

Tipos de Galaxias y Clasificación

Mauro Jélvez

Un poco de historia

El estudio de los objetos más allá de la Vía Láctea tiene raíces muy antiguas, aunque la comprensión moderna de las galaxias como sistemas independientes del nuestro es relativamente reciente. A continuación se presentan algunos hitos importantes en el pensamiento astronómico que llevaron al surgimiento de la astronomía extragaláctica:

- **Siglo X – Al-Sufi:** El astrónomo persa Abd al-Rahman al-Sufi describió un objeto en el cielo que no parecía una estrella: una “pequeña nube” visible a simple vista, que hoy conocemos como la *Gran Nube de Magallanes*. Esta fue una de las primeras referencias registradas a un objeto difuso que no correspondía a una estrella individual.
- **Siglo XVII – Giordano Bruno:** Este filósofo y astrónomo italiano propuso que las estrellas eran soles lejanos, y sugirió la posibilidad de la existencia de un universo infinito con una multiplicidad de mundos. Sus ideas desafiaron la cosmología geocéntrica y teológica dominante, lo que finalmente lo llevó a ser condenado a la hoguera.
- **Siglo XVIII – Thomas Wright:** Fue uno de los primeros en sugerir que la Vía Láctea era una estructura en forma de disco y que las llamadas “nebulosas” podrían ser sistemas similares a nuestra galaxia, pero a grandes distancias. Esta idea sentó las bases para la concepción de las galaxias como entidades separadas.
- **Siglo XVIII – Immanuel Kant:** Inspirado por las ideas de Wright, Kant elaboró la noción de que las nebulosas eran “universos isla”, es decir, sistemas estelares semejantes a la Vía Láctea. Su visión filosófica del cosmos fue crucial para el desarrollo posterior de la cosmología.
- **S. XIX:** Extensivas observaciones y primeros catálogos de estos objetos difusos.
- En 1781 Charles Messier cataloga 103 objetos mientras buscaba cometas. Aunque muchos de estos objetos son nebulosas dentro de nuestra galaxia, o cúmulos de estrellas, muchos son galaxias (1)

Estas ideas, aunque primitivas en algunos casos, fueron fundamentales para preparar el camino hacia la revolución científica que se daría en el siglo XX con el trabajo de Edwin Hubble, quien demostró de manera concluyente que las nebulosas espirales eran galaxias externas a la Vía Láctea.

Desarrollo de los Catálogos de Nebulosas

Durante los siglos XVIII y XIX, el interés por clasificar y observar objetos difusos en el cielo llevó a la creación de catálogos astronómicos más amplios y sistemáticos.

- **William Herschel** y su hijo **John Herschel** expandieron el catálogo de Messier al hemisferio sur, realizando observaciones meticulosas de nebulosas y cúmulos estelares. Este trabajo fue esencial para ampliar el conocimiento sobre la distribución de estos objetos en el cielo.

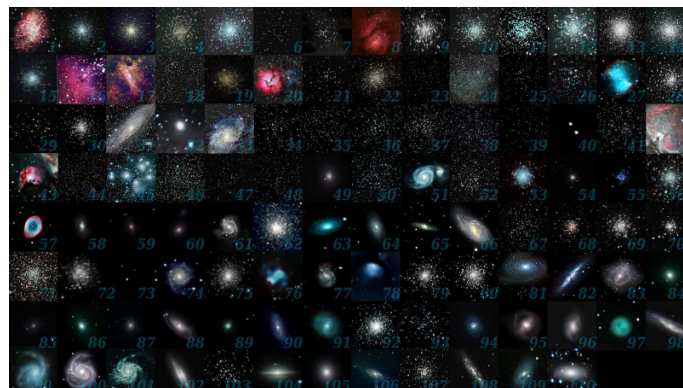


Fig. 1.

- En 1888, **John Louis Emil Dreyer** (a veces citado erróneamente como *E. Dyer*) publicó el **New General Catalog (NGC)**, una recopilación monumental basada en las observaciones de los Herschel. Este catálogo incluía cerca de 8000 objetos, y sigue siendo una referencia fundamental en astronomía.
- Algunos ejemplos representativos del NGC incluyen:
 - M1 = NGC 1952 = *Nebulosa del Cangrejo*
 - M31 = NGC 224 = *Galaxia de Andrómeda*
 - M104 = NGC 4594 = *Galaxia del Sombrero*
- Aunque muchas de las “nebulosas” catalogadas eran en realidad objetos dentro de nuestra **Vía Láctea**, la verdadera naturaleza de otras nebulosas más distantes seguía siendo un misterio. Este dilema perduró hasta las primeras décadas del siglo XX, cuando observaciones más precisas comenzaron a revelar su carácter extragaláctico.

Primeras Observaciones de Estructuras Espirales

Un hito crucial en la evolución del conocimiento sobre las nebulosas ocurrió en el siglo XIX:

- En 1845, **William Parsons**, también conocido como **Lord Rosse**, construyó el telescopio más grande del mundo en ese entonces: un reflector con un espejo de **1.83 metros** de diámetro, conocido como el *Leviatán de Parsonstown*.
- Con este instrumento, logró observar por primera vez **estructuras espirales** en algunas nebulosas brillantes, como en la actual Galaxia del Remolino (M51). Este descubrimiento fue clave, ya que sugería una morfología compleja en estos objetos difusos, diferente a la de simples nubes de gas.
- El *Leviatán* fue el telescopio más grande del mundo durante más de 70 años, hasta que en 1917 se construyó el **Telescopio Hooker** de **2.5 metros** en el Observatorio del Monte Wilson, California. Este nuevo telescopio sería instrumental en descubrimientos decisivos sobre la naturaleza extragaláctica de las nebulosas.

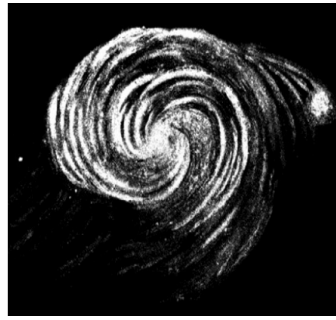
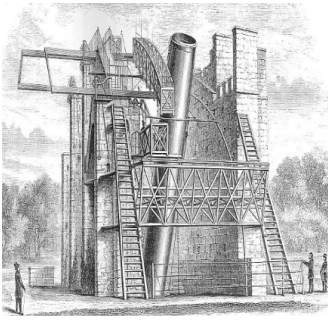


Fig. 2.

1920: El Gran Debate Shapley–Curtis

Uno de los eventos más significativos en la historia de la astronomía fue el debate público entre los astrónomos **Harlow Shapley** y **Heber Curtis**, realizado en 1920 en la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos. Este debate abordaba una cuestión fundamental: ¿cuál es la verdadera naturaleza de las nebulosas espirales?

- **Harlow Shapley** sostenía que las nebulosas espirales, como M31 (Andrómeda), eran objetos contenidos dentro de nuestra **Vía Láctea**. Su argumento se basaba en la **magnitud aparente** de las novas observadas en Andrómeda: si esta galaxia estuviera tan lejos como sugerían algunos, las novas tendrían que ser intrínsecamente mucho más brillantes que las de nuestra galaxia, lo cual le parecía improbable.
- **Heber Curtis**, en cambio, defendía que las nebulosas espirales eran sistemas estelares independientes, lo que Kant había llamado “*Universos isla*”. Curtis se apoyaba en:
 - Estimaciones propias del tamaño de la Vía Láctea, mucho menores que las de Shapley.
 - La observación de altas **velocidades radiales** en muchas nebulosas espirales, que según él, indicaban que no estaban gravitacionalmente ligadas a nuestra galaxia.

Este debate no se resolvió de inmediato, pero sentó las bases para observaciones más precisas que llegarían pocos años después, las cuales cambiarían nuestra visión del universo para siempre.

1923: Edwin Hubble y el Descubrimiento del Universo Extragaláctico

El debate sobre la naturaleza de las nebulosas espirales llegó a su fin en 1923, gracias al trabajo observacional de **Edwin Hubble** en el Observatorio del Monte Wilson.

- Utilizando el **Telescopio Hooker** de 2.5 metros, Hubble logró identificar **estrellas variables Cefeidas** en la galaxia M31 (*Andrómeda*).
- Aplicando la **relación período-luminosidad** descubierta por Henrietta Leavitt (que se estudiará más adelante), Hubble calculó la **distancia a M31**: aproximadamente **285 kilopársecs**. Aunque esta cifra era unas 2.7 veces menor que el valor actual aceptado (~780 kpc), fue suficientemente grande para demostrar que M31 se encontraba **fuera de la Vía Láctea**.
- Este hallazgo probó de forma concluyente que M31 era un objeto **extragaláctico**, es decir, una galaxia independiente similar a la nuestra. Con ello, se abrió oficialmente el campo de la **astronomía extragaláctica**.

El Telescopio Espacial Hubble (HST)

El **Telescopio Espacial Hubble (Hubble Space Telescope, HST)** fue lanzado en 1990 por la NASA en colaboración con la ESA, y se colocó en órbita terrestre baja, a unos 547 km de altitud. Su principal ventaja es que, al estar fuera de la atmósfera terrestre, evita la distorsión atmosférica y puede observar el universo con una resolución y sensibilidad excepcionales.

- Gracias a su posición en el espacio, el Hubble ha proporcionado imágenes sin precedentes de galaxias, cúmulos estelares, nebulosas y objetos extremadamente lejanos.
- Ha sido fundamental en el estudio del **universo extragaláctico**, permitiendo:
 - La medición precisa de distancias cósmicas mediante cefeidas y supernovas tipo Ia.
 - La observación detallada de la morfología de galaxias lejanas.
 - La estimación de la **edad del universo** y de la **constante de Hubble**.
- Uno de sus logros más emblemáticos es la imagen del **Campo Profundo del Hubble (Hubble Deep Field)**, que mostró miles de galaxias en una pequeña porción del cielo, revelando la inmensidad y profundidad del universo.
- El Hubble ha sido objeto de varias misiones de mantenimiento por parte de astronautas, lo que ha permitido extender su vida útil y mejorar sus instrumentos.

El Telescopio Espacial Hubble ha revolucionado nuestra comprensión del universo y sigue siendo, más de tres décadas después de su lanzamiento, una herramienta clave para la astronomía moderna.

Clasificación de Galaxias

- **Elípticas (Es)**
- **Espirales**
 - Normales (Ss)
 - Barradas (SBs)
- **Irregulares (Irrs)**
- **Lenticulares**
 - Normales (S0s)
 - Barradas (SB0s)

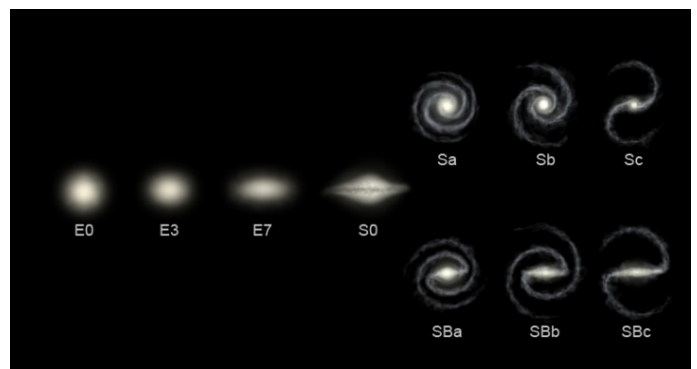


Fig. 3.

En 1926, Edwin Hubble propuso un esquema para clasificar las galaxias según su forma, conocido como el **diagrama de Hubble** o **diapasón de Hubble**. Aunque inicialmente se pensó como una secuencia evolutiva (de ahí los términos “temprano” y “tardío”), hoy sabemos que este no es necesariamente el caso.

- En el extremo izquierdo del diagrama se encuentran las **galaxias elípticas**, que se clasifican desde E0 (más esféricas) hasta E7 (más achatadas). Estas son conocidas como **galaxias de tipo temprano**.
- Luego siguen las **galaxias lenticulares** (S0), que tienen un disco como las espirales pero sin brazos definidos ni formación estelar activa.
- A partir del punto de bifurcación, el diagrama se divide en dos ramas:
 - Una de galaxias **espirales normales** (Sa, Sb, Sc), que muestran brazos en espiral más o menos definidos y un bulbo central.
 - Otra de galaxias **espirales barradas** (SBa, SBb, SBc), similares a las anteriores pero con una barra central de estrellas que atraviesa el núcleo.
 En ambos casos, las letras indican el grado de apertura de los brazos espirales y el tamaño relativo del bulbo:
 - **Tipo a:** brazos apretados, bulbo grande.
 - **Tipo b:** intermedio.
 - **Tipo c:** brazos abiertos, bulbo pequeño.
- A la derecha del diagrama se suelen ubicar también las **galaxias irregulares**, que no encajan en ninguna de las otras categorías y carecen de estructura definida.

Importante: Aunque el diagrama sugiere una secuencia de evolución desde galaxias elípticas a espirales, hoy en día se considera erróneo pensar que las galaxias evolucionan en ese orden. Los términos “temprano” y “tardío” se refieren sólo a la posición en el esquema, no a una evolución temporal.

¿Evolución inversa?: de galaxias espirales a elípticas

Aunque el diagrama de Hubble sugiere una evolución desde galaxias elípticas (tipo temprano) hacia galaxias espirales (tipo tardío), actualmente se considera que esta idea es incorrecta. De hecho, muchas evidencias observacionales y simulaciones apoyan una **evolución en sentido contrario**, es decir:

- Las **galaxias espirales** ricas en gas y con formación estelar activa podrían evolucionar, bajo ciertas condiciones, hacia **galaxias elípticas** más masivas, más rojas y sin formación estelar.
- Esta transformación suele ser el resultado de procesos como:
 - **Fusiones galácticas:** cuando dos galaxias espirales colisionan y se fusionan, el resultado suele ser una galaxia elíptica. La interacción destruye la estructura de los discos y desencadena brotes de formación estelar seguidos por un agotamiento del gas.
 - **Interacciones gravitacionales:** efectos de marea o encuentros cercanos en cúmulos de galaxias pueden también perturbar la estructura de una galaxia espiral, llevándola a una morfología más esferoidal.
 - **Apagamiento (quenching):** procesos que eliminan o calientan el gas de una galaxia impiden la formación de nuevas estrellas, llevando eventualmente a una apariencia elíptica.
- Este escenario implica que **las galaxias elípticas pueden ser el estado final de la evolución galáctica**, al menos para las galaxias más masivas y antiguas.

Galaxias Elípticas (Es)

Las galaxias elípticas se caracterizan por su forma ovalada y la ausencia de estructuras notables como brazos espirales. Contienen principalmente estrellas viejas y presentan muy poca formación estelar.



NOTAR que la elipticidad aparente puede no corresponder a la real debido al ángulo de observación!!

Fig. 4.

Clasificación por Elipticidad

Se dividen de acuerdo a su *elipticidad*, que se define como:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\beta}{\alpha}$$

donde:

- α es el eje mayor aparente.
- β es el eje menor aparente (ambos proyectados en el plano del cielo).

La clasificación de las galaxias elípticas se expresa como **E n** , donde:

$$n = 10\varepsilon$$

Ejemplos:

- **E0:** galaxia esférica ($\varepsilon \approx 0$)
- **E7:** galaxia altamente aplanada ($\varepsilon \approx 0.7$)

Características generales

- Tienen poca o ninguna estructura interna.
- Su luminosidad decrece suavemente hacia el exterior.
- Su color es rojizo, lo que indica poblaciones estelares viejas.
- Son comunes en cúmulos de galaxias.

Galaxias Lenticulares (S0)

Las **galaxias lenticulares** (tipo S0) son consideradas una forma de transición entre las galaxias elípticas y las espirales. A menudo se les llama “*espirales sin brazos*”, ya que presentan un bulbo central prominente similar al de las galaxias espirales, pero sin una estructura espiral bien definida.



Fig. 5.

Características principales

- Tienen un disco difuso, pero sin brazos espirales visibles.
- Presentan un bulbo prominente, similar al de galaxias espirales.
- Contienen poca o ninguna formación estelar activa.
- Dominadas por estrellas viejas y poco gas o polvo.

Subclasificación

Las galaxias lenticulares pueden dividirse en función de la cantidad de polvo presente en el disco:

- **S0₁** (o SB0₁): sin polvo en el disco.
- **S0₃** (o SB0₃): con bastante polvo en el disco.

Lenticulares con barra

Algunas galaxias lenticulares presentan una barra central. Estas se denominan **SB0**, y también pueden subclasificarse según la presencia de polvo:

- **SB0₁**: barra sin polvo.
- **SB0₃**: barra con bastante polvo.

Ubicación en la secuencia de Hubble

En el esquema de clasificación morfológica de Hubble, las lenticulares se ubican entre las elípticas (E) y las espirales (Sa, Sb, Sc), sirviendo como un puente evolutivo entre ambos tipos.

Galaxias Espirales (S)

Las **galaxias espirales** se caracterizan por su estructura de disco con brazos en espiral, generalmente con un bulbo central más o menos prominente. Son ricas en gas y polvo, y presentan una alta tasa de formación estelar, especialmente en sus brazos.

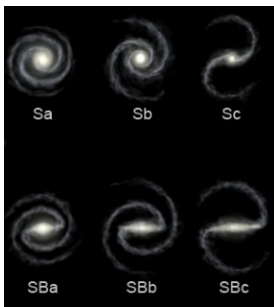


Fig. 6.

Clasificación morfológica

Según la clasificación de Hubble, se subdividen en dos grandes categorías:

- **Espirales normales:** Sa, Sab, Sb, Sbc, Sc.
- **Espirales barradas:** SBa, SBab, SBb, SBbc, SBc.

También puede usarse la notación:

- **SA** para espirales normales.
- **SB** para espirales con barra.
- **SAB** para espirales intermedias (barra débil o parcial).

Subclasificación (de a a c)

La clasificación en **a**, **b** y **c** se basa en:

- El tamaño relativo del bulbo (Lb) respecto al disco (Ld).
- El grado de apertura de los brazos espirales.
- La distribución de luz en los brazos.

- **Tipo a:** bulbo prominente ($Lb/Ld \approx 0.3$), brazos cerrados y suaves.
- **Tipo c:** bulbo pequeño ($Lb/Ld \approx 0.05$), brazos muy abiertos y con grumos de estrellas jóvenes.

Donde:

- Lb = luminosidad del bulbo
- Ld = luminosidad del disco

Galaxias Irregulares (Irr)

Las **galaxias irregulares** no encajan en la clasificación tradicional de Hubble (elípticas, lenticulares o espirales). Se caracterizan por su forma caótica o asimétrica, sin una estructura bien definida. A menudo son ricas en gas y polvo, con alta formación estelar, pero sin una morfología clara.

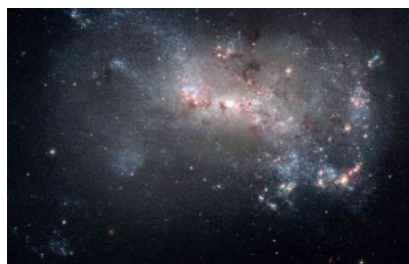


Fig. 7.

Clasificación de galaxias irregulares

- **Irr-I:** extremadamente irregulares, sin forma definida ni patrón aparente. No muestran rasgos reconocibles de discos, bulbos o brazos espirales.
- **Irr-II:** presentan cierta estructura, pero aún son significativamente irregulares. Pueden mostrar indicios de haber sido espirales o lenticulares alteradas por interacciones gravitacionales.
- **Im:** galaxias irregulares de tipo *Magallánico*, que conservan algo de forma de disco, pero con una asimetría pronunciada. La Gran Nube de Magallanes es un ejemplo típico.

Características generales

- Suelen ser más pequeñas y de menor masa que otros tipos de galaxias.
- Contienen regiones activas de formación estelar.
- A menudo están influenciadas por fuerzas externas, como interacciones con otras galaxias.

Modificaciones a la Clasificación Original de Hubble

Aunque el esquema morfológico propuesto por Edwin Hubble ha sido extraordinariamente útil para organizar el estudio de las galaxias, con el tiempo se han propuesto diversas modificaciones y extensiones para adaptarse a las observaciones más detalladas.

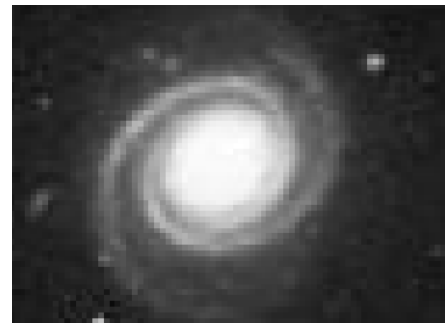
Una de estas modificaciones incluye la introducción de un nuevo subtipo morfológico denominado **Sd**, que se considera parte del grupo de *galaxias espirales tardías*. Estas galaxias comparten ciertas características con las *galaxias irregulares*

tipo II (Irr-II), y se postulan como una población intermedia entre las espirales clásicas y las irregulares.

Características principales de las galaxias Sd:

- Estructura espiral apenas definida, con brazos poco marcados y a menudo caóticos.
- Tamaño pequeño en comparación con otras galaxias espirales (de ahí que también se las denomine *espirales enanas*).
- Alto contenido de gas y polvo interestelar.
- Alta tasa de formación estelar, aunque distribuida de manera desorganizada.
- Pueden mostrar asimetrías o distorsiones en su estructura, especialmente si han sufrido interacciones gravitacionales.

Estas galaxias ayudan a rellenar el espectro continuo de morfologías galácticas que va desde las espirales bien definidas hasta las irregulares sin estructura, reflejando la complejidad de los procesos evolutivos que afectan a las galaxias a lo largo del tiempo.



NGC 7096
Sa(r)I

Fig. 9.

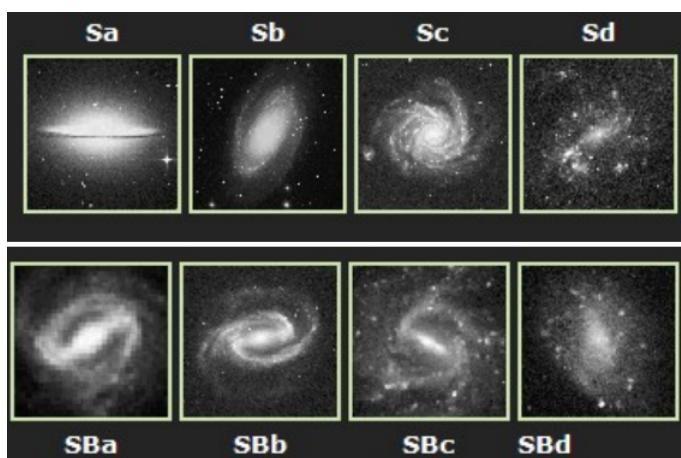


Fig. 8.

Clasificación de Van den Bergh

Van den Bergh propuso una extensión a la clasificación de Hubble para galaxias espirales, incorporando una evaluación de la **luminosidad** y la **definición de sus estructuras**, particularmente los brazos espirales. Esta propuesta es conocida como el *sistema DDO* (David Dunlap Observatory system).

Componentes principales del sistema:

- **Clase I:** galaxias con brazos espirales bien definidos y prominentes.
- **Clase V:** galaxias con brazos espirales poco definidos, difusos o irregulares.

Además, Van den Bergh incorporó indicadores adicionales para describir detalles estructurales:

- **(s):** indica que los brazos espirales se pueden trazar claramente hasta el centro galáctico.
- **(r):** presencia de un anillo interior en la estructura galáctica.
- **(R):** presencia de un anillo exterior.

Este sistema permite una descripción más detallada y continua de las galaxias espirales, al considerar no solo su morfología global, sino también el grado de definición de sus estructuras internas y su luminosidad, elementos que pueden estar vinculados a procesos evolutivos como interacciones galácticas o tasas de formación estelar.