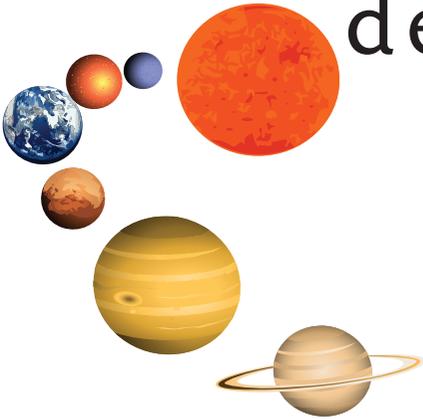


Galaxias de disco con barra

José Antonio García Barreto,
Edmundo Moreno Díaz y Tula Bernal Marín



Introducción

En el firmamento, además de objetos celestes puntuales como las estrellas, hay objetos luminosos y extensos a los que se denominó *nebulosas*.

Se detectaron en el siglo XVIII, cuando el astrónomo francés Messier elaboró un catálogo para distinguirlos de cometas. Esas nebulosas incluían lo que ahora conocemos como *nebulosas planetarias*, supernovas, remanentes de supernovas, cúmulos de estrellas, y galaxias. Y fue hasta inicios del siglo XX que con ayuda de observaciones espectroscópicas se determinó que la distancia a las nebulosas tipo galaxia era mayor que el diámetro de nuestra Vía Láctea, y se acuñó el nombre de *nebulosas (galaxias) extragalácticas* (Hubble, 1936).

Galaxias

Las galaxias son sistemas constituidos por miles de millones de estrellas. El astrónomo estadounidense Edwin Hubble, después de tomar fotografías de muchas galaxias, las clasificó de acuerdo con su morfología. Las agrupó en *elípticas* y *de disco*. Las galaxias de disco se caracterizan por presentar un diámetro mayor que su grosor (quizás en una razón mayor de 10 a 1), morfología de donde se origina su nombre. En las galaxias de disco las estrellas presentan movimiento, principalmente de rotación alrededor de su centro (Binney y Tremaine, 1987).

En años recientes la clasificación de las galaxias de disco trata de tomar en cuenta parámetros físicos co-

mo la velocidad de las estrellas y el gas, su distancia al centro de la galaxia y la masa global de la galaxia (estimando lo que se denomina el *momento angular*, Hernández y Cervantes-Sodi, 2006). Las galaxias de disco están constituidas, adicionalmente, por gas atómico (en su mayoría hidrógeno), gas molecular (en mayor parte hidrógeno molecular H_2 , la molécula más sencilla), plasma (átomos con carga positiva y electrones con carga negativa) y polvo. Los gases atómico y molecular presentan movimientos similares a los de las estrellas, en órbitas alrededor del centro del sistema.

En la clasificación de galaxias de disco, Hubble reconoció un subgrupo que presentaba una estructura luminosa central alargada hacia ambos lados del centro, a la cual denominó *barra*, por lo que a estas galaxias las llamó “galaxias de disco con barra”. Dentro de esta clasificación morfológica (estadística) se hace la suposición de que las galaxias de disco son intrínsecamente de forma circular o, si se prefiere, de forma cilíndrica (en tres dimensiones), de tal forma que “de frente” se observa morfología circular y “de canto” se observa un sistema muy delgado (Figura 1).

La luz indica masa

La luz que observamos de las galaxias es la suma de la luz que emiten sus estrellas. La luz de cada estrella es el resultado de las reacciones termonucleares que tienen lugar en su interior, y convierten elementos sencillos como hidrógeno en helio; helio en



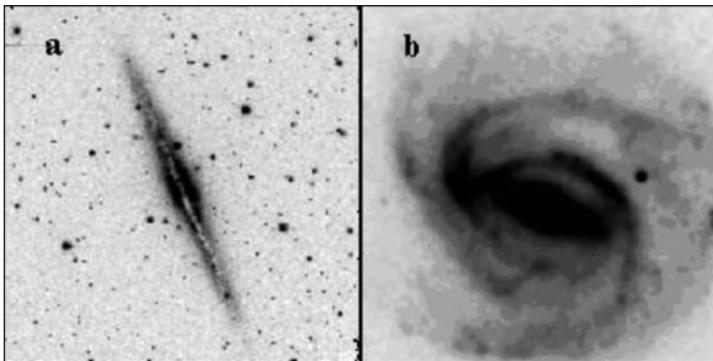


Figura 1. Morfología de las galaxias de disco: a) NGC 891, galaxia vista de canto (que se incluye dentro de la clasificación de galaxias de disco con barra), ©Digitized Sky Survey, Caltech; b) NGC 3367, galaxia vista de frente. En estas fotografías (en negativo), entre más oscura es la imagen, más intensa es la luz (García-Barreto y Rosado, 2000).

carbono; carbono en nitrógeno; nitrógeno en oxígeno, etcétera.

La reacción termonuclear simplificada para producir helio a partir de hidrógeno es



Esta reacción es *exotérmica*, es decir, debido a que la masa del lado derecho de la ecuación (helio) es menor que la del izquierdo (hidrógeno), la diferencia de masa se transforma en energía, de acuerdo con la fórmula de Einstein: $\text{energía} = (\text{diferencia de masa}) \times c^2$, donde c es la velocidad de la luz en el vacío (aproximadamente, 300 mil kilómetros por segundo). Esta energía viaja como radiación electromagnética de cualquier *longitud de onda* (la distancia entre cresta y cresta, o entre valle y valle en cada onda) y se le conoce como el *espectro electromagnético* (que abarca ondas de radio, luz infrarroja, luz visible, luz ultravioleta, rayos X y rayos gamma). El Sol, por ejemplo, emite 47 por ciento de radiación infrarroja, 45 por ciento en luz visible y el 8 por ciento restante en las otras longitudes de onda (ondas de radio, rayos X, rayos ultravioleta).

Sin embargo, en términos generales existen al menos dos tipos de estrellas: las que tienen masa y diámetro mayores que el Sol y llevan a cabo sus reacciones termonucleares en forma muy rápida, en comparación con el otro tipo de estrellas: aquellas cuya masa y diámetro son similares a los del Sol. Las primeras son es-

trellas de vida corta, pero que producen luz de alta energía (ultravioleta); las segundas tienen vida más larga y producen principalmente luz de baja energía (roja). Las estrellas de masas mayores que la del Sol se encuentran en el plano de la galaxia, o muy cerca de él, en algunos casos formando parte de los brazos espirales. Las estrellas similares al Sol y las que tienen menores masas se localizan principalmente en el plano de la galaxia y algunas fuera de éste.

Si pensamos que el Sol tiene cierta masa y emite cierta cantidad de energía por unidad de tiempo (luminosidad), podremos tener como referencia el cociente conocido como *masa-luminosidad*:

$$\frac{M}{L} = \frac{\text{Masa}}{\text{Luminosidad}}$$

Para el Sol, el cociente resulta:

$$\frac{M}{L} = 0.5 \frac{\text{g}}{\text{erg/s}}$$

En general, se omiten las unidades y sólo se indica el cociente, 0.5. Así, si detectamos luz proveniente de las galaxias, a partir de la aproximación con el cociente del Sol podemos estimar su masa (lo que se conoce como *masa luminosa*). Para galaxias de disco, los valores así calculados son de alrededor de 100 mil millones (10^{11}) de masas solares (es decir, 2×10^{38} toneladas, o un dos seguido de 38 ceros).

Otra forma de estimar la masa es a través de lo que se conoce como *masa dinámica*, que es la masa necesaria para lograr que las estrellas y gas en órbitas lejanas al centro de la galaxia tengan las velocidades que se les han medido.

A través de su emisión en la gama de radio, se ha detectado que existe gas neutro en algunas galaxias de disco a grandes distancias del centro, y que aun así tiene grandes velocidades de rotación. A esas distancias no se detecta luz visible, por lo que se infiere que el cociente masa-luminosidad debe ser muy alto, de 100 a 500 (para el Sol es de 0.5). La masa así estimada, que proviene de objetos poco luminosos, se conoce como *masa oscura*.

Galaxias de disco

La Figura 2 muestra una galaxia de disco, en la cual podemos apreciar que la luz más intensa proviene de la región central, a la cual genéricamente se le conocía como el *núcleo* de la galaxia.

A las regiones curvas brillantes y angostas alrededor del centro se les llama *brazos espirales*. Estas zonas constan de estrellas con masas y diámetros mayores que los del Sol. Como estas estrellas tienen una vida relativamente corta, la lógica sugiere que si estamos detectando luz de esas zonas es porque a pesar de que hay muchas estrellas que mueren, también hay el material suficiente (hidrógeno atómico, HI, e hidrógeno molecular, H₂) para que otras estrellas nazcan. Se dice que los brazos espirales son lugares de formación estelar reciente (Figura 3).

Del resto del disco de la galaxia proviene luz menos intensa, producida por estrellas similares al Sol. Estas estrellas tienen una distribución más homogénea (en distancia del centro y en ángulo azimutal) en el disco de la galaxia, y muchas se localizan a grandes distancias del centro.

Existe también, en casi todo el disco de la galaxia, gas atómico, principalmente hidrógeno atómico neutro, HI. El gas HI en una galaxia de disco se mueve principalmente alrededor del centro, lo que se conoce como velocidad de traslación (o azimutal). Un valor típico de la componente azimutal a una distancia del centro de la galaxia de 30 mil años luz es 150 kilómetros por segundo. En regiones cercanas al centro, la velocidad de las estrellas es la suma de las componentes en la dirección del plano, en la dirección arriba y abajo del plano y en la dirección azimutal. El resultado es que las estrellas se mueven en tres dimensiones en una distribución esferoidalmente simétrica formando una estructura que se denomina *bulbo central*.

En resumen, los componentes morfológicos de una galaxia de disco son: 1) el *disco*, donde existen estrellas que se trasladan alrededor del centro y cuya velocidad total está dominada por la azimutal; 2) los *brazos espirales* (contenidos en el disco), donde existen, además de gas y polvo, estrellas que emiten mucha luz; 3) el *bulbo central*, donde hay estrellas distribuidas esferoidalmente; 4) un *núcleo compacto* esférico dentro del bulbo central; y 5) el *halo*, que es donde existen estre-

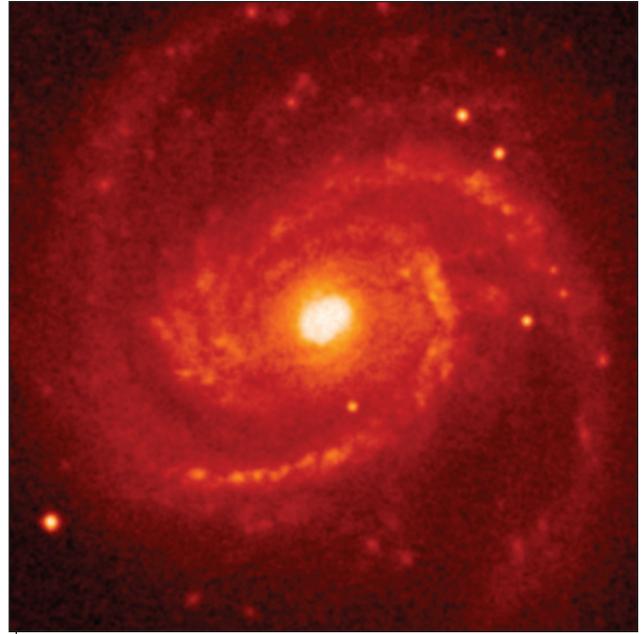


Figura 2. NGC 4321. Los intervalos de colores son artificiales, dados por la computadora: el blanco representa luz intensa; el anaranjado, menos intensa, y el rojo mucho menos intensa (©Digitized Sky Survey, Caltech).

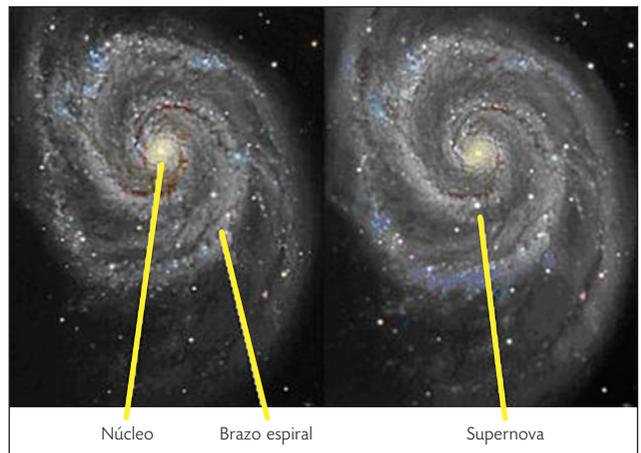


Figura 3. ©R. Jay GaBany; Cosmotography.com.

llas distribuidas esferoidalmente pero a grandes distancias del centro de la galaxia (Figura 4).

Galaxias de disco con barra

Las galaxias de disco con barra presentan una componente estelar prominente que se extiende hacia uno y otro lado de la región central. No se sabe cuál es el origen de la estructura de barra, pero se cree que

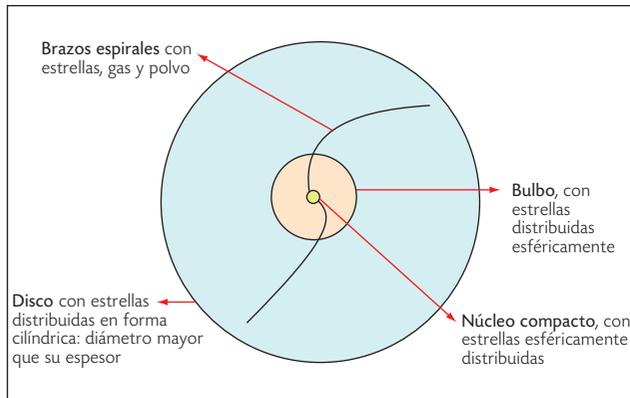


Figura 4.

es resultado de una inestabilidad del disco, para la cual el cociente de energía cinética de rotación (traslación) entre la energía gravitacional de la galaxia es grande (cociente mayor a 0.27; Ostriker y Peebles, 1973).

Las estrellas en esta estructura de barra no presentan rotación en órbitas circulares alrededor del centro, sino en órbitas elípticas en el plano, con su eje mayor en la dirección del eje mayor de la estructura. Dada su morfología (Figura 5), en la que el diámetro es mayor que el espesor y el grosor, quizás en una relación de 3:1:1, se le conoce en forma genérica con el nombre de “barra”. En muchas galaxias con barra los brazos espirales inician de los extremos de la barra (Figura 5). En la barra existen zonas de bajo brillo superficial constituidas por mucho polvo, gas frío (principalmente hidrógeno y monóxido de carbono) y plasma térmico (gas compuesto por protones y electrones con velocidades bajas en comparación con la de la luz), que se conocen como *canales de polvo*.

Existen varios catálogos de galaxias con posiciones en el cielo, magnitudes, diámetro y otras propiedades. Entre los más citados están el *Catálogo Messier*, el *Nuevo Catálogo General* (en inglés *New General Catalog*), creado en 1888 por Dreyer, y sus suplementos, y los *Catálogos Indexados* (en inglés *Index Catalog*). En ellos las galaxias se identifican por las siglas del catálogo y un número secuencial, por ejemplo NGC 5334 e IC 4338 indican la misma galaxia de disco; M51 y NGC 5194 se refieren a la misma galaxia conocida como la galaxia del remolino.

El catálogo de galaxias realizado por la Universidad de Harvard fue publicado originalmente por Shapley y

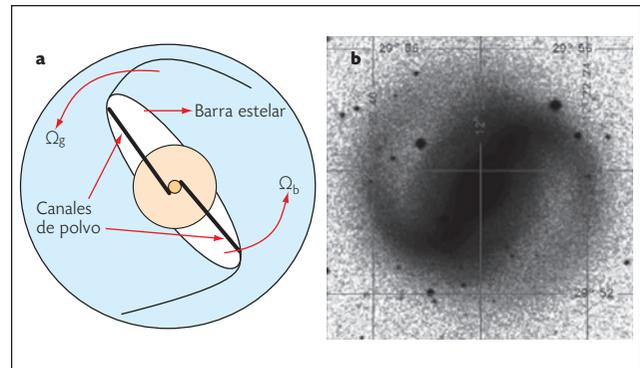


Figura 5. a) Esquema de una galaxia de disco con barra; b) Galaxia de disco con barra NGC 4314 (©Digitized Sky Survey, Caltech).

Ames (Sandage y Tammann, 1981) y contiene 1 246 galaxias brillantes y cercanas. En la segunda mitad del siglo XX se elaboraron dos catálogos más de galaxias: los *Catálogos de Referencia de Galaxias Brillantes* (de Vaucouleurs y de Vaucouleurs, 1964, conocido por sus siglas en inglés como RCI; y de Vaucouleurs, de Vaucouleurs y Corwin, 1977, conocido como RC2).

Actualmente se realizan observaciones del cielo en diferentes longitudes de onda óptica e infrarroja y se están elaborando catálogos de miles de galaxias, incluyendo las débiles. Estos catálogos se conocen como el *Catálogo del Cielo en longitud de onda de 2 micras* (conocido por las siglas en inglés 2MASS) y el catálogo principalmente en luz visible conocido como *Catálogo Digital Sloan del Cielo* (SDSS, por sus siglas en inglés). El *Catálogo Shapley-Ames* contiene 916 galaxias con morfología de disco (911 galaxias con brazos espirales y cinco con morfología irregular), 149 galaxias elípticas, 113 con morfología de disco pero sin brazos espirales (conocidas como S0) y 68 con morfología indefinida. De las 911 galaxias de disco, 270 presentan barras centrales, denotadas como SB, lo que significa casi el 22 por ciento.

Regiones circunnucleares

Algunas galaxias de disco con barra presentan regiones angostas en forma circular justo alrededor del núcleo central (García-Barreto y colaboradores, 1996). Un ejemplo se puede observar en la Figura 6. La parte izquierda muestra la galaxia de disco NGC 4314, con su barra brillante; la línea a la izquierda da la esca-

la vertical en segundos de arco (100"). La luz proviene del conjunto de estrellas en la galaxia. Los colores de la imagen están dados por la computadora para indicar la intensidad relativa: el color blanco es el más intenso; después el amarillo, anaranjado, rojo, y finalmente la menor intensidad está representada por el azul.

La figura de la derecha muestra la región central con un diámetro de sólo 10 segundos de arco. Se puede observar que la luz proviene de una región casi circular y angosta: es producida por el gas hidrógeno atómico, cuando su electrón realiza una transición del nivel cuántico principal 3 al nivel cuántico principal 2, conocida como emisión Ha. En esta región circunnuclear se están formando estrellas nuevas, muchas con mayor masa que el Sol, que proveen la energía suficiente para que el electrón cambie de nivel, del inferior (nivel 1) a niveles superiores (mayores que el nivel 2). Al perder energía, el electrón pasa de los niveles superiores al nivel 1, y cuando pasa del nivel 3 al 2, emite la luz que se observa.

Algunas preguntas básicas para describir galaxias de disco con barra son: ¿Cuál es el diámetro del disco? ¿Cuál es el diámetro del núcleo compacto? ¿Cuál es el diámetro del bulbo? ¿Qué ancho tienen los brazos espirales? ¿Qué ancho tienen los canales de polvo? ¿Qué forma tienen los canales de polvo: lineales o curvos?

¿Cuál es la velocidad azimutal del gas, Ω_g ? ¿Cuál es el diámetro de la barra estelar? ¿Cuál es la velocidad azimutal de la barra estelar, Ω_b ? ¿Cómo varía el brillo de la barra respecto a la distancia del centro de la galaxia? ¿Cómo se forman las regiones circunnucleares?

Para intentar contestar estas preguntas es necesario comparar la teoría con las observaciones. Como ejemplo, el diámetro de nuestra galaxia se estima en alrededor de 98 mil años luz (aproximadamente 30 mil parsecs; un parsec equivale a 3.26 años luz). En comparación, el diámetro de la galaxia con barra NGC 4314 es de 40 mil 750 años luz (12 mil 500 parsecs); el diámetro de la barra estelar es de 22 mil 300 años luz (6 mil 800 parsecs; Figuras 1 y 6) y el diámetro de la región circunnuclear es de aproximadamente 4 mil 240 años luz (mil 300 parsecs).

Una descripción simple de una barra estelar incluye su diámetro y el ángulo azimutal que hace su eje mayor respecto a una dirección; por ejemplo, el eje norte-sur del plano del cielo (Figuras 1, 5 y 6). Se acepta en nuestros días que las regiones circunnucleares son el resultado de la interacción (resonancia) de la barra estelar con las estrellas, gas y polvo en el disco de la galaxia ("Dinámica de estrellas y gas", más adelante). Esta interacción hace que el gas a grandes distancias del centro de la galaxia eventualmente pueda trasladarse a distancias cercanas a éste. En las regiones



Figura 6. Galaxia de Disco con Barra NGC 4314 (© UNAM).

circunnucleares aumenta la densidad del gas, y puede dar origen a nuevas estrellas.

Los telescopios conocidos como radiointerferómetros son capaces de producir imágenes a partir de la detección de ondas de radio, por ejemplo de gas atómico, HI; de gas molecular, CO, etcétera, y así indicar la distribución espacial del gas en la galaxia de disco con barra. También proporcionan la distribución espacial del gas a diferentes velocidades, lo que nos permite conocer la velocidad de rotación del gas a diferentes distancias del centro. La Figura 7 muestra en azul la distribución espacial del hidrógeno atómico HI (que emite ondas de 21 centímetros), detectada por el radiointerferómetro conocido como *Very Large Array* (VLA, o Arreglo Muy Grande, localizado en Nuevo México, que consta de 27 antenas de 25 metros de diámetro cada una). Nótese que el gas se puede localizar a grandes distancias del centro de la galaxia, donde ya no hay mucha luz visible.

La Figura 8 muestra en línea continua la distribución de la luz roja, resaltando principalmente la barra estelar central (Figura 1) y los límites del disco; y en tonos grises la distribución espacial de la emisión del plasma en ondas de radio tipo sincrotrón (donde electrones y protones se mueven a velocidades cercanas a la velocidad de la luz e interactúan con un campo magnético).

A las galaxias que presentan esta clase de procesos físicos se les conoce en términos generales como *galaxias con núcleos activos*. El eje de eyección del plasma (que emite radiación tipo sincrotrón) puede estar inclinado respecto al eje de rotación de las estrellas y gas en el disco de la galaxia. Es decir, el eje de eyección bipolar no necesariamente debe estar alineado con el eje de rotación de estrellas y gas en una galaxia de disco. A partir de la emisión tipo sincrotrón se puede estimar la dirección del campo magnético, el cual en primera aproximación es perpendicular al campo eléctrico de la emisión. En el ejemplo de la Figura 8, el lóbulo que se encuentra en la parte inferior derecha está fuera del plano del disco de la galaxia (cerca del observador), mientras que el lóbulo de la parte superior izquierda se encuentra detrás del disco de la galaxia (alejado del observador).

Dinámica de estrellas y gas

La velocidad de rotación de gas alrededor de una galaxia de disco se puede expresar en función de su distancia al centro, y se le conoce como *curva de rotación*. La Figura 9a muestra la gráfica de la velocidad (azimutal o de rotación) en el eje vertical contra la distancia r al centro de la galaxia en el eje horizontal. La Figura 9b muestra la velocidad angular Ω

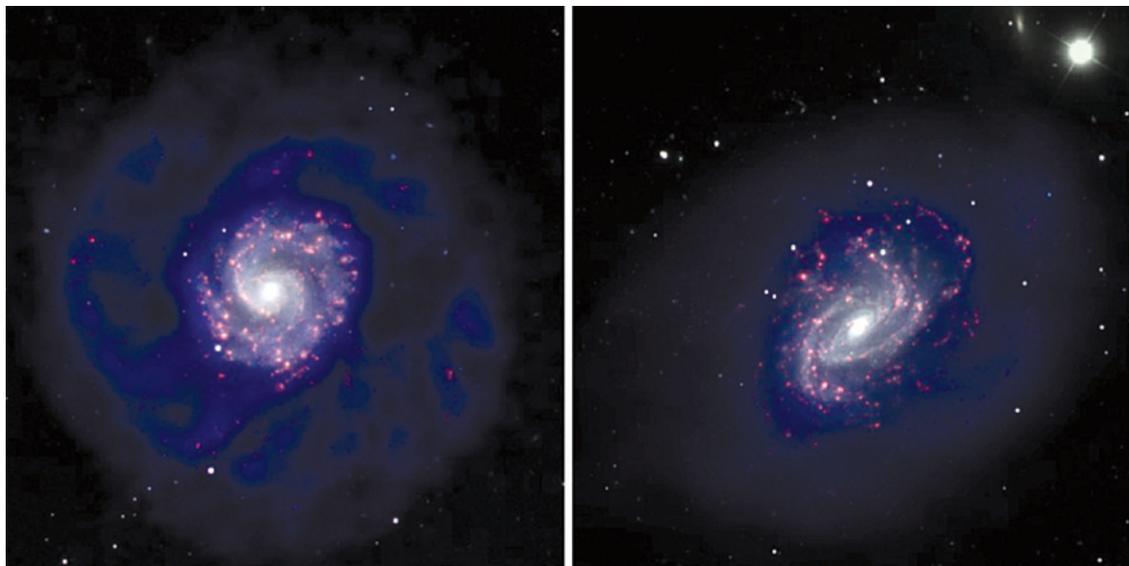


Figura 7. Distribución espacial del hidrógeno atómico (©National Radio Astronomy Observatory).

contra la distancia r al centro de la galaxia. Los brazos espirales y la barra estelar tienen velocidades angulares constantes dadas por Ω_{brazos} y Ω_{barra} ; es decir, la misma velocidad angular independiente de la distancia; estas velocidades se mostrarían en la gráfica de la Figura 9b como una línea horizontal.

En una galaxia de disco existen estrellas cuyo movimiento conjunto está dominado por su movimiento de traslación alrededor del centro de la galaxia, y por consiguiente la velocidad circular es la predominante (en este caso, se puede pensar en una estrella de masa m_2 en movimiento circular uniforme alrededor del centro de una estructura de masa m_1). Las fuerzas centrífuga y centrípeta están en equilibrio, es decir, la estrella se traslada alrededor del centro de la galaxia a una distancia r y a una velocidad $v(r)$ (Kleppner y Koltenkow, 1973). Esta igualdad de fuerzas nos indica que la velocidad del objeto con masa m_2 está expresada en términos de la masa interior al radio r , es decir, la masa m_1 y la distancia al centro de la galaxia. Si graficamos esta expresión con la velocidad en el eje vertical y la distancia en el eje horizontal nos da la Figura 10, en la que observamos que la velocidad disminuye proporcionalmente a la raíz cuadrada de la distancia, siempre y cuando la masa m_2 se encuentre a gran distancia de m_1 , y por tanto se puede considerar que la masa de m_1 está concentrada en su punto central y no es función de la distancia r , similar a la velocidad de traslación de los planetas alrededor del Sol.

Si ahora se considera el caso en el cual el objeto m_2 se encuentra dentro de la esfera donde está distribuida la masa m_1 , entonces la velocidad aumenta proporcionalmente con la distancia (García Barreto, 2000). La gráfica sería la que se ilustra en la Figura 11.

Las estrellas en las barras estelares no tienen órbitas (trayectorias) circulares, sino órbitas elípticas (lo cual le da la forma a la barra) alrededor del centro de la galaxia, a las que se les denomina órbitas x_1 , cuyo eje mayor es paralelo al eje mayor de la barra. Las órbitas x_2 son aquellas cuyo eje mayor es paralelo al eje menor de la barra, y por tanto son órbitas perpendiculares a las órbitas x_1 . Un dibujo ilustrativo está en la Figura 12a; la Figura 12b muestra la imagen de una galaxia de disco con barra conocida como NGC 3367.

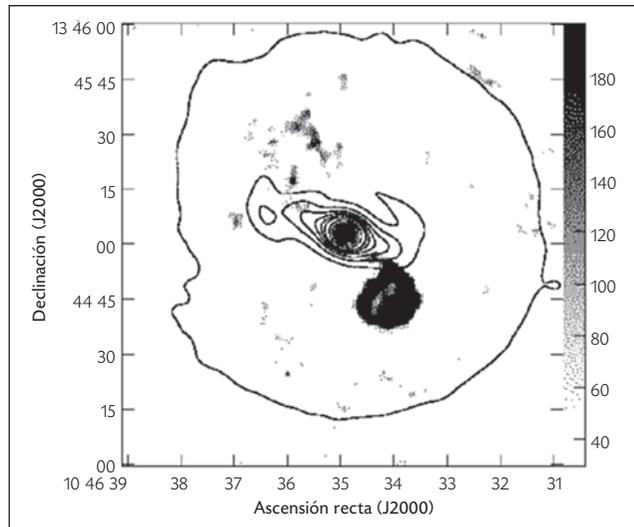


Figura 8. García-Barreto y colaboradores, 2002.

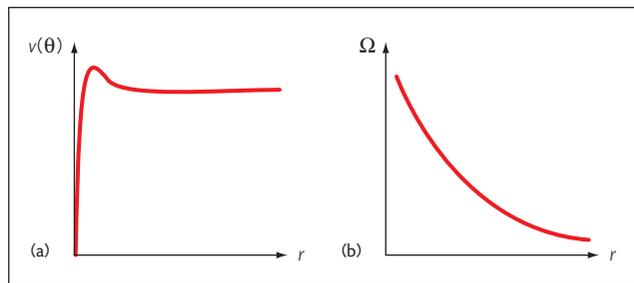


Figura 9.

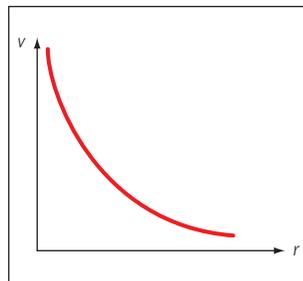


Figura 10.

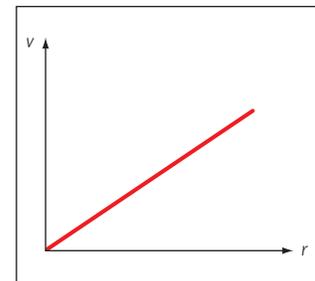


Figura 11.

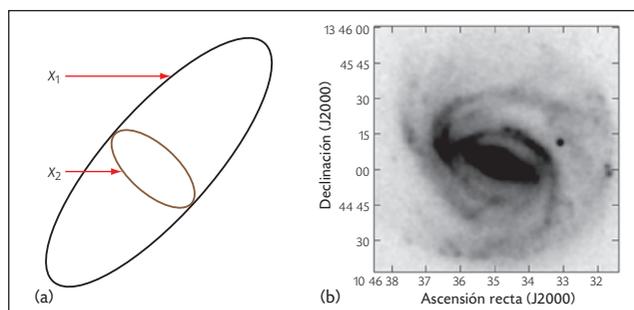


Figura 12. a) Órbitas en una barra; b) Galaxia NGC 3367 (García-Barreto y Rosado, 2000).

La velocidad lineal de traslación, en un movimiento circular uniforme, está relacionada con la fuerza de gravitación universal. Se puede decir que la velocidad depende de la raíz cuadrada del producto de la distancia por el cambio de la energía potencial gravitacional respecto a la distancia.

La fuerza gravitacional es el resultado de la fuerza ejercida por un objeto de masa M , y siempre está dirigida en dirección al objeto prueba de masa m ; es decir, sólo depende de la distancia entre los objetos, r , pero no depende de ninguno de los ángulos de posición: ni el azimutal, φ , ni el ángulo de elevación, θ . Cuando se encuentra una barra estelar en el disco de una galaxia, existe una interacción entre el movimiento de la barra y el movimiento de las estrellas y el gas en el disco, lo que resulta en movimientos peculiares que dan como resultado que el gas se traslade grandes distancias del centro de la galaxia a regiones cercanas al centro, pasando de las órbitas x_1 a las órbitas x_2 , y de ahí al núcleo de la galaxia. Si la cantidad de masa que logra llegar el núcleo de la galaxia es grande, entonces da lugar a un flujo bipolar galáctico como el que se muestra en la Figura 8.

Resumen

A principios del siglo XX, Edwin Hubble clasificó a las nebulosas extragalácticas, de acuerdo con su morfología, en elípticas y de disco. Adicionalmente, se observó que muchas galaxias de disco presentaban una estructura brillante a un lado y otro del centro, que se denominó barra estelar. Actualmente la clasificación indica galaxias de disco normales y galaxias de disco con barra.

Las estrellas y gas se trasladan en órbitas (trayectorias) casi circulares alrededor del centro de las galaxias de disco. Cuando existe una barra estelar, las estrellas siguen trayectorias elípticas a lo largo de su eje mayor (órbitas x_1) y también trayectorias elípticas a lo largo de su eje menor (órbitas x_2).

Es importante la observación de galaxias de disco con barra para determinar parámetros físicos como el diámetro de la barra; por ejemplo, el ángulo que hace el eje mayor de la barra con el eje norte-sur del cielo; la variación del brillo de la barra en función de la dis-

tancia al centro de la galaxia; la velocidad de traslación (rotación) de la barra, etcétera. La observación y detección de regiones circunnucleares es importante porque proporciona un método indirecto para estimar la velocidad angular de rotación (traslación) de la barra, Ω_{barra} . Por ejemplo, la masa de una barra estelar es aproximadamente 20 por ciento de la masa del disco, y el diámetro de una barra puede ser alrededor de un tercio del diámetro del disco. Nunca se ha observado una barra estelar mayor que el diámetro del disco.

Glosario

Parsec: unidad astronómica cuyo nombre proviene del acrónimo de dos palabras, *paralaje* y *segundo de arco*. Un parsec es la distancia a un objeto en la bóveda celeste, para el cual se mide un ángulo entre la línea Sol-objeto y la línea Tierra-objeto de un segundo de arco, tomando en cuenta que la distancia Tierra-Sol es una unidad astronómica. Un parsec equivale a 3.08×10^{16} metros.

Unidad astronómica: es la distancia promedio (del semi eje mayor de la elipse) entre la Tierra y el Sol. Una unidad astronómica equivale aproximadamente a 150 mil millones de metros y, escrito en notación exponencial, a 1.5×10^{11} metros.

Año-luz: es la distancia que viaja la luz en un año, cuando su velocidad es aproximadamente 300 mil kilómetros por segundo. Si se toma un año como 365.24 días y un día como 86 mil 400 segundos, entonces la distancia recorrida por la luz en un año es de aproximadamente 9.46×10^{15} metros.

Emisión Ha: es la radiación emitida por el gas hidrógeno cuando el electrón cambia su nivel de energía del nivel cuántico principal 3 al nivel 2. La longitud de la onda electromagnética es l aproximadamente igual a 6 562.8 angstroms (\AA), y está en la región roja del espectro visible.

Ángstrom (\AA): es una unidad de distancia; 1 \AA equivale a 0.0000000001 metros.

Luminosidad: en astronomía, es la cantidad de energía que emite un cuerpo celeste por unidad de tiempo. En física: a la energía por unidad de tiempo que emite un objeto se conoce como potencia, y sus unidades pueden ser Watts cuando la energía se mide en Joules y el tiempo en segundos.

Agradecimientos

JAGB agradece el apoyo parcial económico de DGAPA (UNAM) IN107806-2. Los autores desean agradecer al árbitro sus comentarios y sugerencias para mejorar el texto.

José Antonio García Barreto es doctor en física con especialidad en radioastronomía por el Instituto Tecnológico de Massachusetts. Es investigador del Instituto de Astronomía de la UNAM desde 1982, miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1985 y miembro de la Academia Mexicana de Ciencias desde 1994. tony@astrous.unam.mx

Edmundo Moreno Díaz es doctor en física por la UNAM. Es investigador del Instituto de Astronomía de dicha universidad desde 1991. Uno de sus temas de estudio es la dinámica estelar en astrofísica extragaláctica. edmundo@astroscu.unam.mx

Tula Bernal Marín estudió la licenciatura en física en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y actualmente es estudiante del Doctorado en Ciencias (Astronomía) en el Instituto de Astronomía de la UNAM. tbernal@astro.unam.mx

Lecturas recomendadas

- Binney, J. y S. Tremaine (1987), *Galactic dynamics*, Princeton, Princeton University Press.
- García Barreto, J. A. (2000), *Astronomía básica*, México, Fondo de Cultura Económica.
- García Barreto, J. A., J. Franco, R. Carrillo, S. Venegas y B. Escalante Ramírez (1996), "Spatial distribution of ionized gas in bright barred spiral galaxies: Ha images", *Revista mexicana de astronomía y astrofísica*, 32, 89-130.
- García Barreto, J. A., J. Franco y L. Rudnick (2002), "VLA high resolution 1.4 and 8.4 GHz mapping of the barred galaxy NGC 3367", *The Astronomical Journal*, 123, 1913-1921.
- García Barreto, J. A. y M. Rosado (2000), "Fabry-Perot Ha observations of the barred spiral NGC 3367", *The Astronomical Journal*, 121, 2540-2548.
- Hernández, X. y B. Cervantes-Sodi (2006), "A dimensional study of disk galaxies", *Monthly notices of the Royal Astronomical Society*, 368, 351-360.
- Hubble, E. (1936), *The realm of the nebulae*, New Haven, Yale University Press, reedición 1982.
- Kleppner, D. y R. J. Kolenkow (1973), *An introduction to mechanics*, Nueva York, Mc Graw-Hill.
- Ostriker, J. P. y P. J. E. Peebles (1973), "A numerical study of the stability of flattened galaxies: or, can cold galaxies survive?", *The Astrophysical Journal*, 186, 467-480.
- Sandage, A. y G. A. Tammann (1981), *A revised Shapley-Ames catalog of bright galaxies*, Washington, D. C., Carnegie Institution, publication 635.
- 2MASS: <http://www.ipac.caltech.edu/2mass>
SDSS: <http://www.sdss.jhu.edu/>

