento progresivo de la energía de radiación de galaxias cada vez más distantes, existe una cierta distancia a partir de la cual la radiación se debilita tanto que ningún instrumento, por muy próximo que se halle de la perfección, puede detectarla. Y teniendo en cuenta la teoría de la relatividad de Einstein, esa cota máxima está relacionada con la velocidad igual a la de la luz en el vacío. Una vez alcanzado un punto del espacio tan alejado de nosotros que una galaxia situada allí retrocede con una velocidad igual a la de la luz en el vacío, la luz de dicha galaxia no podrá llegar hasta nosotros; el efecto Doppler-Fizeau estira infinitamente cada una de las longitudes de onda y reduce, por tanto, su energía a cero. Nada puede llegar hasta nosotros desde una galaxia tan distante; ni luz, ni radiación de ninguna clase, ni neutrinos, ni influencia gravitatoria; nada. En la actualidad se estima que el diámetro de ese «Universo observable» es del orden de 20.000 millones de años-luz, pero esta cifra puede variar, en función de las revisiones que sufra la constante de Hubble.

### **Métodos de estudio**

Desde que en 1609 surgió la astronomía telescópica, cuando Galileo utilizó por primera vez un antejo para observar el firmamento, hasta la actualidad, las ideas que se tienen sobre el Universo han variado drásticamente, y esto ha sido posible por el rápido desarrollo tecnológico que ha sucedido durante este tiempo.

Junto a los telescopios ópticos se utilizan radiotelescopios (especialmente importantes en el estudio de la distribución de átomos poco pesados en el interior de la Galaxia), telescopios de rayos X y  $\gamma$ , así como espectroscopios.

El incipiente estudio de la radiación de origen astrofísico está comenzando a proporcionar información sobre procesos de alta energía y objetos tales como supernovas, estrellas de neutrones y fenómenos que ocurren en el centro de las galaxias.

Por otra parte, el estudio de las galaxias está entrando en una nueva fase. Mucho de lo que se sabe acerca de la estructura galáctica se obtuvo en el pasado a partir del examen cualitativo de fotografías hechas con grandes telescopios; con el desarrollo de los modernos computadores, el rendimiento del análisis de los datos contenidos en las fotografías ha aumentado considerablemente, haciendo posible estudiar cientos de galaxias en una gran variedad de situaciones.

Así, en la actualidad, telescopios ópticos, espectroscopios, radiotelescopios, en sus diversas variantes y, frecuentemente, combinados con equipos

fotográficos, son utilizados desde los observatorios terrestres directamente, o bien, utilizando globos, satélites y sondas espaciales. Las técnicas de estudio estadísticas, así como la imprescindible cibernética, colaboran en este trabajo de explorar el Universo para un mejor conocimiento del mismo.

## **II. COMPOSICIÓN MATERIAL DEL UNIVERSO**

Una vez situados en la problemática actual, podemos pasar a describir los constituyentes materiales del Universo, es decir, las diferentes formas de existencia de la materia que se conocen en el mismo, así como su distribución.

### **Objetos detectables en el interior de las galaxias**

a. En primer lugar citaremos a las estrellas y planetas, que son los cuerpos más estables y abundantes de las galaxias y han sido conocidos desde la antigüedad por el hombre. Los actuales telescopios ópticos permiten la observación visual de un gran número de estrellas muy diversas.

Puesto que casi toda la información que se puede obtener de una estrella viene a la Tierra en forma de radiación electromagnética (visible principalmente), citaremos algunas de las características de las estrellas que pueden observarse mediante el estudio del espectro estelar, y que se utilizan para su clasificación; así, masa, radio, luminosidad o brillo, composición química y clase espectral. Debe mencionarse también la correlación empírica que descubrieron Hertzsprung y Russell entre las luminosidades y las temperaturas superficiales de las estrellas, sirviéndonos el diagrama H-R (Fig. 5) para enumerar las principales clases de estrellas (estrellas de la Secuencia Principal, gigantes azules y rojas, enanas, etc.).

Aunque la constitución de una estrella es muy variable a lo largo de su vida, como estructura representativa de un gran porcentaje de las estrellas existentes se puede tomar la del Sol en la actualidad, por encontrarse en la etapa más duradera de su evolución y ser una estrella de masa media, de las más abundantes en el Universo (Fig. 6). La primera división de las capas de una estrella comprende la separación de la parte visible y la invisible. La primera es la atmósfera estelar (corona, cromosfera, fotosfera), de donde nos llega directamente la luz o cualquier otra radiación; la segunda constituye el interior de la estrella, y en ella se desarrollan las reacciones termonucleares, características de la evolución estelar.

Al hablar de la composición química de las estrellas, diremos que hay dos tipos de poblaciones estelares distintas en el Universo, que los astróno-

**Diagrama H-R (Hertzsprung-Russell)** de correlación entre luminosidad y temperatura superficial de las estrellas. Las estrellas azules (calientes) y luminosas de la parte superior izquierda, que generalmente se encuentran asociadas a nebulosas de emisión, consumen energía a tal velocidad que forzosamente deben ser muy jóvenes (quizá sólo tengan 1 ó 2 millones de años). Se cree que tanto ellas como el resto de las estrellas de la Secuencia Principal (integrada por las combinaciones color-brillo más estables), se transforman en gigantes rojas en un momento determinado de su evolución. A trazos, evolución probable del Sol en el futuro.

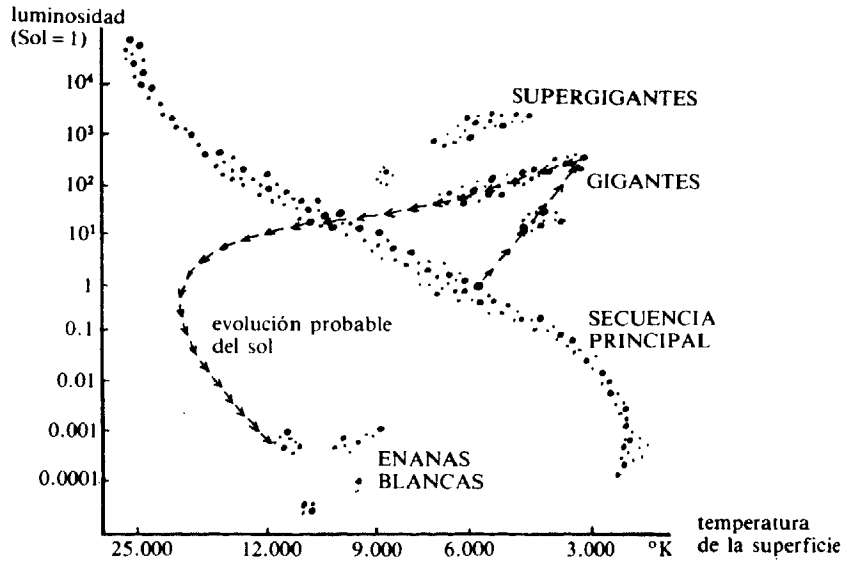


fig. 5

mos han clasificado como población I y población II, siendo estas últimas las de mayor antigüedad.

El análisis espectral de la atmósfera de estrellas de la población II confirma (hipótesis sugerida por Baade) que nacieron del gas primitivo, que consistía solamente en hidrógeno y helio; difícilmente se encuentra alguna de las líneas espectrales de los metales, u otros elementos pesados, en los espectros de estas estrellas. Esto significa que la vida, y la materia orgánica en general, no pudieron haber evolucionado en planetas que giraran alrededor de estas estrellas, porque los diversos elementos pesados (carbono, fósforo, azufre, hierro, entre otros) que son esenciales para la vida, y las grandes moléculas orgánicas, no estaban presentes cuando se formaron las mismas.

Por otra parte, las estrellas de la población I (entre las que se encuentra el Sol) y sus planetas se formaron, y todavía se están formando, a partir del polvo y gas que está constituido de elementos pesados, así como de hidrógeno y helio; estos materiales proceden de los interiores profundos de las estrellas de la población II donde, en una cierta etapa de sus vidas, la temperatura y la presión eran tan altas que los elementos pesados se sintetizaron a partir de hidrógeno y helio. Este proceso duró miles de millones de años, después de lo cual enormes explosiones estelares expelieron grandes canti-

**Actividad y estructura del Sol**, esquematizadas en el dibujo. (Se basan en observaciones y modelos teóricos). Cabe presumir que las características del Sol son compartidas por todas las estrellas que no superen 1,5 veces la masa solar y cuya magnitud absoluta y temperatura las sitúe en la secuencia principal del diagrama H-R. Tales estrellas extraen su energía de las reacciones termonucleares que ocurren en su núcleo, y que convierten hidrógeno en helio. La energía así liberada se transporta hacia el exterior mediante fotones, es decir, radiación electromagnética. Aproximadamente en el tercio más externo del radio del Sol, el transporte de energía se efectúa por convección: la «ebullición» de los gases. En la fotosfera (superficie visible del Sol), la energía vuelve a radiarse hacia el exterior por fotones. La temperatura de la fotosfera es de 5.730°K. En la cromosfera, las temperaturas aumentan progresivamente un millón de grados en la corona. De vez en cuando, protuberancias gigantes hacen erupción desde la superficie solar. El Sol presenta también un ciclo de actividad, típicamente de 11 años de duración, marcado por un rápido incremento en el número de manchas solares, seguido de un descenso más lento. Las manchas solares, que marcan regiones de actividad magnética, hacen erupción generalmente en parejas de polaridad magnética opuesta. A lo largo del ciclo solar, la fracción de la superficie del Sol cubierta por las «playas», o zonas muy calientes, puede variar desde 0 hasta más del 20%.

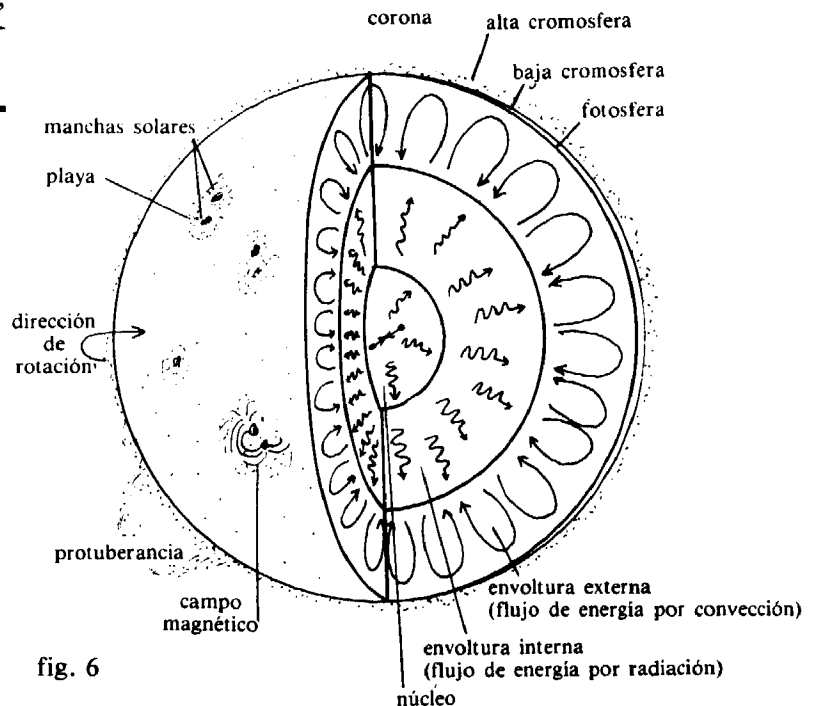


fig. 6

dades de hidrógeno, helio y elementos pesados al espacio. A partir de esta mezcla se formaron las nubes de polvo y, más tarde, las estrellas de la población I; en este proceso se formaron también los planetas que pueden sustentar vida, como la Tierra.

b. Entre las estrellas aparecen unos cuerpos nebulosos, es decir, de apariencia no puntiforme como las estrellas, sino difusas. Estas concentraciones de gas y polvo llamadas nebulosas, pueden observarse ya que emiten luz o la absorben (nebulosas brillantes y oscuras respectivamente) y son conocidas hace mucho tiempo.

c. Nuevas técnicas de observación, como las de la radioastronomía, han mostrado de modo concluyente que existe un sustrato extremadamente tenue de materia interestelar invisible, constituido por polvo y gas.

d. Por otra parte, desde 1961, los radiotelescopios comenzaron a captar las señales de objetos puntuales (unos pocos años-luz de diámetro), más alejados que las galaxias conocidas entonces. Estos objetos denominados quasars (de «quasi stellar radio source», que alude a su carácter puntual y a la longitud de onda en que emiten su energía), irradian de 50 a 100 veces más energía que las galaxias y son, probablemente, núcleos galácticos en explosión.

e. Finalizaremos nuestra enumeración de objetos materiales del Universo mencionando algunos tipos de cuerpos comprendidos entre los modelos teóricos y la realidad, como los pulsars y los agujeros negros.

## Asociaciones gravitatorias

a. Es frecuente encontrar asociaciones de estrellas formando sistemas múltiples, siendo los más frecuentes los sistemas dobles (casi la mitad de las estrellas de nuestra galaxia forman parte de ellos). Por otra parte, al igual que la materia se suele concentrar en nubes, así también las estrellas pueden aglomerarse en cúmulos de diversos tipos; citemos los cúmulos globulares, más o menos esféricos (con gran densidad de estrellas y sin materia interestelar), y los cúmulos abiertos o galácticos (menos compactos que los anteriores, ricos en materia interestelar y de forma irregular). Estos últimos aparecen concentrados sobre el plano galáctico; por el contrario, los globulares no presentan especial atracción por éste, estando por lo general muy alejados del mismo.

b. Cúmulos estelares y estrellas individualizadas se asocian formando agrupaciones con miles de millones de astros: con las galaxias. Sandage las define como los máximos conglomerados individuales de estrellas, constituyendo las unidades de materia que definen la estructura granular del Uni-

c. Las galaxias no están aisladas; forman aglomeraciones o cúmulos de galaxias, que según algunos astrónomos son el último escalón en la estructura jerarquizada del Universo. Otros afirman, sin embargo, que se agrupan en supercúmulos, puesto que las recientes observaciones mediante rayos X parecen apoyar la existencia de un gas caliente y difuso en el que los cúmulos se encuentran inmersos, y la masa de este gas caliente puede ser suficiente para mantener los cúmulos gravitatoriamente ligados en un sistema único.

## Las galaxias

Puesto que actualmente las galaxias son consideradas como las unidades básicas del Universo, es interesante describir sus características. Presentan una gran variedad de formas, tamaños y contenido, comprendiendo desde estructuras casi perfectamente esféricas, sin traza alguna de polvo o brazos espirales, hasta estructuras irregulares cargadas de polvo (Fig. 7).

Se distinguen en las galaxias dos partes morfológicamente diferenciadas: un núcleo central, que consta de un conglomerado esferoidal de estrellas de población I, y un disco circundante formado por estrellas de ambos tipos que se extiende hacia la periferia en una capa delgada. Los tamaños relativos del núcleo y el disco varían desde un núcleo casi puro en algunas galaxias, hasta un disco casi puro en otras. Halo y corona son estructuras envolventes de las anteriores. No podemos terminar este apartado sin mencionar los datos que han proporcionado las recientes observaciones astronómicas sobre nuestra galaxia, la Vía Láctea (Fig. 8).

## III. MATERIA Y ENERGÍA EN EL UNIVERSO

### Dinámica estelar

Es imprescindible el conocimiento de la continua transformación materia-energía existente en el Universo para comprender el mismo; y en particular la dinámica estelar, puesto que las estrellas son los cuerpos más estables y abundantes de la galaxias, constituyendo más del 90 por 100 de su materia.

Citaremos algunos procesos de nucleosíntesis que se dan en las estrellas, viendo cómo el problema de la formación de los elementos está vinculado al de la evolución estelar, con la complicación adicional de que los elementos pesados observados en una estrella no siempre se han sintetizado en ella; el material formado en una generación de estrellas se ve expelido continuamente al espacio interestelar por explosiones de novas, de supernovas y, más lentamente, por los vientos estelares, hasta reaparecer en estrellas de una generación posterior, que se condensan a partir del gas y el polvo interestelar.

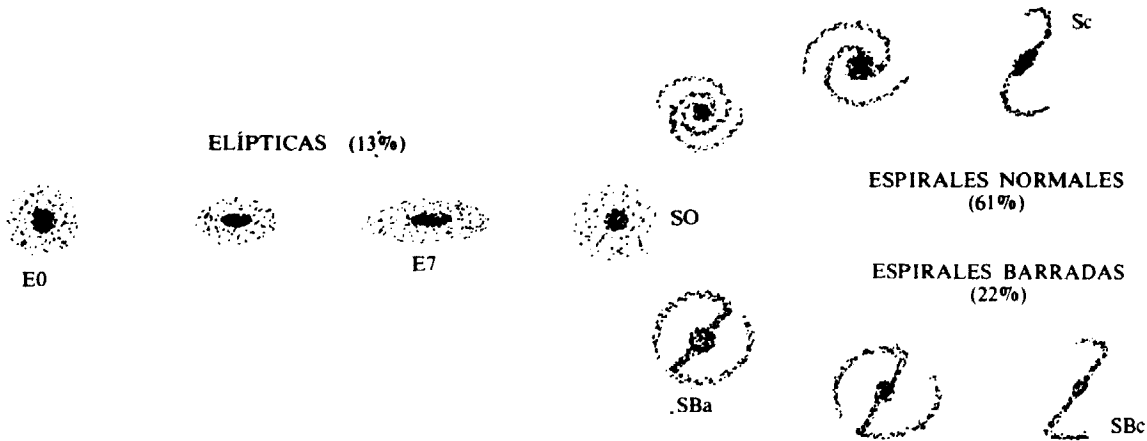


fig. 7

**Clasificación morfológica de las galaxias.** Las espirales varían de esféricas a muy aplanadas (E0 a E7) y pueden tener núcleos masivos y brillantes y brazos muy curvados (Sa, SBa), o bien, núcleos pequeños y brazos sueltos (Sc, SBc). El tipo intermedio carece de brazos espirales. El restante 4% de galaxias son tipos irregulares y no están incluidos en este esquema propuesto por Hubble, en 1930.

(Recordemos la existencia de estrellas de poblaciones I y II.)

La teoría de la estructura interna de las estrellas permitió comprender dos hechos importantes:

- La estructura de una estrella en cualquier momento de su historia está determinada por su masa y su composición química (esencialmente la cantidad de hidrógeno y helio que contiene).
- La composición química de una estrella cambia a medida que ésta envejece, porque genera energía por fusión de hidrógeno en helio. Esto significa que la composición de cualquier estrella en el diagrama H-R está determinada por tres números: su masa, su composición química y su edad.

Un resumen del esquema evolutivo de las estrellas desde su nacimiento hasta su muerte nos ayuda a comprender la existencia de los diversos tipos de estrellas (Fig. 9).

## Retrocediendo en el tiempo

Puesto que no existe ninguna evidencia experimental sobre las propiedades físicas del estado inicial del Universo, sus propiedades deben ser deducidas del estado actual del mismo. Una gran parte de los científicos imaginan que, en el estado inicial, el Universo se hallaba concentrado en un pequeño espacio; y se dice que era un estado de equilibrio

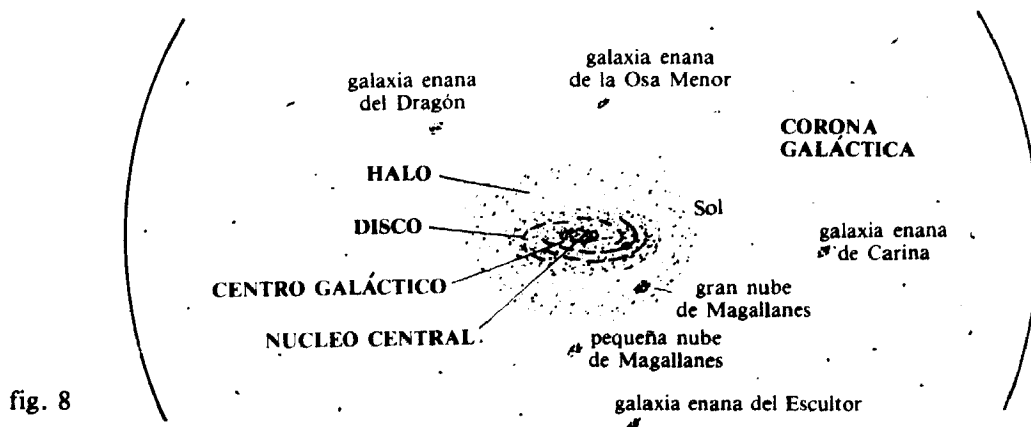
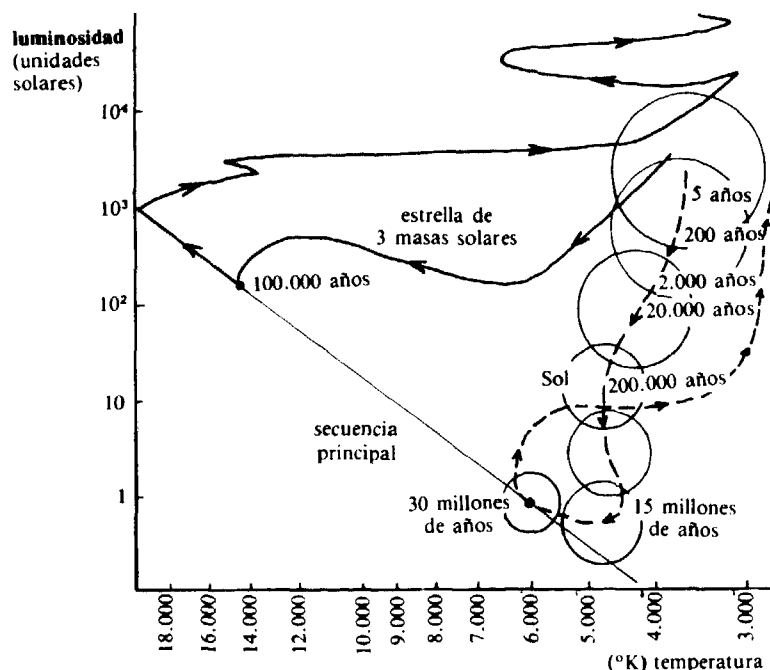


fig. 8

**Esquema de la Vía Láctea** en el que se muestra la Galaxia de acuerdo con la hipótesis según la cual posee un tamaño inesperadamente grande y es masiva. La porción central, con un radio de 4.000 a 5.000 parsecs, consta principalmente de un denso amontonamiento de estrellas antiguas. El disco galáctico, cuyo radio mide 15.000 parsecs, consta de estrellas más jóvenes, y polvo y gas. Sus configuraciones espirales sólo se han podido reconocer en la vecindad del Sol. El halo galáctico, con un radio de 20.000 parsecs, consta principalmente de una densa distribución de estrellas antiguas y aproximadamente la mitad de las asociaciones estelares llamadas cúmulos globulares. El hipotético componente más externo de la galaxia se llama corona.



**Evolución de las estrellas en el diagrama H-R hasta la etapa de gigante roja.** La estrella de una masa solar (cualquier estrella como el Sol) se contrae hasta llegar a ser una estrella amarilla de la secuencia principal en unos 30 millones de años; después de permanecer en ésta del orden de 10.000 millones de años, evoluciona hasta convertirse en gigante roja en unos 1.000 millones de años (línea de trazos). La línea continua superior muestra el descenso de una estrella de tres masas solares que se contrae hasta entrar en la secuencia principal en unos 100.000 años; cuando sale de ésta evoluciona hasta la fase de gigante roja en menos de 100 millones de años.

fig. 9

térmico, puesto que no sólo estaban concentradas toda la radiación y la materia en la pequeña esfera primordial, sino que también lo estaba todo el espacio, de modo que la radiación no podía escapar porque no tenía ningún sitio donde ir. En cierto sentido, este estado inicial era un agujero negro muy caliente del cual surgió el Universo presente.

Actualmente el Universo no está en equilibrio térmico, sino que consiste en una mezcla de cuerpos muy calientes, las estrellas, espaciados a grandes distancias, y de radiación fría y materia en los extensos espacios interestelares; parece que el Universo evoluciona hacia un estado estacionario de equilibrio térmico a muy baja temperatura, que se alcanzará tal vez en algún tiempo futuro muy remoto, cuando todo el combustible nuclear se haya agotado, y todas las estrellas se hayan vuelto frías, convirtiéndose en objetos inertes.

A partir del «estado-cero» y tras una formidable explosión (big-bang) se supone que comenzó la evolución de nuestro Universo. Cuando, transcurrido un tiempo de la misma, la fuerza de la gravedad empezó a dominar sobre la propiedad dispersiva de la radiación caliente, se inició una jerarquía de condensaciones, que comenzó con la fragmentación de la materia, inicialmente difusa y uniforme, en enormes nubes, a partir de las cuales posteriormente se originaron las galaxias.

**Algunas consideraciones finales**

En esencial una comprensión de las cuatro fuerzas conocidas en la naturaleza para entender las estructuras del Universo y la manera en que éstas

evolucionaron a lo largo de unos 20.000 millones de años (la supuesta edad del Universo), a partir de la primitiva materia indiferenciada.

Cada una de esas fuerzas es preponderante en un dominio diferente: la fuerza nuclear es dominante en el núcleo del átomo; la fuerza electromagnética ejerce su dominio entre el núcleo y los electrones de los átomos, y entre los átomos de las moléculas; la fuerza gravitatoria gobierna los movimientos de las estrellas y demás objetos cósmicos; la cuarta y más misteriosa de las cuatro fuerzas es la interacción débil, que es operativa entre protones, electrones y neutrinos, y es responsable de aquellas situaciones muy raras en que un protón, un electrón y un neutrino se reúnen para formar un neutrón.

Así, las transformaciones a escala astronómica son impulsadas esencialmente por interacciones nucleares o gravitacionales. El Universo puede considerarse un sistema en el que las interacciones nucleares y gravitacionales alternan, estando estas últimas asociadas a acontecimientos violentos. (Por supuesto, es una aproximación a una realidad muy compleja; por ejemplo, la energía de los quasars sigue estando hoy día sujeta a especulación.)

Desde el punto de vista físico, el Universo puede considerarse como un sistema que funciona cíclicamente, transformando, a favor de la energía gravitacional, la materia dispersa en agregados y volviendo a dispersar éstos (Fig. 10). Químicamente, en cambio, el Universo es un gran laboratorio de síntesis atómica, que funciona movido por la agitación térmica subproducto de la energía gravitacional, y que a su vez produce la energía de las estrellas como excedente. A diferencia del anterior, este proceso de síntesis es de carác-



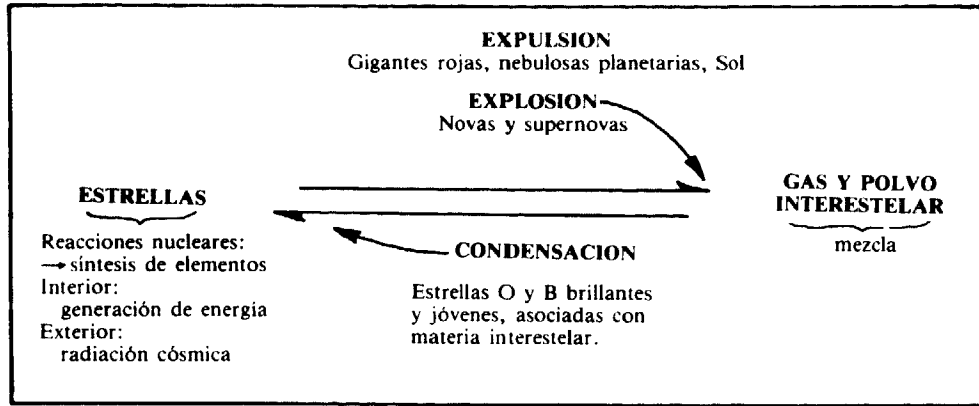


fig. 10

Proceso cíclico en el que la materia se transfiere de estrellas a gas interestelar, y viceversa.

ter irreversible y está modificando continuamente la composición química del Universo desde la inicial (de hidrógeno y helio) hasta otra más compleja, en la cual los restantes elementos están presentes en cantidades proporcionalmente inversas a sus pesos atómicos.

## IV. MODELOS COSMOLÓGICOS

En la actualidad, el universo es considerado homogéneo e isótropo en cuanto a la distribución de los objetos que lo constituyen, y es un hecho comprobado que está experimentando una expansión en la que cada cúmulo de galaxias se está alejando a gran velocidad de todos los demás.

Debemos hacer referencia a diversos modelos cosmológicos planteados para explicar las propiedades observadas del Universo: así, los de Einstein, Friedmann, Dirac, Hoyle, entre otros. Queda

planteado el debate actual en espera de que futuras observaciones nos permitan decidir entre los distintos modelos. ¿Se están alejando las galaxias a velocidades menores que la de escape, por lo que el espacio es finito y cerrado, de geometría riemanniana, o por el contrario, se expandirá indefinidamente en un espacio abierto e infinito? ¿Es estacionario (esto es, ha sido siempre igual y permanecerá igual), o evoluciona constantemente? (Fig. 11).

Los investigadores realizan cálculos referentes a las velocidades de recesión actuales y del pasado de las galaxias (el parámetro de deceleración), a la densidad media de materia del Universo, y a la variación en el tiempo de la concentración de galaxias y otros objetos celestes (comparando la actual con la de hace unos pocos miles de millones de años) (Fig. 12).

Las observaciones astronómicas de los últimos años han revelado la existencia de objetos celestes como cuasars y pulsars, y de acontecimientos que

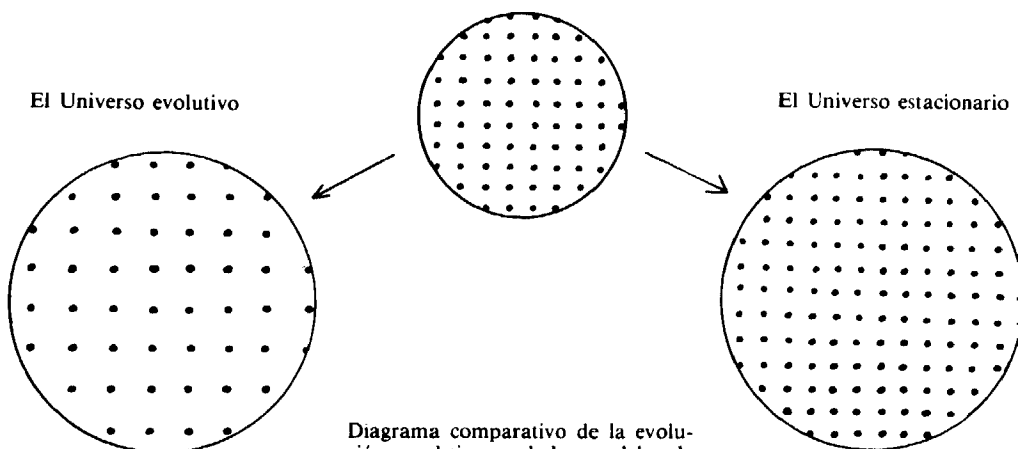


fig. 11

ni siquiera se sospechaban hace 20 años. Nuevos desarrollos en la teoría física, como el fenómeno del colapso gravitatorio, el efecto de la turbulencia magnética y la electrodinámica cósmica, el papel de la física nuclear en la comprensión de la evolución estelar, las explosiones de supernovas, etc., prometen cambiar la cosmología, e incluso, tal vez, la física fundamental derivada de nuestra experiencia terrestre. Probablemente la cosmología seguirá siendo durante mucho tiempo un motivo de discrepancia entre los científicos.

**Gráficas logN-logS calculadas por Ryle para diversos modelos y la obtenida a partir de datos experimentales de contaje de radiofuentes.**

( $N$  número de radiofuentes dentro de una esfera de radio  $r$ ;  $S$  densidad de flujo sobre la superficie de la esfera).

A - modelo de un universo que consiste en radiofuentes de idéntica potencia, en reposo y distribuidas uniformemente en un espacio euclidiano.

B - modelo relativista de Einstein y De Sitter, en expansión continua dentro de un espacio euclídeo.

C - modelo del estado estacionario.

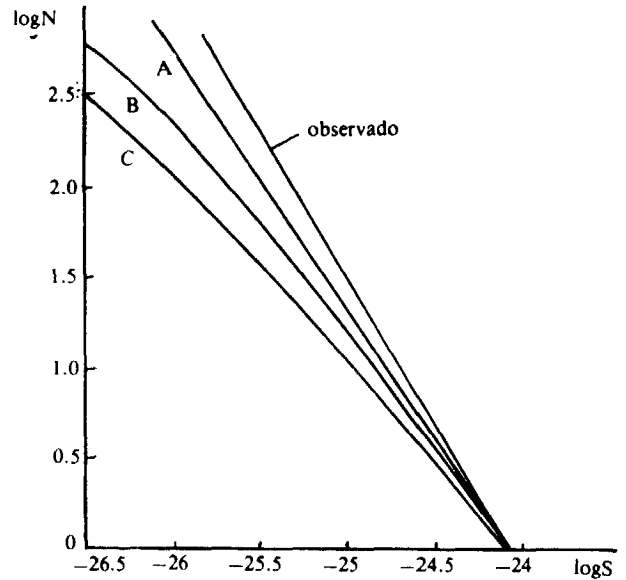


fig. 12a

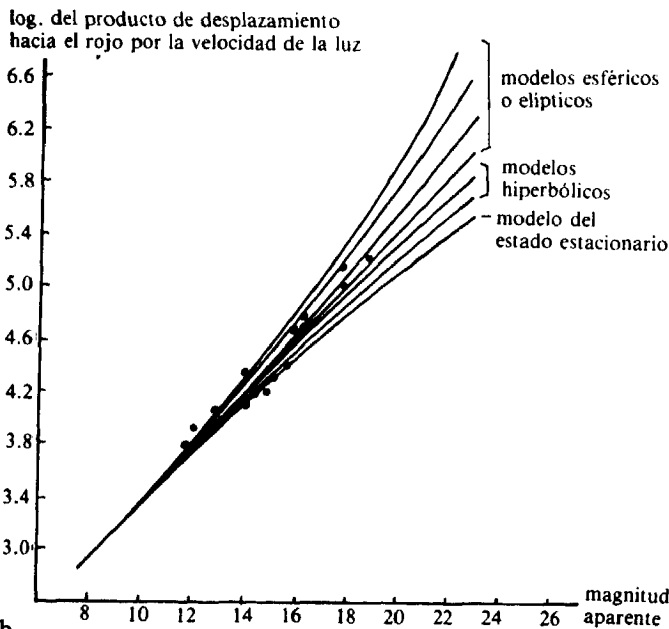


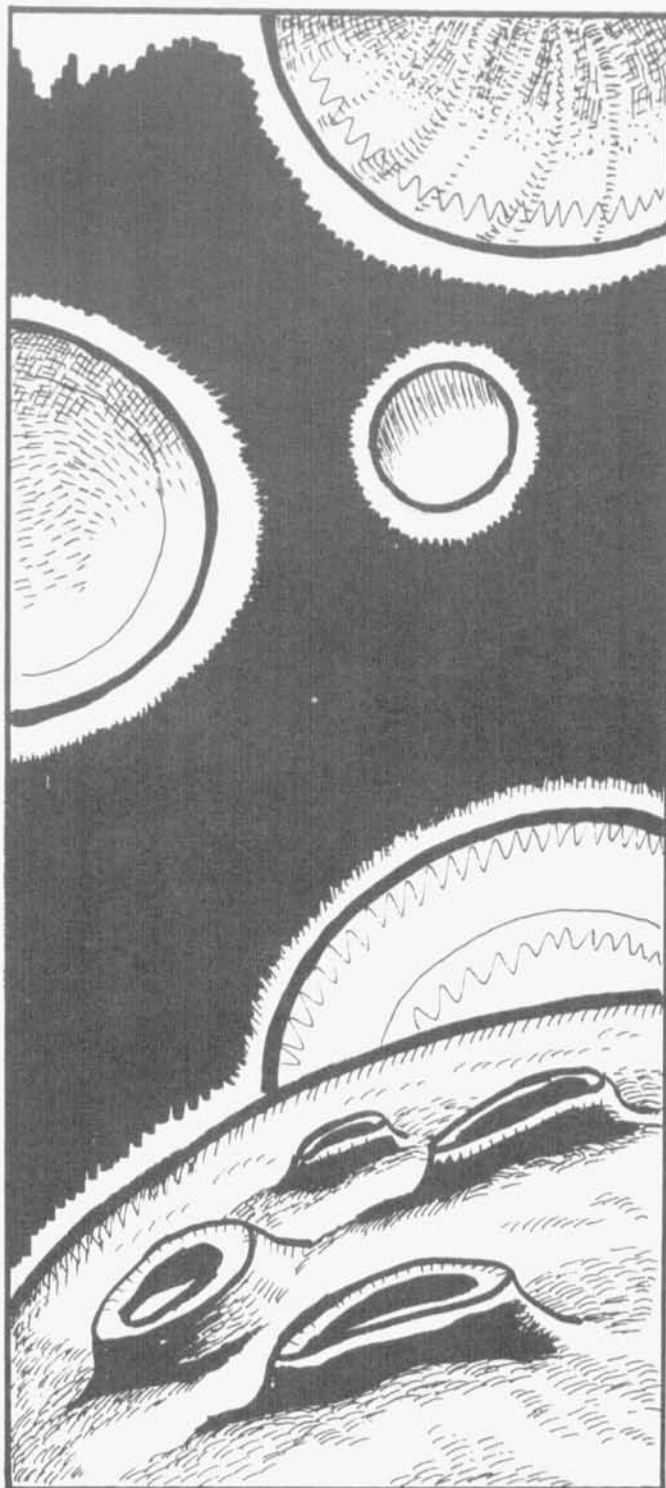
fig. 12b

**Datos de Sandage y Baum, en una gráfica del logaritmo del corrimiento hacia el rojo, según la magnitud aparente.**

Se observan algunas de las curvas teóricas predichas para unos cuantos modelos tipo «big-bang» y el modelo del estado estacionario.

## BIBLIOGRAFÍA

- TOMILÍN, A. N.: *Algo ameno e interesante sobre Cosmogonía*. Mir, Moscú, 1979.
- BUECHE, F.: *Ciencias Físicas*. Reverté, Barcelona, 1978.
- LEZAMETA, M. E.: *¿Cómo es el Universo?* Bilbao, ICE Univ. País Vasco, 1981.
- BONDI, H. y otros: *Cosmología; actualidad y perspectivas*. Labor, Barcelona, 1977.
- CLOUD, P.: *El cosmos, la Tierra y el hombre*. Alianza, Madrid, 1981.
- VARIOS: *El mundo de los astros*. Montaner y Simón, Barcelona, 1979.
- VARIOS: *El Sistema Solar*. Blume (Selecciones de *Scientific American*), 1977.
- VIDAL, J. M.: *El Sistema Solar*. Salvat, Barcelona, 1975.
- ASIMOV I: *El Universo*. Alianza, Madrid, 1973.
- MOTZ LLOYD: *El Universo*. A. Bosch, Barcelona, 1979.
- HACK M.: *El Universo*. Labor, Barcelona, 1969.
- CANAL R.: *Estrellas, cúmulos y galaxias*. Salvat, Barcelona, 1975.
- SCHATZMAN, E.: *Estructura del Universo*. Guadarrama, Madrid, 1968.
- AGUEDA J. y otros: *Geología*. Rueda, Madrid, 1977.
- Von DITFURTH, H.: *Hijos del Universo*. Plaza y Janés, Barcelona, 1973.
- HOYLE, F.: *Iniciación a la astronomía*. Blume, Madrid, 1979.
- DUCROCQ, A.: *La aventura del cosmos*. Labor, Barcelona, 1968.
- CANAL, R. y LAPIEDRA, R.: *Origen y evolución del Universo*. Salvat, Barcelona, 1975.
- SINGH, J.: *Teorías de la cosmología moderna*. Alianza, Madrid, 1979.
- SAGAN, C. y SCHKLOVSKII, I. S.: *Vida inteligente en el Universo*. Reverté, Barcelona, 1981.
- Diversos artículos publicados en la revista *Investigación y Ciencia*. Blume, Madrid.



# 1000 Textos a tu alcance



## edelvives

---

*Desde 1890, los  
TEXTOS EDELVIVES  
educan  
al alumno  
español.*

*Nuestros autores, nuestros  
ilustradores y nuestro taller  
de artes gráficas sirven  
a la docencia del profesor  
y a la formación del alumno.*

---

### DELEGACIONES

#### **BARCELONA**

Teléfonos: (93) 230 04 00 y 230 04 09  
350 97 89 y 354 02 18

**BILBAO** • Teléfono: (94) 449 41 26

#### **CANARIAS: LA LAGUNA**

Teléf. (922) 25 29 61

**LAS PALMAS** • Tel. (928) 37 28 32

#### **MADRID**

Teléfonos: (91) 215 24 85 y 215 87 70

**MÁLAGA** • Tel. (952) 39 51 66

**OVIEDO** • Tel. (985) 23 70 98

#### **SEVILLA**

Teléfonos: (954) 64 56 30 y 64 56 95

#### **VALENCIA - BENIPARRELL**

Teléfonos: (96) 120 14 77 y 120 15 10

**VALLADOLID** • Tel. (983) 25 98 01

**VIGO** • Teléfono: (986) 29 87 69

#### **ZARAGOZA**

Teléfono: (976) 34 45 10

PREESCOLAR • EGB • BUP • COU • FP • MANIPULADOS