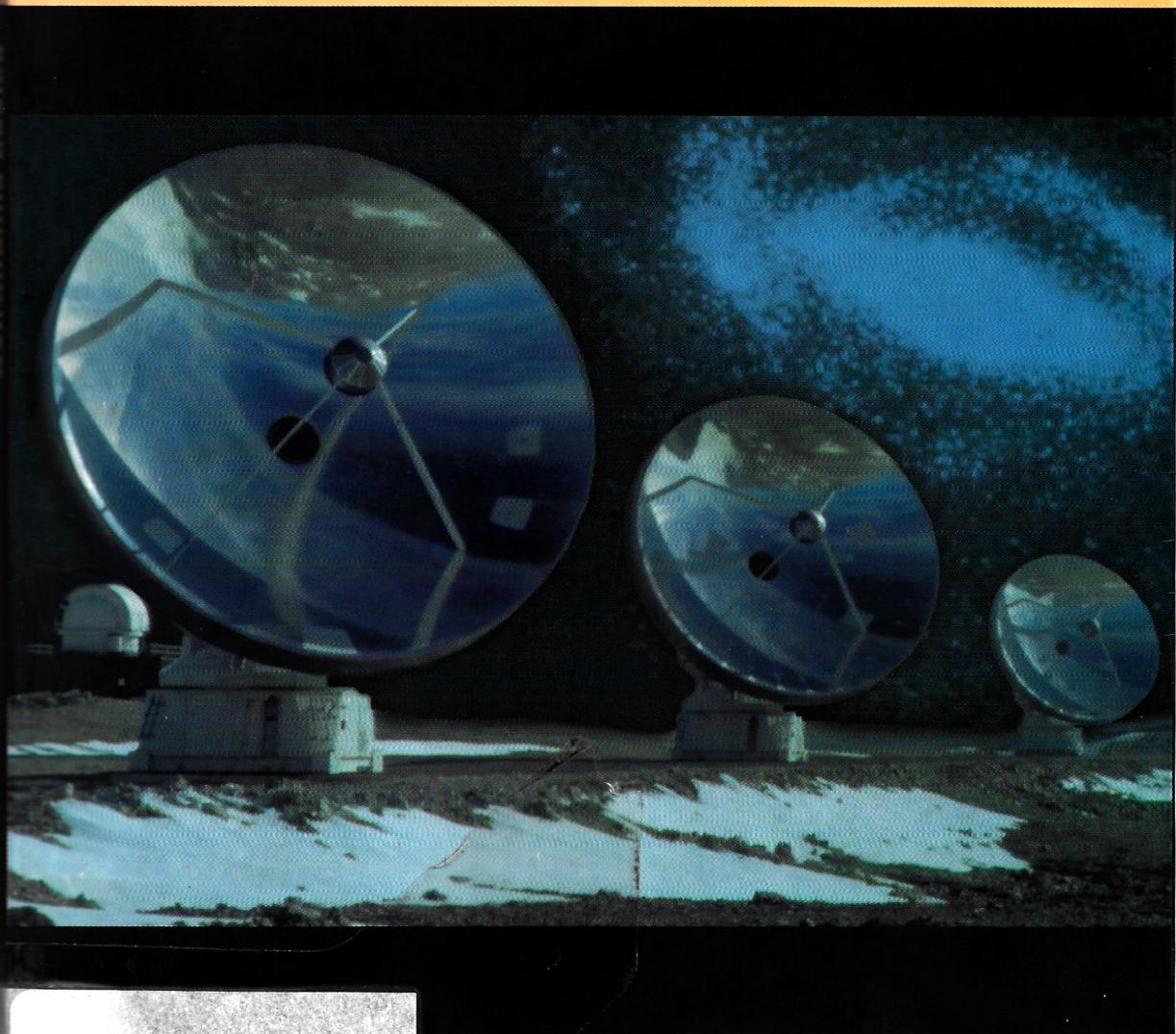


# Astronomía básica

JOSÉ ANTONIO GARCÍA BARRETO



QB61/G37



13651

S  
AS  
ARIAS

TEXTO CIENTÍFICO  
UNIVERSITARIO

# Así nomás

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra  
—incluido el diseño tipográfico y de portada—,  
sea cual fuere el medio, electrónico o mecánico,  
sin el consentimiento por escrito del editor.

D.R. ©, 2000, Universidad Nacional Autónoma de México  
Edificio de la Coordinación Científica, circuito exterior,  
Ciudad Universitaria, México, D.F.

D.R. © 2000, FONDO DE CULTURA ECONÓMICA  
Carretera Picacho-Ajusco 227, 14200 México, D.F.

ISBN 968-16-6092-7

Impreso en México

# IX. MATERIAL INTERESTELAR E INTERGALÁCTICO

## INTRODUCCIÓN

EN PÁGINAS anteriores hemos hablado acerca de los conceptos básicos que llevaron a la humanidad a darse cuenta de la realidad de la naturaleza que la rodeaba. Se tiene ahora la firme idea de que es la Tierra la que da vueltas alrededor del Sol. También podemos concluir que la Vía Láctea no está formada de un fluido, sino que está formada de un sinnúmero de estrellas a las que ahora llamamos nuestra galaxia. Esta galaxia es sólo una de varias "islas", como Kant sugería en sus tratados de filosofía, y con la ayuda de las observaciones realizadas en el siglo XX se confirma que existen muchas otras galaxias con formas diferentes. También se confirma que las otras galaxias están formadas por un sinnúmero de estrellas que van rotando alrededor del centro de cada galaxia.

## MATERIAL INTERESTELAR

Las observaciones de galaxias a fines del siglo XIX y principios del siglo XX revelaban la existencia de galaxias con diferentes formas, que requerían una clasificación morfológica. Las imágenes ópticas revelaban también que las galaxias no sólo estaban formadas de estrellas, es decir de objetos que emiten luz propia, sino que había zonas *oscuras* y zonas con objetos extendidos similares a las nebulosas de nuestra galaxia. ¿Cuál era la naturaleza de estas zonas oscuras y de las nebulosas?

Otra vez el desarrollo de la instrumentación dedicada a la observación astronómica desempeñó un papel importante, ya que fueron varias las observaciones que a fines del siglo XIX y principios del siglo XX indicaron la presencia de líneas de absorción correspondientes al átomo de calcio ionizado (es decir, que ha perdido electrones) de un sistema binario de estrellas.

¿Existe gas entre una estrella y otra, o este gas era asociado al sistema binario de estrellas?

Esas observaciones fueron hechas por J. Hartmann en el año 1904, pero no fue sino hasta el año 1922 cuando otras observaciones del mismo sistema binario indicaban que la hipótesis de que la nube de gas de calcio era parte de la atmósfera de una de las estrellas (del

sistema binario), era la más satisfactoria. Esto sugería que la detección del gas era confirmada, pero que ese gas pertenecía a las atmósferas de las estrellas.

Las décadas subsecuentes presenciaron el arduo trabajo de teóricos y observadores para tratar de dilucidar si en realidad existía material entre una estrella y otra. Varios observadores encontraron líneas de absorción de calcio cuando al dedicar su atención a estrellas de tipo espectral O y B, notaron que la intensidad de dichas líneas variaba con respecto a la distancia de las estrellas. La velocidad radial que indicaban estas observaciones mostraba las características de una forma sinusoidal de doble ángulo (justo lo que se esperaba para una rotación galáctica, como se describió en el capítulo anterior), pero con una amplitud que correspondía a la mitad de la distancia a las estrellas, justo lo que se esperaría si es que hubiese gas uniformemente extendido desde el Sol hasta la estrella. Las observaciones de Plaskett y Pearce indicaban que debería de haber gas (calcio) más o menos extendido de manera uniforme en el espacio entre las estrellas.

Fue Eddigton quien dio las bases físicas para la teoría moderna de gas interestelar al desarrollar las expresiones para la temperatura cinética del gas y los niveles de ionización de los supuestos átomos que existían en el medio interestelar.

Era por esa misma época (principios del siglo xx) cuando otras observaciones sugerían la existencia de partículas sólidas de *gran* tamaño, comparado con el de los átomos. Actualmente se sabe que esas partículas de gran tamaño son partículas de polvo. La existencia de ese material sólido se fue sugiriendo y aceptando al cabo de muchas observaciones de estrellas y sobre todo de experimentos para contar estrellas de diferentes regiones de la Galaxia.

Al realizar esa tarea se daban cuenta de que la luz de ciertas zonas de la galaxia era *menor* que la luz de otras zonas. Las observaciones de cúmulos globulares en cierto tipo de estrellas indicaban la brillantez que se debería esperar precisamente de ese tipo de estrellas. Al observar en otra parte de la Galaxia estrellas del mismo tipo, pero con menor brillantez se empezaba a sospechar la existencia de una cortina de material absorbente.

¿Qué naturaleza debería de tener ese material absorbente? En primer lugar, había de ser *extendido*, pues debería de abarcar una zona grande del cielo; por la misma razón, no debería de ser puntual; debería de estar constituido por material que absorbe la luz y la refleja. Se pensó en partículas de polvo. El lector se preguntará, ¿por qué polvo y no planetas u otros objetos más grandes, como satélites o lunas? La respuesta tomó varios años en obtenerse. La idea central consistió en que

la supuesta cortina de material debería de ser uniforme en el espacio que ocupaba para cubrir diferentes zonas de la Galaxia y también debería de absorber la luz de las estrellas, pero sin contener mucha masa, ya que de lo contrario ejercería una fuerza gravitacional que afectaría la cinemática de otros cuerpos celestes. A la vez la cortina absorbente debería de absorber principalmente luz azul y un poco menos luz roja, justamente como lo sugerían las observaciones.

Otra evidencia de la existencia de la cortina absorbente en nuestra galaxia son las observaciones de Van de Kamp de galaxias externas en regiones cercanas al polo galáctico, es decir, observó más galaxias externas hacia esas regiones que hacia regiones dentro del plano de la Galaxia. Esas observaciones sugerían que la cortina absorbente se encontraba principalmente en el disco de la Galaxia. Además, las observaciones de galaxias externas vistas de canto exhibían una banda *oscura* en las regiones correspondientes a su disco o plano de rotación. Por el año 1935 ya se aceptada la idea de que había esa cortina absorbente formada por partículas de polvo y que debería de estar uniformemente distribuida en el disco de las galaxias.

Desde la década de 1930 el conocimiento que se tenía sobre la naturaleza del material interestelar ha ido cambiando notablemente, como consecuencia, entre otras cosas, del sinnúmero de observaciones. Dos de ellas tienen importancia predominante:

- una observación indicaba que ni el gas ni el polvo estaban uniformemente distribuidos en la galaxia. Observaciones espectroscópicas indicaban que la velocidad radial del gas presentaba diferentes valores para diferentes regiones de la galaxia, lo que sugería que tanto el gas como el polvo estaban concentrados en nubes con dimensiones irregulares pero extendidas y en asociaciones. Estas ideas se veían fortalecidas por las fotografías de nuestra galaxia y de galaxias externas, donde se observaban regiones del cielo con dimensiones irregulares oscureciendo el fondo brillante de las estrellas (figuras IX.1 y IX.2).
- Las observaciones del gas hidrógeno atómico han configurado la segunda idea que ha revolucionado los conocimientos del material interestelar. Las observaciones de hidrógeno atómico (HI) se iniciaron después de la segunda Guerra Mundial, tras la predicción teórica de la existencia de una línea de emisión del gas HI con longitudes de onda correspondientes a las ondas de radio. Esta longitud de onda es de 21 cm y corresponde a una frecuencia de  $1420 \times 10^6$  Hz. La emisión se debe a la pérdida de energía que tiene el átomo de hidrógeno. El átomo de hidrógeno tiene un protón y un electrón, cada uno con su

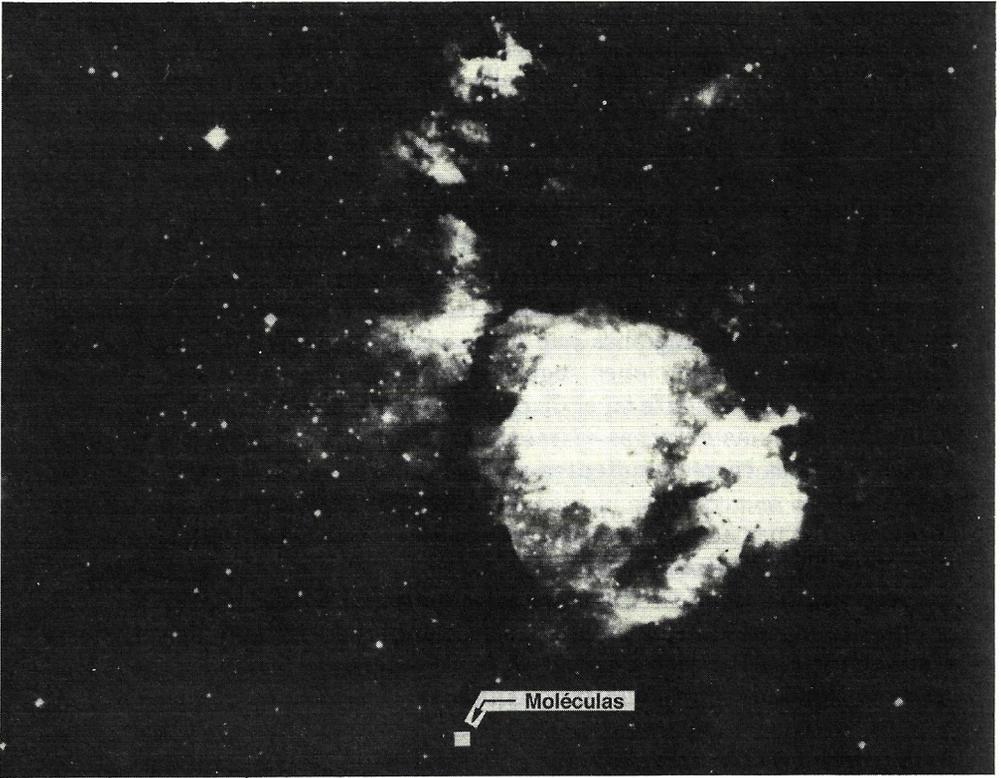


FIGURA IX.1. Fotografía óptica de la región conocida como W3 en nuestra galaxia, a una distancia de 9 000 años luz. Se observa la extensión de gas y polvo formando lo que se conoce como nubes interestelares. El gas y polvo absorben y reflejan la luz de las estrellas por detrás. (Palomar Observatory, California Institute of Technology).

eje electromagnético o espín. Si los ejes son antiparalelos, el átomo está en su nivel más bajo de energía y por lo tanto está en equilibrio. Si los ejes son paralelos, el átomo está excitado y se encuentra en un nivel más alto de energía. Eventualmente, los átomos de hidrógeno pierden esa energía extra y pasan a su estado de equilibrio. Esta energía extra escapa del sistema en forma de un fotón de radiación electromagnética con frecuencia dada por  $\Delta E = h\nu$ , donde  $h$  es la constante de Planck (figura IX.3). Por procesos físicos que tienen que ver tanto con la estadística de población de los niveles como con procesos cuánticos de los átomos, cabe mencionar que estos procesos están fuera del alcance de estudio de estas notas. Las observaciones de esta línea de hidrógeno han posibilitado la determinación de la

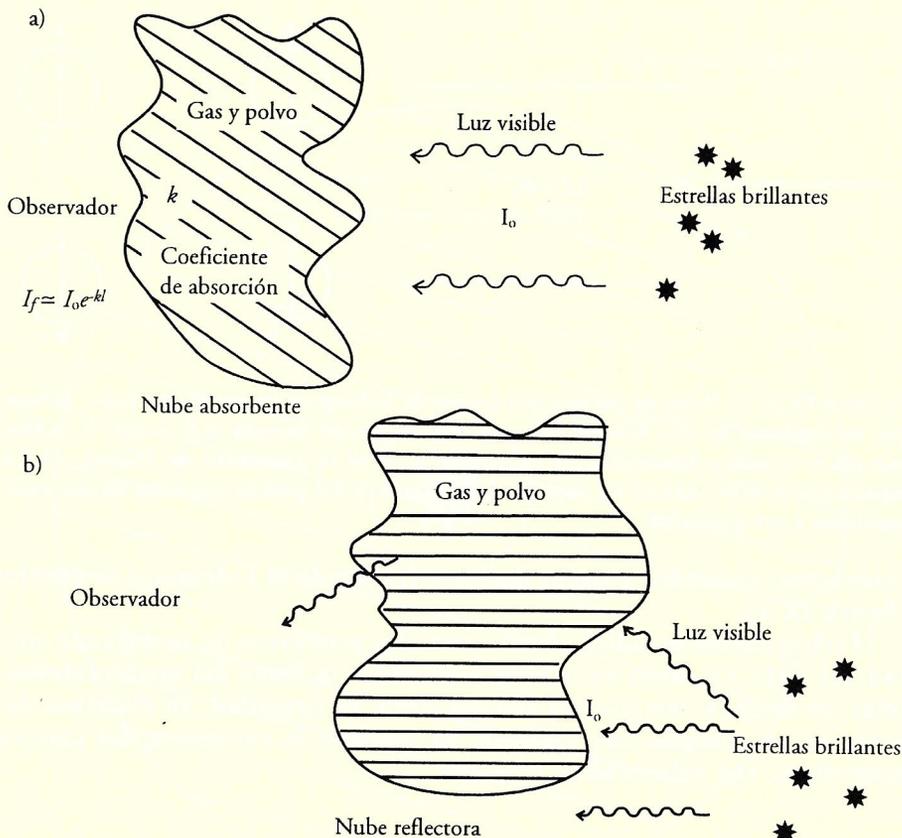


FIGURA IX.2. a) Diagrama esquemático de una nube absorbente compuesta de gas y polvo que se encuentra entre el observador y estrellas lejanas. b) Diagrama similar al anterior, donde se muestra una nube reflectora compuesta también de gas y polvo. Esta nube sólo refleja parte de la luz de las estrellas lejanas.

distribución espacial de las nubes de gas atómico, sus velocidades de movimiento y una estimación de su temperatura.

Diversos desarrollos teóricos también han ayudado al avance del conocimiento del medio interestelar. En particular los estudios del astrofísico Strömgen describían las regiones donde el gas de hidrógeno estaba completamente ionizado y donde el gas estaba neutro alrededor de estrellas tipo O y B. A esas regiones se les conoce actualmente como regiones H II o regiones donde el hidrógeno ha perdido su electrón

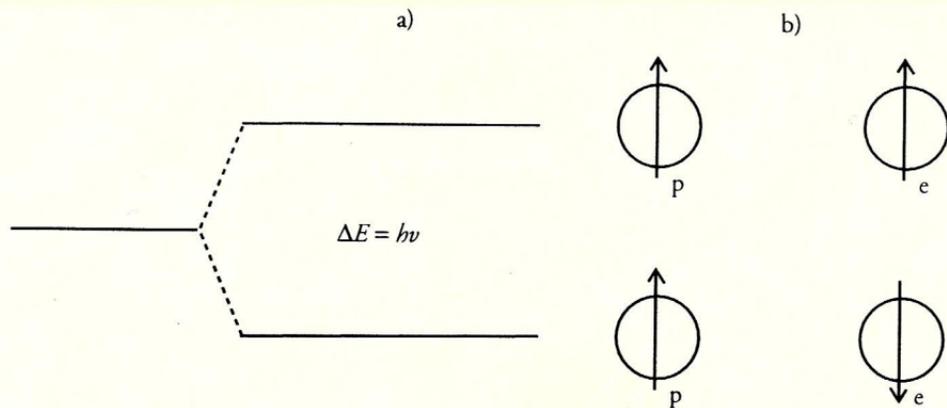
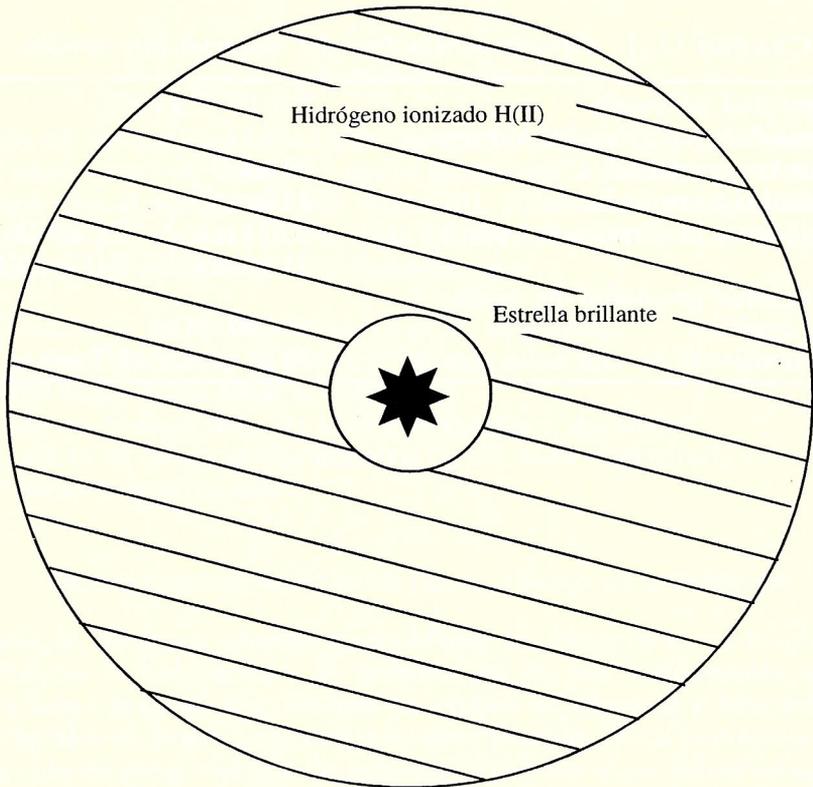


FIGURA IX.3. a) Nivel de energía del átomo de hidrógeno en su estado base. Nótese que se desdobra en dos niveles con una separación de energía  $\Delta E = h\nu$ .  $E$  indica energía y  $\nu$  indica frecuencia de la radiación,  $h$  es la constante de Planck. b) La separación ocurre cuando los espines del electrón y del protón cambian de ser anti-paralelos a ser paralelos.

(hidrógeno ionizado) y como regiones H I donde el hidrógeno es neutro (figura IX.4).

Muchos de los estudios observacionales y teóricos de la segunda mitad del siglo XX están enfocados a entender la física del medio interestelar, es decir, a describir su temperatura, su densidad, su distribución espacial, su composición química, su presión, la existencia del campo magnético, sus velocidades, etcétera.

Hidrógeno atómico H(I)



Esfera de Strömgen

FIGURA IX.4. Esfera ideal de Strömgen alrededor de una estrella. La estrella tiene la suficiente energía como para ionizar el hidrógeno a su alrededor, y a esta zona se le conoce como región H II. La región fuera de esta esfera tiene todavía hidrógeno neutro (región conocida como H I). En una situación real existen otros átomos además del de hidrógeno y también polvo dentro y fuera de la región H II.

CUADRO IX.1. *Algunos parámetros del material interestelar.*

Densidad promedio	$2 \times 10^{-24} \text{ g cm}^{-3}$
Densidad numérica del hidrógeno neutro en nubes	$10 \text{ cm}^{-3}$
Velocidad promedio	$14 \text{ km s}^{-1}$
Velocidad isotérmica del sonido	$0.57 \text{ km s}^{-1}$ H I a 50K $11.0 \text{ km s}^{-1}$ H II a $10^4 \text{ K}$
Magnitud promedio del campo magnético	$3 \times 10^{-6} \text{ G}$
Dimensiones de una nube gigante	$50 \text{ pc } (1.5 \times 10^{20} \text{ cm})$