

Las Galaxias: descubrimiento y clasificación

Empezaremos nuestro estudio de la astronomía galáctica con un capítulo de introducción sobre las galaxias. Primero, describiremos brevemente los antecedentes históricos del estudio de las galaxias en general y de nuestra Vía Láctea en particular. Esta sección se basa principalmente en el capítulo 1 del libro de Binney & Merrifield (1998). Después, describiremos las clasificaciones morfológicas más utilizadas de las galaxias, en especial la clasificación de Hubble. Para esta parte, nos basaremos en la sección 1.3 del libro de Sparke & Gallagher (2007) y la sección 4.1 de Binney & Merrifield (1998). Terminaremos con una breve descripción del Grupo Local, la pequeña agrupación de galaxias al que pertenece la Vía Láctea basada en partes del capítulo 4 de Sparke & Gallagher (2007).

1.1 Introducción histórica

1.1.1 Primeras Observaciones

En una noche sin polución luminosa, ni nubes, ni Luna, se puede distinguir a simple vista una estructura difusa blanca atravesando todo el cielo de un lado al otro (Fig. 1.1). Por su aspecto, tanto los antiguos griegos como los antiguos romanos la asociaron con leche. Los romanos la nombraron **Vía Láctea** (camino de leche), y los griegos **Galaxia**, término que deriva de la palabra griega que significa leche.

Durante muchos siglos no se entendió la naturaleza de esta estructura, de manera que se concibieron muchos mitos en su entorno. El primer paso hacia una comprensión científica de la Vía Láctea se dio en 1610 cuando Galileo (1564-1642) apuntó su telescopio hacia ella y descubrió que estaba compuesta de una multitud de estrellas débiles. Durante el siglo XVIII, un astrónomo aficionado inglés llamado Thomas Wright (1711-1786) y el filósofo alemán Immanuel Kant (1724-1804) propusieron que la Vía Láctea era un sistema estelar aplanado (un disco) que parecía una banda debido a nuestra perspectiva desde adentro del sistema. Basándose en una analogía con el sistema Solar, Kant también propuso que para balancear el efecto de la gravedad, la Vía Láctea tenía que estar en rotación.



Fig. 1.1. Imagen de la Vía Láctea vista desde la Tierra. (© <https://astronomy.stackexchange.com/questions/22012/how-do-i-see-the-milky-way>).

Finalmente, propuso que muchas de las nebulosas débiles que en aquel momento ya se habían descubierto en todo el cielo, podían ser sistemas parecidos a la Vía Láctea, pero muy distantes, y los llamó las **Islas del Universo**, haciendo una analogía entre las galaxias en el Universo y las islas en un océano. Dada la poca cantidad de observaciones en las que se basaba, es muy notable que Kant haya llegado a una descripción tan similar a la visión moderna de la Vía Láctea y de la estructura del Universo en su conjunto –sabemos ahora que muchas de esas nebulosas son, en efecto, galaxias externas, es decir, sistemas estelares como el nuestro. Sin embargo, era fundamental llegar a una comprensión de la Vía Láctea basada más en las observaciones y menos en ideas puramente teóricas.

Un paso importante en esta dirección resultó del trabajo del astrónomo inglés de origen holandés William Herschel (1738-1822) quien decidió tratar de establecer la forma de la Vía Láctea contando estrellas en varias direcciones. Seleccionó casi 900 regiones repartidas en todo el cielo, y en cada una contó el número de estrellas que podía ver (es decir, hasta ciertos límites de brillo aparente). Suponiendo que las estrellas (i) tenían todas el mismo brillo intrínseco, (ii) estaban distribuidas uniformemente, y (iii) se podían ver hasta el límite de la Vía Láctea, pudo confirmar que la Vía Láctea era un sistema aplanado. Concluyó que el cociente entre el eje mayor y el eje menor era de $5 \div 1$, y que el Sol se encontraba cerca del centro del sistema. Sin embargo, como no tenía idea del brillo intrínseco típico de las estrellas que estaba viendo, Herschel no pudo derivar una estimación numérica del tamaño de la Vía Láctea ni de la distancia entre su centro y el Sol. La forma que encontró para la Vía Láctea se grafica esquemáticamente en la Fig. 1.2

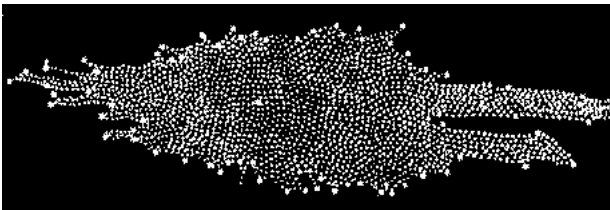


Fig. 1.2. Representación esquemática de la estructura de la Vía Láctea encontrada por William Herschel a partir de conteos de estrellas (Herschel 1785).

1.1.2 Las nebulosas

La propuesta de Kant ligó irremediablemente el estudio de la Vía Láctea con el de las llamadas **nebulosas**. Por definición, estas son objetos que, a diferencia de las estrellas, no aparecen como fuentes puntuales, sino que son resueltos: su aspecto en el cielo o en imágenes es el de manchas difusas. Una vez establecida la existencia de objetos nebulosos en el cielo, se procedió a establecer catálogos de ellos. El primer catálogo razonablemente completo fue el que hizo el astrónomo francés Charles Messier (1730-1818), quien diseñó un catálogo de nebulosas observadas desde el hemisferio norte. Curiosamente, este catálogo que ha sido muy útil en el estudio de objetos nebulosos fue realizado por Messier con el único fin de no confundir estos objetos con su verdadero interés: los cometas. Su catálogo contenía los 109 objetos nebulosos más prominentes del hemisferio norte, y sigue siendo usado comúnmente (el objeto número 31, escrito Messier 31, o simplemente M 31, es la galaxia de Andrómeda).

Por su parte, William Herschel, junto con su hermana Caroline y su hijo John, generó un catálogo mucho más extenso, de casi 5,000 objetos, logrando incluso identificar estrellas en algunas de las nebulosas. Eso lo convenció de que algunas de las nebulosas eran efectivamente las *Islas del Universos* de Kant. Hoy sabemos, sin embargo, que muchas de las nebulosas que Herschel resolvió en estrellas eran cúmulos estelares Galácticos, y no galaxias externas. Finalmente, Herschel se dio cuenta de que algunas de las nebulosas en su lista eran de una naturaleza totalmente diferente: tenían un aspecto muy liso con una sola estrella en su centro. Así, estableció la diferencia entre las nebulosas gaseosas (principalmente las nebulosas planetarias) y los sistemas estelares (cúmulos Galácticos y galaxias externas). Poco a poco, la lista original de objetos nebulosos de Herschel creció, y otro astrónomo inglés, John Dreyer (1852-1926) publicó listas cada vez más completas. Primero, vino el New General Catalog of Nebulae and Clusters of Stars (NGC) en 1888, que contenía 7,840 objetos; y luego, en 1894 y 1908, los Index Catalogs (IC) que contenían 5,086 objetos adicionales. Es interesante notar que los tres catálogos que hemos mencionado hasta ahora (Messier, NGC e IC) siguen siendo usados ahora.

Mientras Herschel y Dreyer completaban sus catálogos, el astrónomo irlandés William Parsons (1800-1867) construyó el telescopio más grande de la época (72 pulgadas, 1.8 metros), y encontró que las nebulosas que “por su aspecto” Herschel había clasificado como sistemas estelares, podían clasificarse en dos categorías. Unas eran perfectamente suaves y de forma elíptica, mientras que en otras se distinguía un patrón espiral. En estas últimas, que desde aquel momento llamaron **nebulosas espirales**, Parsons pudo identificar fuentes puntuales, que pensó eran estrellas (hoy día sabemos que no eran estrellas, sino grandes regiones H II). La rotación sugerida por la estructura espiral, y la existencia de estrellas dentro de las nebulosas espirales, convencieron a Parsons que dichas nebulosas eran en efecto las *Islas del Universos* de Kant.

La invención de la fotografía alrededor de 1830 (en la que John Herschel jugó un papel importante), y su aplicación a la astronomía al final del siglo XIX cambiaron drásticamente el estudio de la astronomía en general, y de la Vía Láctea y de las nebulosas externas en particular. Eso se debe a que los cambios de posición y de brillo se pueden estudiar cuantitativamente de manera mucho más precisa con placas fotográficas que visualmente en el ocular de un telescopio. Por lo tanto, los siguientes desarrollos en el estudio tanto de la Vía Láctea como de las nebulosas se hicieron gracias al uso de la fotografía.

1.1.3 Primeros modelos fotométricos de la Vía Láctea

El astrónomo holandés Jacobus Kapteyn (1851-1922) utilizó las capacidades de las placas fotográficas para realizar de manera mucho más precisa un conteo de estrellas similar al que había realizado Herschel. Con la ayuda de colegas en muchos países, compiló placas fotográficas de 200 áreas de todo el cielo tomadas en diferentes épocas. También midió movimientos propios, y tomó espectros de algunas de las estrellas para tratar de distinguir diferentes tipos estelares, y medir sus velocidades tangenciales y radiales. Eso le permitió, en particular, estimar tamaños físicos, algo que Herschel no había podido hacer. El producto final de este trabajo monumental se denomina comúnmente el **Universo de Kapteyn**, y fue publicado entre 1920 y la 1922. De acuerdo con las conclusiones de Herschel, Kapteyn encontró que la Vía Láctea era un sistema aplanado con un cociente de eje del orden de $1 \div 5$, y con el Sol cerca del centro, y obtuvo que su tamaño aproximado era de 15×3 kpc (Figura 1.3). En el modelo de Kapteyn, el Sol está a unos 650 pc del centro de la Vía Láctea, cuyo tamaño calculó en unos 15 kpc.

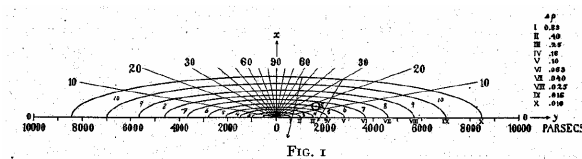


Fig. 1.3. Representación esquemática del modelo de Kapteyn (Kapteyn 1922).

Al propio Kapteyn le llamó la atención esta rara cercanía del Sol al centro Galáctico, y se dio cuenta de que una posible alternativa a sus conclusiones era la existencia de material interestelar. En efecto, material oscureciendo las estrellas lejanas podría introducir un sesgo que explicaría la posición central aparente del Sol. De hecho, zonas oscurecidas por absorción se pueden ver muy fácilmente en imágenes de la Vía Láctea (Fig. 1.1). Kapteyn estudió esta posibilidad, suponiendo que el oscurecimiento se debía a un gas tenue. Usando la teoría que describía este proceso (la dispersión de Rayleigh), demostró que para producir un efecto suficiente para afectar sus conclusiones, el gas hubiera debido producir enrojecimiento muy fuerte de la luz estelar. El hecho de que no se observaba este enrojecimiento lo llevó a concluir que podía ignorar el efecto de la materia interestelar. Hoy en día sabemos que sí existe material interestelar, pero

que el efecto dominante no es el del gas, sino la absorción por polvo, que afecta el color mucho menos que la dispersión de Rayleigh.

Mientras Kapteyn trabajaba sobre su modelo, el astrónomo norteamericano Harlow Shapley (1885-1972) se dedicaba al estudio de los **cúmulos globulares**. Estos sistemas habían sido originalmente clasificados como nebulosos, pero en aquel momento ya se resolvían fácilmente en grupos de entre 100,000 y 1,000,000 de estrellas. Además, se sabía que se encontraban distribuidos en todo el cielo, y no solo en la banda luminosa estrecha que define la Vía Láctea. Shapley demostró que había más o menos el mismo número de cúmulos globulares de cada lado del plano de la Vía Láctea, pero que la distribución longitudinal no era uniforme (Fig 1.4). Por el contrario, encontró una concentración mayor de cúmulos globulares en la dirección de Sagitario que, por cierto, también es la parte más brillante del plano de la Vía Láctea. Shapley propuso que los cúmulos globulares pertenecían a la Vía Láctea, y que por lo tanto tenían una distribución espacial intrínseca centrada sobre ella. Si aparecían con mayor densidad en una cierta dirección era que el Sol no era en el centro del sistema, y que dicha dirección era precisamente la del centro Galáctico.

Usando estrellas variables como candelas de brillo intrínseco conocido, Shapley pudo estimar el tamaño del sistema de cúmulos globulares (aproximadamente 100 kpc), así como la distancia del Sol al centro de la Vía Láctea (15 kpc). ¡El Universo de Shapley era 10 veces más grande que el de Kapteyn!... Ahora sabemos que la estimación de Kapteyn era 5 veces más pequeña que el valor real, mientras que el de Shapley era 2 veces más grande. Paradójicamente, tanto Kapteyn como Shapley se equivocaron por no tomar en cuenta el polvo. El oscurecimiento que provoca explica por qué Kapteyn no podía ver hasta los límites de la Vía Láctea y obtuvo un tamaño inferior a la realidad. El efecto del polvo sobre los resultados de Shapley era más sutil: Shapley utilizaba estrellas variables para calibrar la distancia a los cúmulos globulares. La relación periodo-luminosidad de dichas estrellas había sido calibrada con estrellas en el plano Galáctico (donde hay bastante polvo), pero usada para estrellas en cúmulos globulares lejanos de plano. La diferencia de columna de polvo explica por qué Shapley obtuvo un tamaño mayor.

1.1.4 Naturaleza de las nebulosas espirales

El diámetro de 100 kpc que Shapley encontró para la Vía Láctea era mucho mayor a cualquier tamaño que se había manejado antes, y Shapley mismo consideraba como muy poco probable que existiera algo a distancias mayores. En particular, él veía imposible que las nebulosas espirales fuesen objetos similares a la Vía Láctea, pero fuera de ella, ya que sus tamaños angulares pequeños combinados con el tamaño intrínsecamente grande de la Vía Láctea implicaba que se encontraban a distancias enormes. Por esto, muchos astrónomos le creían más al modelo de Kapteyn que al de Shapley, y la comunidad se encontró dividida en dos campos. Para unos, la Vía Láctea era pequeña, y las nebulosas espirales

Shapley's Globular Cluster Distribution

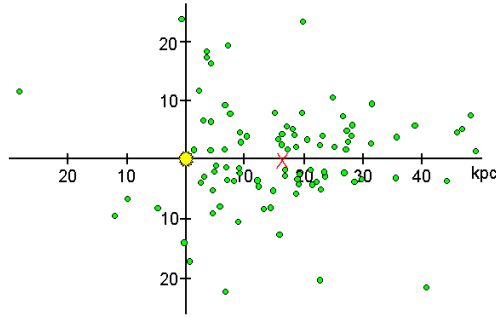


Fig. 1.4. Distribución de los cúmulos globulares Galácticos como función de la posición. El eje x corre a lo largo del plano de la Vía Láctea, y el eje y es perpendicular a dicho plano (Shapley 1919). En esta representación, el Sol se encuentra en el origen de coordenadas.

eran Islas del Universo. Para otros, la Vía Láctea era grande, y representaba todo el Universo. Esta situación llevó a George Hale (en aquel momento el director del observatorio del Monte Wilson) a organizar un debate entre los dos grupos en 1920 en la Academia de Ciencias de Estados Unidos. Esta confrontación (que finalmente opuso al propio Shapley y a Heber Curtis 1872-1942) quedó registrada como el **Gran Debate**, aunque en realidad, es en los proceedings, más que la confrontación oral, donde aparecieron los principales argumentos. Este debate fue muy importante porque forzó los astrónomos de ambos campos a encontrar argumentos fuertes para defender su punto de vista. Sin embargo, aunque los argumentos de Curtis parecieron en general más sólidos, no hubo un ganador claro al debate.

Fue finalmente Edwin Hubble (1889-1953), otro astrónomo estadounidense, quien resolvió el problema. Hubble encontró unas estrellas de tipo cefeidas en la galaxia de Andrómeda y las usó para determinar su distancia. Las estrellas cefeidas son estrellas variables, cuyo periodo de variación depende de su luminosidad intrínseca. En consecuencia, medir su periodo de variación permite determinar su brillo intrínseco, y la comparación entre su brillo intrínseco y su brillo aparente permite determinar su distancia. Hubble midió que la galaxia de Andrómeda se encontraba a 300 kpc (las estimaciones más recientes colocan a Andrómeda a 780 kpc de distancia), y por lo tanto fuera de la Vía Láctea independientemente de si se usaba el tamaño determinado por Kapteyn o por Shapley. Con eso se demostró que la Vía Láctea es una de muchas galaxias, y las nebulosas espirales se renombraron galaxias espirales.

1.2 Clasificación morfológica de las galaxias

Una vez aceptada la existencia de galaxias externas, el primer paso hacia su estudio es taxonómico. El primero en desarrollar un sistema de clasificación de galaxias fue el propio Edwin Hubble en su libro *The Realm of Galaxies* en 1936 –es decir, menos de diez años después de haber demostrado la existencia de galaxias externas. Este sistema, al igual que varios otros que se desarrollaron durante el siglo XX, es un sistema de **clasificación morfológica**. Se basa exclusivamente en las propiedades estructurales de las galaxias, vistas en imágenes ópticas (las únicas que estaban disponibles en aquel momento). Es importante mencionar aquí que este tipo de clasificación conlleva necesariamente un cierto grado de arbitrariedad. Por ejemplo, la misma galaxia observada con tiempos de exposición distintos, o a longitudes de onda distintas puede verse muy diferente. En la práctica, los sistemas de clasificación morfológica que describiremos aquí se basan en imágenes fotográficas obtenidas en la banda B , y solamente consideran galaxias brillantes, porque son las que se podían observar fácilmente durante la primera mitad del siglo XX. Esto excluye clases de galaxias importantes como las **enanas esferoidales** que resultan ser las galaxias más abundantes en el Universo (Sección 1.3; ver su clase de *Astronomía Extragaláctica*), pero que solo se descubrieron recientemente.

1.2.1 La clasificación de Hubble

Como ya lo dijimos, el primero en proponer una clasificación morfológica fue Edwin Hubble y esta clasificación se conoce, apropiadamente, como la **clasificación de Hubble**, aunque en realidad fue Alan Sandage (otro astrónomo estadounidense) quien estableció los criterios definitivos de esta clasificación. La clasificación de Hubble separa las galaxias en dos grupos principales: las **galaxias elípticas** y las **galaxias espirales**.

Las galaxias elípticas

Las galaxias elípticas son galaxias que, como su nombre lo indica, tienen la apariencia de elipses (quizas más precisamente, sus isofotas son elipses). Se subclasifican según su grado de elipticidad. A partir de la medición de su eje mayor a y de su eje menor b , se calcula

$$n = 10 \left(\frac{a - b}{a} \right), \quad (1.1)$$

y se le atribuye a cada galaxia el tipo En . Evidentemente, si $a = b$ (una galaxia de apariencia circular), entonces $n = 0$ y dicha galaxia se describirá como de tipo E0. En contraste, para una galaxia muy elongada con $a = 2b$, $n = 5$ y está será una galaxia de tipo E5. Hubble organizó las galaxias elípticas en una secuencia lineal desde las más circulares (E0) hasta las más elongadas (Figura 1.5). Resulta que

no se conocen galaxia más elongadas que E7. Es importante mencionar aquí que la elipticidad medida por el parámetro n corresponde a la elipticidad proyectada sobre el plano del cielo. Intrínsecamente, las galaxias elípticas son muy probablemente elipsoides triaxiales, y los ejes a y b usados para calcular n en general no corresponden a ninguno de los tres ejes principales de este elipsoide, sino a los ejes de la proyección de este elipsoide sobre el plano del cielo.

Un punto importante que hay que mencionar sobre las galaxias elípticas es que existen de muchos tamaños distintos. La galaxia M 87 en el centro de Virgo es una galaxia elíptica gigante, con un diámetro de más de 35 kpc. En cambio la galaxia elíptica M 32 (uno de los satélites de la galaxia de Andromeda) tiene un diámetro de apenas 2 kpc. Para incorporar la información sobre el tamaño en el símbolo de las galaxias elípticas, es común dividir las entre elípticas gigantes (gE), enanas (dE; dwarf ellipticals), o compactas (cE). Las galaxias que, como M 87, se encuentran en el centros de cúmulos se conocen como galaxias de tipo cD.

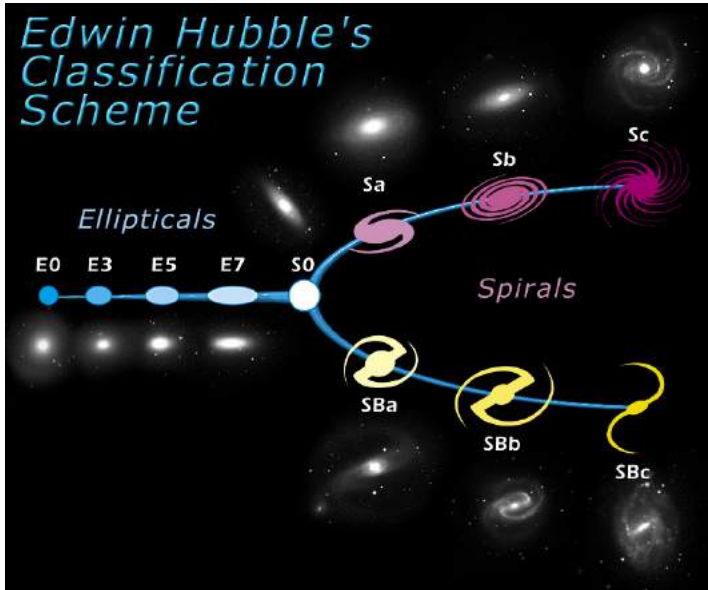


Fig. 1.5. El “diapason de Hubble”, que representa gráficamente la clasificación de Hubble de las galaxias.

Las galaxias espirales

Las galaxias espirales son galaxias de disco que contienen un **bulbo** central (que morfológicamente se parece a una pequeña galaxia elíptica), rodeado de un **disco** más extendida que contiene **brazos espirales** (en general dos). Se subdividen en dos grandes grupos: las llamadas **galaxias espirales normales** y las **galaxias espirales barradas**. En realidad, los dos tipos (barradas y no barradas) son igualmente comunes, por lo que el adjetivo “normales” es inapropiado. La presencia o no de una barra se refiere a la morfología de la parte central de las galaxias,

que se ve elíptica en las galaxias “normales” y rectangular en las galaxias barradas. En el diagrama de Hubble (Figura 1.5), los dos sub-tipos se representan como las dos ramas de un diapason a la derecha de las elípticas. Las galaxias no-barradas ocupan la rama de arriba y las barradas la rama de abajo.

Las galaxias de cada sub-rama (las normales y las barradas) se sub-clasifican a su vez según tres criterios adicionales: (i) el grado de apertura de los brazos; (ii) la prominencia relativa del bulbo y de los brazos espirales; y (iii) el grado de suavidad de los brazos. Resulta que estos tres parámetros evolucionan conjuntamente: las galaxias cuyos bulbos son más prominentes (comparados con los brazos) tienden a también tener brazos suaves y muy enredados. Estas galaxias se clasifican como de tipo Sa (o SBa para galaxias barradas). En el otro extremo, las galaxias con bulbos pequeños tienden a tener brazos más abiertos y menos suaves (es decir que estos brazos son más grumosos). Estas galaxias son de tipo Sc o SBc según si tienen o no una barra). Entre estos dos extremos, se encuentran las galaxias Sb/SBb.

Las galaxias lenticulares e irregulares

En el punto del diagrama de Hubble donde la rama de las elípticas se une con las ramas de las espirales normales y barradas, Hubble colocó un otro tipo de galaxias que se conocen como **galaxias lenticulares**. Estas son galaxias que tienen un bulbo prominente rodeado de un disco, pero dicho disco no contiene brazos espirales. Las galaxias lenticulares se subdividen en dos según si la morfología de la parte central es elíptica (i.e. “normal”) o rectangular (i.e. barrada); estos dos tipos se describen como S0 o SB0.

Como es de esperarse, muchas galaxias no caben dentro de este sistema. En el esquema original de Hubble, todas aquellas galaxias que no encontraban lugar en el diapason de Hubble se clasificaban como **galaxias Irregulares** (Irr).

Galaxias “tempranas” y “tardías”

Hubble inicialmente pensó que la clasificación de las galaxias en el diapason de la Figura 1.5 representaba una secuencia evolutiva, en el sentido de que las galaxias más a la izquierda tendían con el tiempo a transformarse en las galaxias más a la derecha. Por esa razón, se refería a las galaxias elípticas como de **tipo temprano** y a las galaxias espirales (e irregulares) como de **tipo tardío**. Hoy sabemos que esta interpretación es errónea, pero los adjetivos “temprana” y “tardía” se siguen usando para referirse a galaxias a la izquierda y a la derecha del diagrama de Hubble, respectivamente.

1.2.2 Otras clasificaciones morfológicas

La clasificación de Hubble fue, y sigue siendo, la clasificación morfológica de galaxias más usada. Sin embargo, otros sistemas se han desarrollado. Por ejemplo,

Gérard de Vaucouleurs (un astrónomo francés) propuso una modificación en la clasificación de las galaxias espirales en la que se toma en cuenta la presencia o no de anillos en los discos galácticos. El sistema conocido como clasificación de Yerkes (el nombre de un observatorio) toma en cuenta el grado de concentración y de suavidad de la distribución de brillo en las galaxias. Un sistema propuesto por el astrónomo canadiense Sydney van den Bergh toma en cuenta la riqueza de las galaxias en estrellas jóvenes. La tabla 4.1 de Binney & Merrifield (1998) contiene un resumen de las características de estos sistemas alternativos, así como la nomenclatura que utilizan.

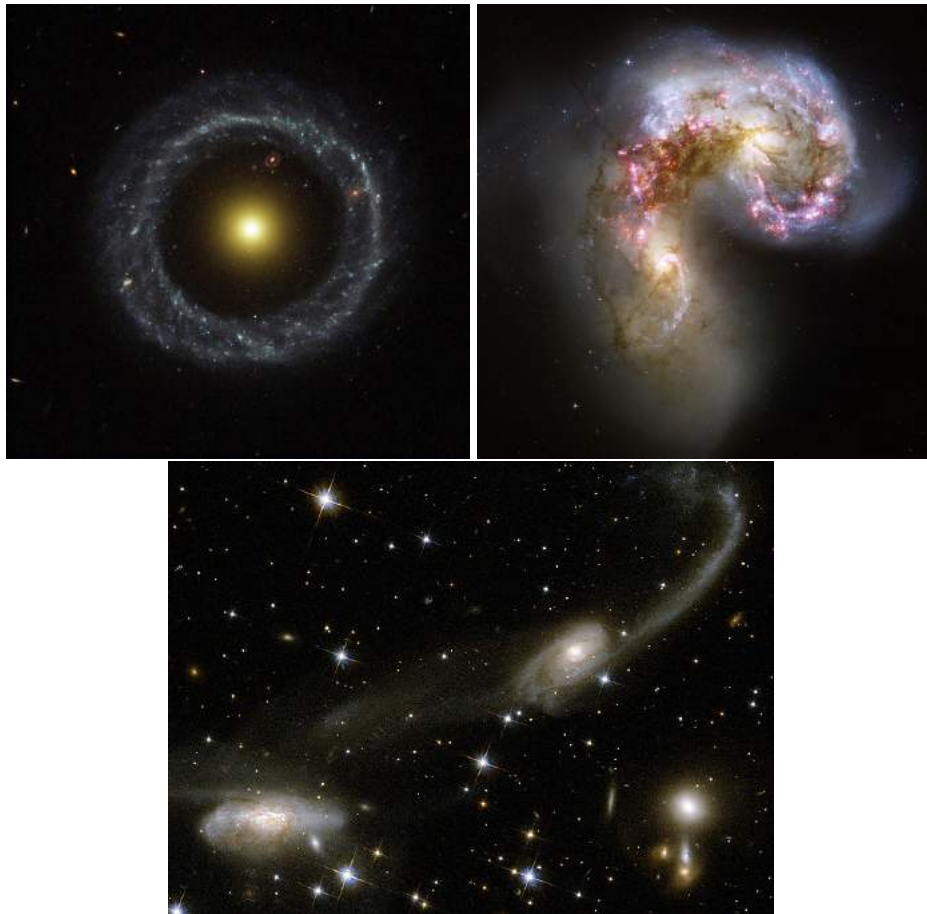


Fig. 1.6. Imágenes de galaxias interactuante: el objeto de Hoag (arriba a la izquierda), las antenas (arriba a la derecha), y el grupo de galaxias ESO69-6 (abajo).

1.2.3 Otros tipos de galaxias

Muchas galaxias, por distintas razones, no caben naturalmente en la clasificación de Hubble, y vale la pena considerar estos casos en más detalle.

Galaxias en interacción

Por un lado, hay galaxias que morfológicamente no podemos ubicar en el diapason de Hubble. Hubble mismo las clasificó (o las hubiera clasificado) como galaxias Irregulares. Sin embargo, esta clasificación es demasiado reductora, ya que hay claros padrones dentro de este sub-grupo. Conviene, en particular, mencionar aquellas galaxias cuyas morfologías distorsionadas se deben a interacciones con otras galaxias. La Figura 1.6 muestra tres ejemplos. La galaxia arriba y a la izquierda (conocida como el objeto de Hoag) tiene una clara estructura anular que no cabe en el esquema de Hubble, pero que tampoco podemos describir como irregular. Modelos teóricos demuestran que este tipo de morfología es el resultado natural de una colisión frontal entre una galaxia pequeña (por ejemplo una elíptica enana) y una galaxia espiral. Uno de los efectos adicionales de la colisión es desencadenar formación estelar en el gas que inicialmente estaba en el disco de la galaxia espiral y que, después de la colisión, se encuentra en un anillo. Es por eso que la población estelar en el anillo aparece azul: contiene muchas estrellas masivas, jóvenes y calientes.

La imagen arriba a la derecha de la Figura 1.6 es del sistema conocido como las “antenas”. Este objeto corresponde al resultado de una colisión reciente entre dos galaxias espirales. Las dos galaxias originales aun se pueden distinguir, pero también hay claras evidencias de la interacción que distorsiona los discos individuales. Ya es imposible atribuir un tipo de Hubble a cualquiera de las dos, y no tendría sentido intentar atribuir un tipo de Hubble a sistema completo. Sin embargo, es claro que tampoco se trata de un sistema totalmente desordenado como las típicas galaxias irregulares de Hubble. Finalmente, la imagen de abajo de la Figura 1.6 corresponde al pequeño grupo de galaxias ESO69–6. Aquí, se alcanza a distinguir dos galaxias espirales (una de tipo Sb, la otra de tipo Sc), pero grandes estructuras curvas emanan de una de ellas. Estas estructuras se conocen como **colas de marea** y se interpretan como resultado de las fuerzas de marea que aparece cuando dos galaxias interactúan pero no de forma tan brutal como en los dos casos anteriores (es decir con un parámetro de impacto menor). De nuevo, este tipo de situación no está contemplado en el esquema de Hubble (pues no considera la presencia de colas de marea), pero tampoco podemos describir a ESO69–6 como una galaxia irregular.

Galaxias starburst, LIRGs y ULIRGs

Para ciertas galaxias, la clasificación de Hubble es insuficiente porque presentan características definitorias que los criterios morfológicos de Hubble no logran capturar. Un ejemplo de esto son las galaxias de tipo **starburst** que, por definición presentan una actividad de formación estelar al menos diez veces más vigorosa que la Vía Láctea. Los casos extremos de esta situación corresponden a las llamadas galaxias LIRGS y ULIRGS (por (ultra-)luminous infrared galaxies) que pueden presentar tasas de formación estelar cientos o hasta miles de veces más intensas que en la Vía Láctea.

Galaxias activas

Finalmente, mencionaremos las galaxias activas. Estas son galaxias cuyos núcleos presentan una actividad particularmente energética. Se cree que todas las galaxias contienen en su centro un agujero negro supermasivo (con masas de millones a miles de millones de masas solares). En los casos donde dicho agujero negro está activamente acreta masa de su entorno, la región nuclear de la galaxia puede volverse mucho más brillante que la galaxia entera, y pueden aparecer fenómenos que no existen en galaxias no-activas, como la presencia de jets colimados. Existe toda una nomenclatura para describir los diferentes tipos de galaxias activas que no describiremos pues es uno de los temas importantes de la clase de *Astronomía extragaláctica*. Lo que queremos enfatizar aquí es que la presencia de un núcleo activo es una característica definitoria de ciertas galaxias, pero que la clasificación de Hubble no puede capturar. Por cierto, muchas galaxias activas pueden clasificarse en la secuencia de Hubble (la galaxia activa M 87, por ejemplo, es de tipo E1). El problema es que la clasificación de Hubble no puede distinguir entre una galaxia E1 tan activa como M 87 y una galaxia E1 “normal”.

1.3 El Grupo Local

La mayoría de las galaxias no son aisladas, sino que pertenecen a agrupaciones más o menos grandes llamadas, en orden creciente de tamaño, **grupos, cúmulos** o **super-cúmulos** de galaxias. No describiremos estas estructuras en detalle aquí, pues es parte de la clase de astronomía extragaláctica, pero sí describiremos brevemente la pequeña agrupación de galaxias a la que pertenece nuestra Vía Láctea; esta agrupación se conoce como el **Grupo Local**. Esto nos permitirá, en particular, ponderar qué fracción de las galaxias cercanas pueden describirse en el marco de la clasificación de Hubble.

El Grupo Local contiene alrededor de 40 galaxias distribuidas en una región de ~ 1 Mpc de diámetro (Figura 1.7). Las tres galaxias más luminosas del Grupo Local son galaxias espirales: M 31 (la galaxia de Andromeda), la Vía Láctea y M 33 (la galaxia del Triángulo, que resulta ser una galaxia satélite de M 31). Entre ellas, estas galaxias contribuyen alrededor de 90% de la luminosidad en las bandas ópticas del Grupo Local. Son también las únicas galaxias espirales del Grupo Local.

Adicionalmente, el Grupo Local contiene cuatro elípticas (tres de ellas elípticas enanas, y dos de ellas satélites de M 31) y dos Irregulares (las dos Nubes de Magallanes). Todas las otras galaxias del Grupo Local (tres cuartos del total de galaxias en el Grupo Local) son enanas esferoidales (dSph) y enanas Irregulares (dIrr) que no caben naturalmente en la clasificación de Hubble. Visto desde este punto de vista, dicha clasificación puede parecer casi anecdótica pues solamente permite clasificar un cuarto de las galaxias cercanas. Por otro lado, la luminosidad (óptica) de las galaxias del Grupo Local que se pueden clasificar en el marco de

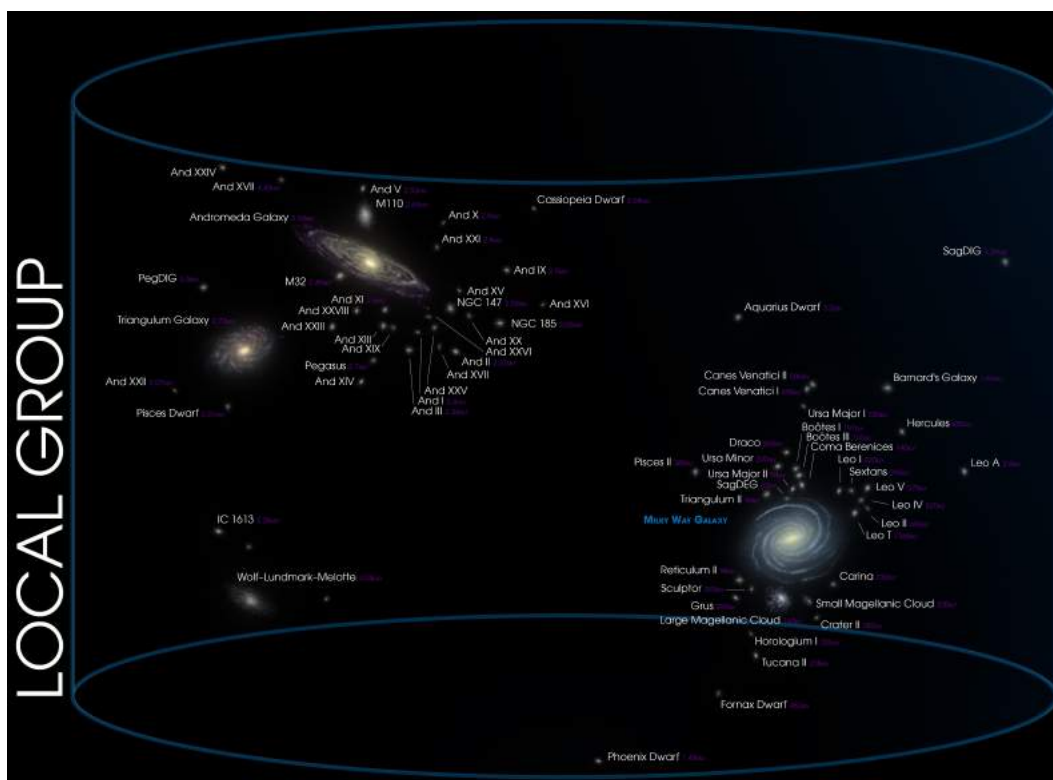


Fig. 1.7. Distribución espacial de las galaxias del Grupo Local.

la secuencia de Hubble representa 99% de la luminosidad óptica total del Grupo Local. Esto se debe a que las enanas esferoidales e irregulares son muy numerosas pero de muy baja luminosidad. En su conjunto contribuyen poco a la luminosidad total del Grupo Local.

Debemos terminar esta sección con unas palabras de advertencia. Las enanas esferoidales e irregulares no solo tienen baja luminosidad, sino que también son de muy bajo brillo superficial. Esto las hace muy difícil de detectar en el mismo Grupo Local e imposible de detectar fuera de él. En consecuencia, no sabemos si podemos extender las conclusiones que hemos obtenido en el Grupo Local en términos de la prevalencia de las enanas esferoidales e irregulares, a otros grupos de galaxias o a cúmulos o super-cúmulos.

1.4 Conclusiones

En este capítulo, presentamos una breve introducción histórica de la astronomía galáctica desde los primeros modelos de la Vía Láctea y el descubrimiento de las nebulosas hasta la demostración por Edwin Hubble de que nuestra galaxia no es más que una de una multitud de “Islas del Universo”. Describimos varios sistemas de clasificación de las galaxias, particularmente la secuencia de Hubble,

insistiendo en sus limitaciones. Finalmente, describimos brevemente el Grupo Local de galaxias para mostrar cómo solamente un cuarto de las galaxias cercanas caben naturalmente en la secuencia de Hubble. Los tres cuartos restantes son galaxias enanas esferoidales e irregulares que no podemos detectar fuera del Grupo Local. Con esto, terminamos de plantear el panorama de nuestros objetos de estudio. Antes de proceder, sin embargo, debemos repasar los conceptos de estrellas y poblaciones estelares.