

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 se sub-clasifican según su grado de elipticidad. Específicamente, a partir de la medición de su eje mayor a y de su eje menor b , se calcula

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

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 galaxias 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 M87 en el centro de Virgo es una galaxia elíptica gigante, con un diámetro de más de 35 kpc. En cambio la galaxia elíptica M32 (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).

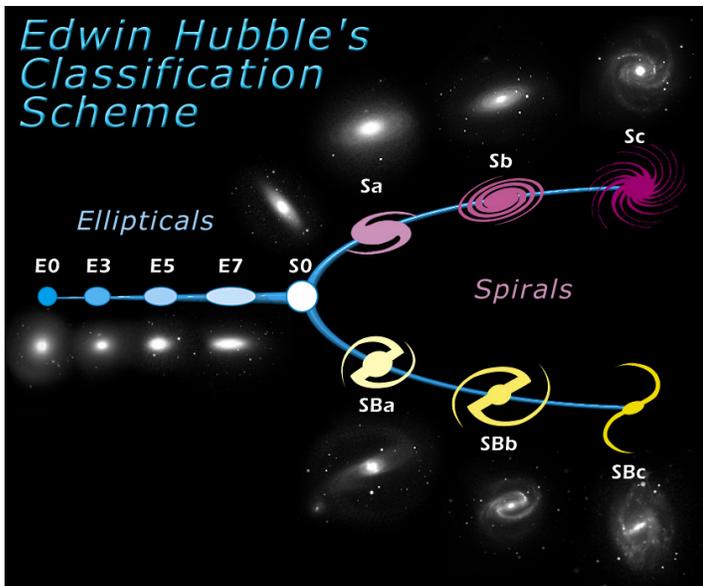


Fig. 1.5. El “diapason de Hubble”, que representa gráficamente la clasificación de Hubble de las galaxias.

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.

Cada sub-rama (las normales y las barradas) se sub-clasifican a su vez segun 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 mas 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 sin 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.

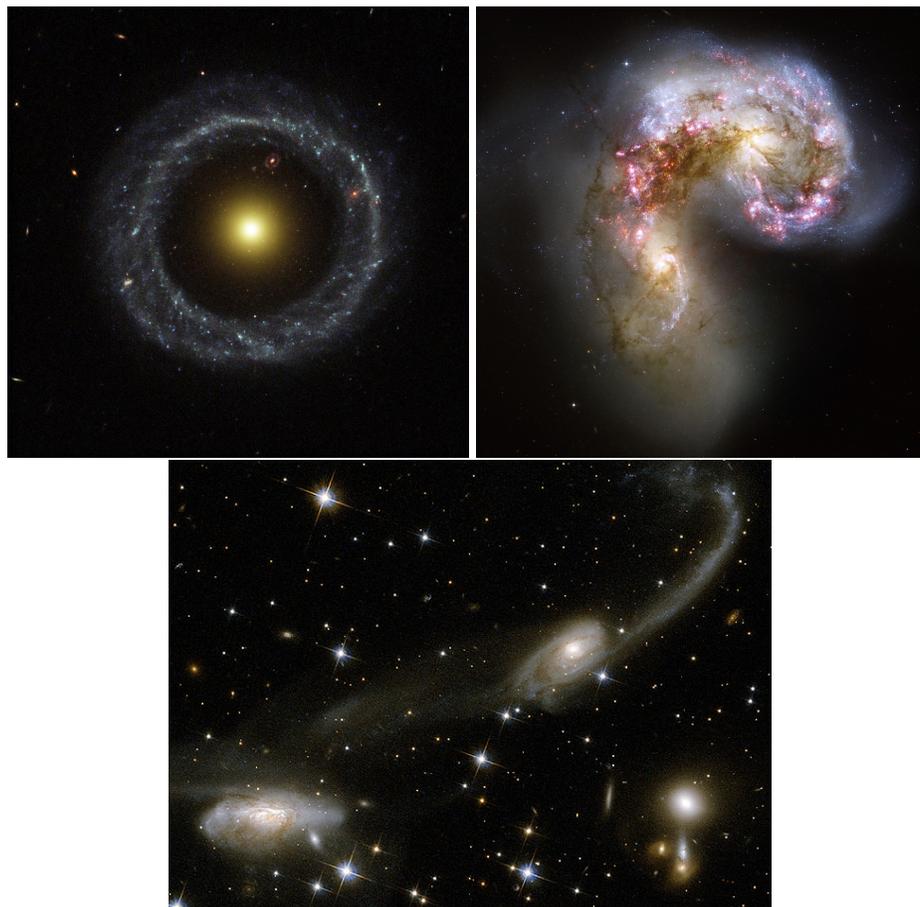


Fig. 1.6. Imágenes de galaxias interactuante: el objeto de Hoag (arriba a la izquierda), las antenas (arriba a la derecha), y el grupo de galaxias ESO69-6 (abajo).

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 diapasón 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 cuartas de 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

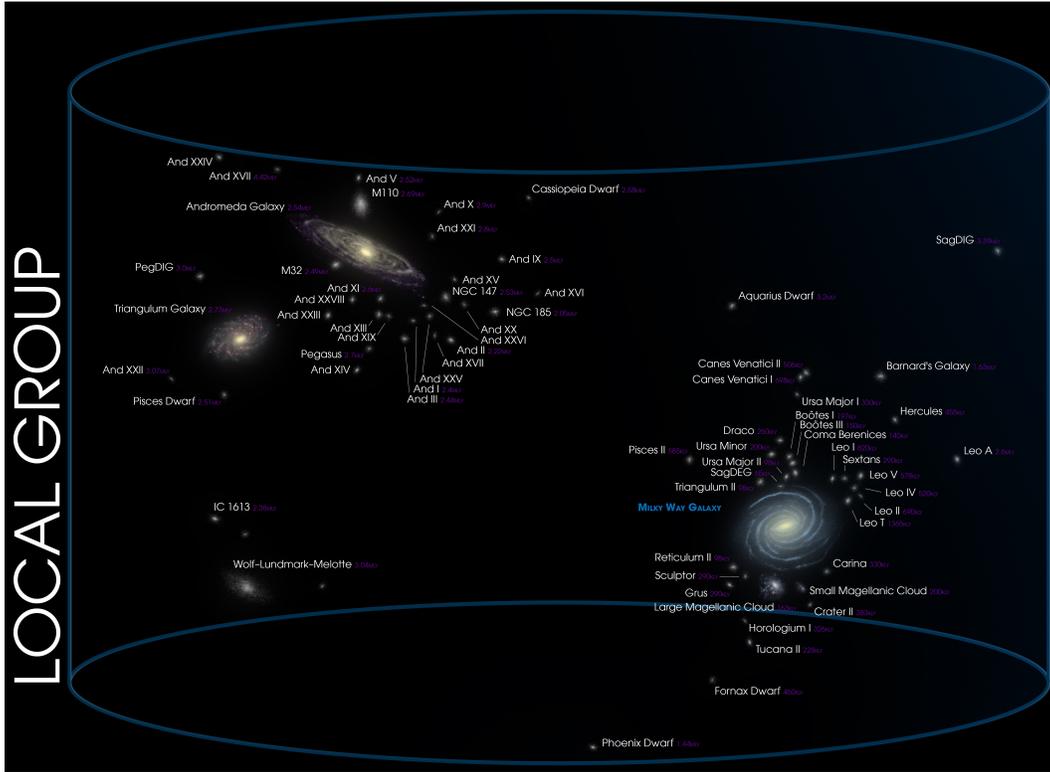


Fig. 1.7. Distribución espacial de las galaxias del Grupo Local.

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.