

# Sistemas Estelares

Galaxias - morfología  
Prof. Claudia Scóccola

# Galaxias como bloques de la estructura del Universo

**Galaxia:** Sistema vasto, unido gravitacionalmente, compuesto por:

- Estrellas
- Restos estelares
- Gas interestelar
- Polvo cósmico
- Materia oscura

## Diversidad:

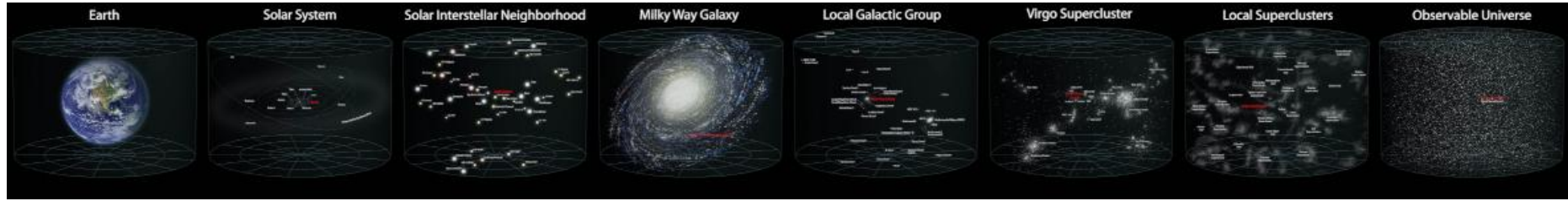
- Vienen en diversas formas y tamaños.
- Contienen desde miles hasta miles de millones de estrellas.

## Fundamentales:

- Son los **bloques fundamentales** del Universo.
- Desempeñan un papel central en la **estructura** y **evolución** del Universo.

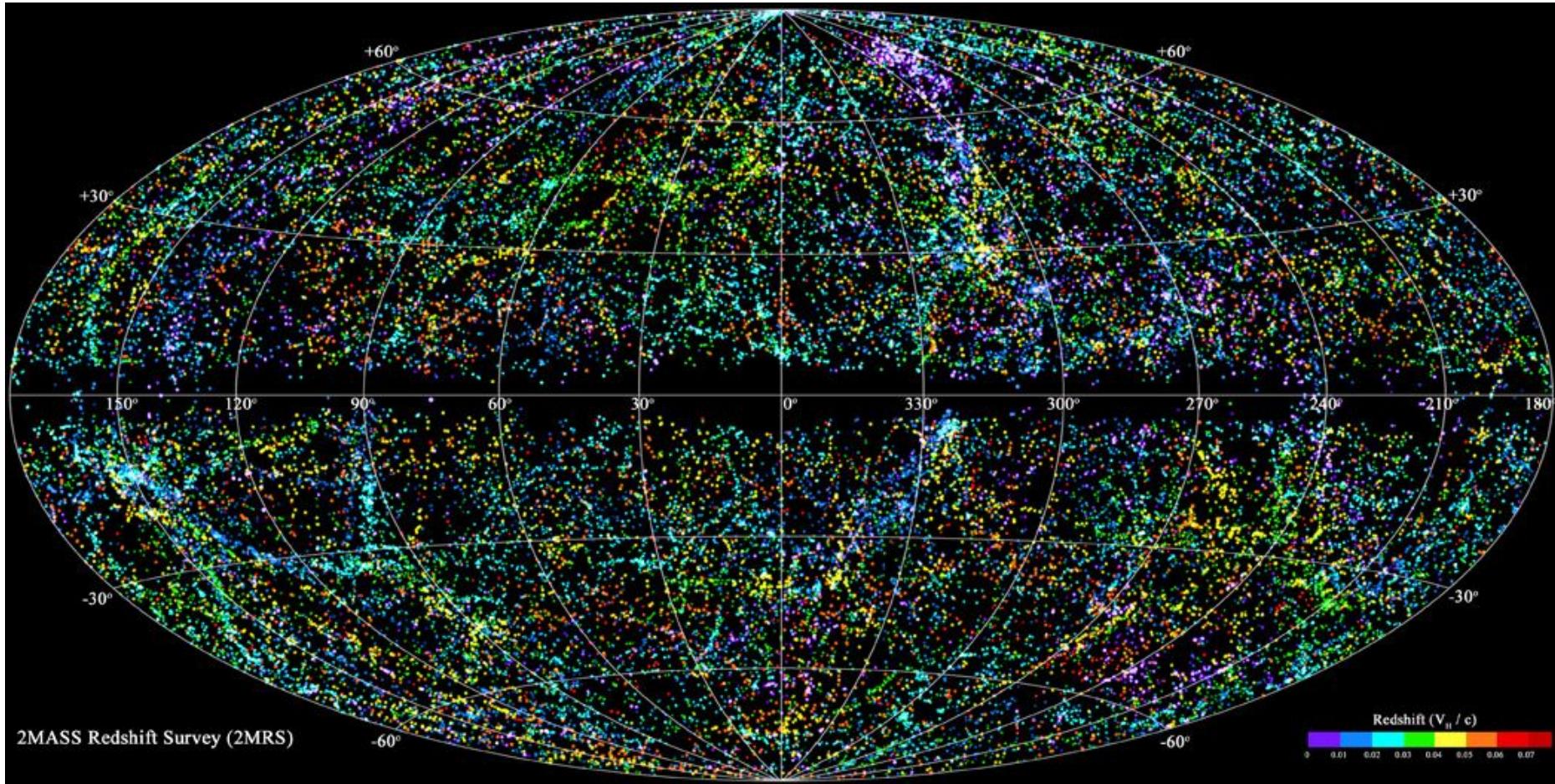
- Las galaxias se organizan en Grupos, Cúmulos y supercúmulos a gran escala.
- Crean una red cósmica que define la estructura del Universo.
- Importantes para comprender la evolución y organización del cosmos.

Veamos la ubicación de la Tierra en el Universo, a distintas escalas:



Pueden ver esta imagen con muy **alta resolución** en: <https://www.jpl.nasa.gov/infographics/earths-location-in-the-universe>

# Distribución de galaxias en el Universo Local



$z = 40.57$

$z = 9.86$

$z = 6.16$

$z = 3.93$

$z = 2.00$

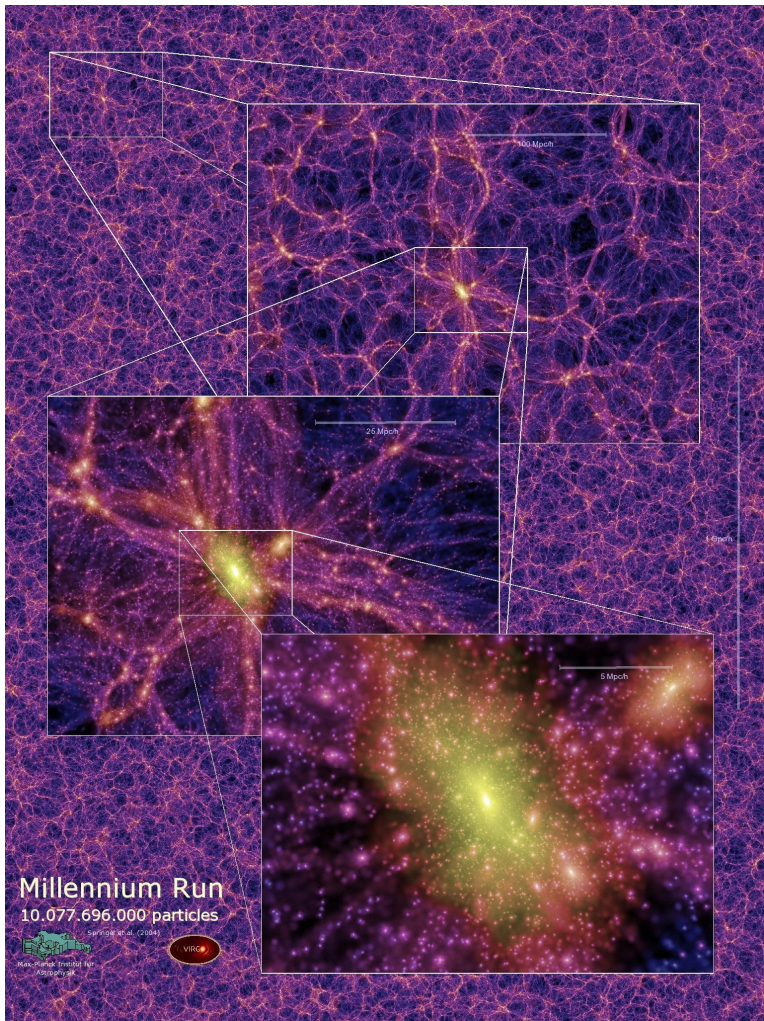
$z = 0.00$

Los halos de materia oscura se forman por agregación jerárquica.

Desde estructuras más pequeñas a estructuras más grandes.

Dentro de los DM halos se forman las galaxias.

Quieren pasar de  $z$  a edad o distancia?  
Usen una [calculadora cosmológica](#)



- **Millennium Run:**
  - Más de 10 mil millones de partículas.
  - Rastreo de la materia en el Universo.
  - Región cúbica de 2 mil millones de años luz.
  - Cálculos en supercomputadora de Alemania por un mes.
- **Resultados:**
  - Historias evolutivas de alrededor de 20 millones de galaxias.
  - Comprender la formación de galaxias y agujeros negros supermasivos.
  - Comparación con observaciones reales para validar modelos.

Si bien no hay una **clasificación** estricta en términos del tamaño, observamos galaxias en el Universo en **distintos rangos de tamaño físico y de masa.**

Algunos valores de referencia, y ejemplos de galaxias en dicha categoría:

1. **Galaxias Enanas:**

- Diámetro típico: Menos de 10,000 parsecs (pc).
- Ejemplo: Nube menor de Magallanes (SMC).

2. **Galaxias de Tamaño Mediano:**

- Diámetro típico: Entre 10,000 pc y 30,000 pc.
- Ejemplo: Nube mayor de Magallanes (LMC).

3. **Galaxias Grandes:**

- Diámetro típico: Más de 30,000 pc.
- Ejemplo: Vía Láctea.

4. **Galaxias Gigantes:**

- Diámetro típico: Más de 100,000 pc.
- Ejemplo: Galaxia de Andrómeda (M31).



**Recuerden:**

Para conocer el **tamaño físico** de una galaxia, necesito conocer:

- ❖ Diámetro angular
- ❖ Distancia

Una clasificación más aceptada se basa en la **morfología** (dentro de una misma categoría morfológica, las galaxias pueden tener distinta masa, y distinto tamaño físico)

# Galaxias - Morfología

Las galaxias se clasifican en dos grandes grupos:

- ❑ Elípticas (tempranas)
- ❑ Espirales (tardías)

## Galaxias tempranas: elípticas y lenticulares

- ❑ Morfología dominada por bulbo
- ❑ Con poblaciones estelares viejas
- ❑ Muy poco o nada de gas y polvo
- ❑ Poca formación estelar

## Galaxias tardías: espirales (con o sin barra) e Irreg.

- ❑ Morfología dominada por disco
- ❑ Puede tener gran cantidad de gas y polvo
- ❑ Formación estelar activa

### Nota:

Las galaxias más viejas, grandes y masivas que se observan en el Universo son tempranas.

La clasificación morfológica es muy importante para cualquier **estudio estadístico** que se quiera hacer (utilizando datos de los *surveys*) acerca de las propiedades de las galaxias (tanto normales como anfitrionas de AGN), estudios de estructura a gran escala, y formación y evolución de galaxias.



## Early-Type

- elliptical & lenticular (S0)
- no evidence of HII emission regions: no  $H\alpha$  or [OIII] emission & have  $H\beta$  absorption
- dominated by old stars with no recent star formation



## Late-Type

- spiral & irregular
- evidence of HII emission regions:  $H\alpha$ , [OIII] &  $H\beta$  emission
- mixture old & young stars, ongoing star formation



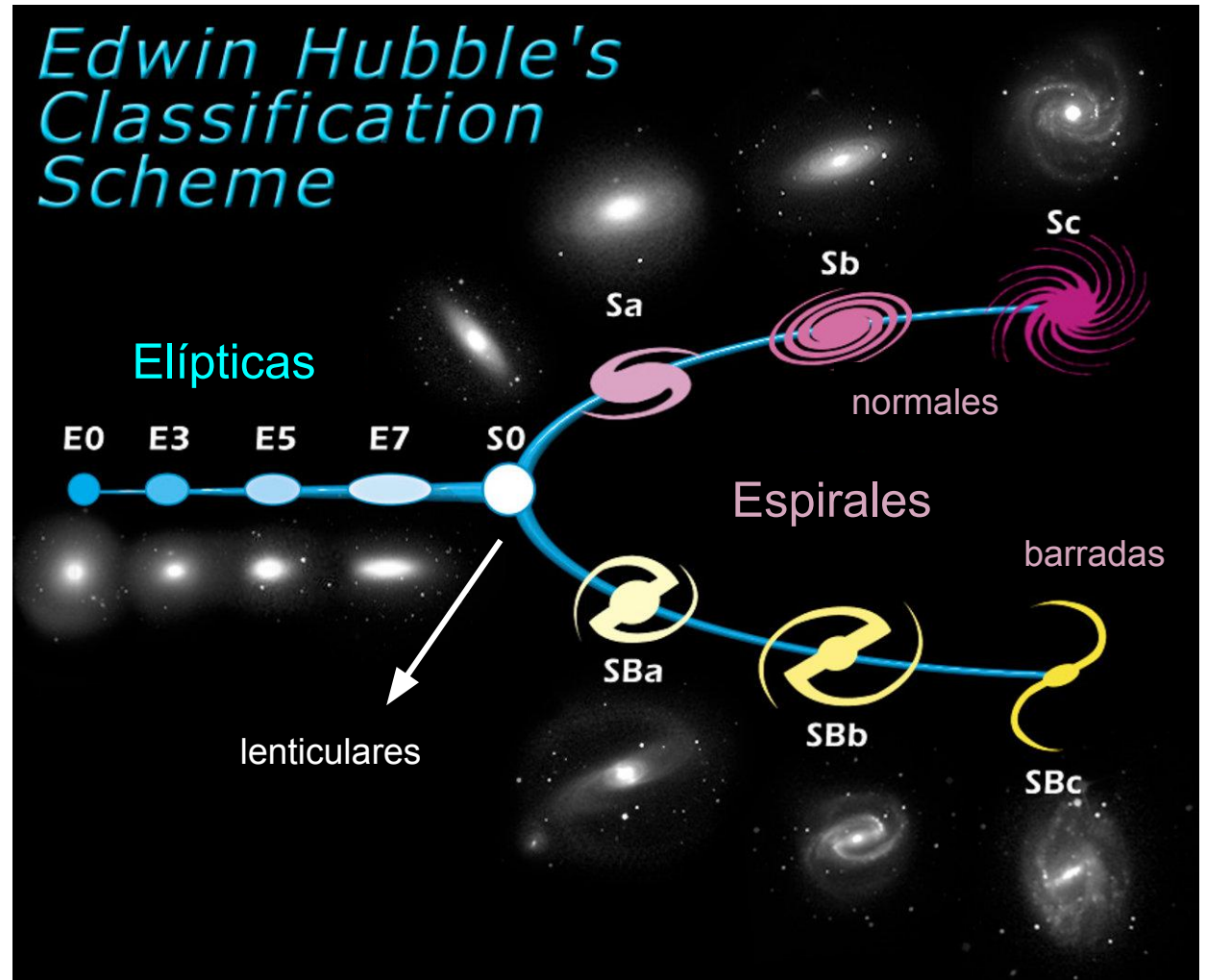
Hay una manera de acomodar los tipos de galaxias que se llama “esquema de clasificación de Hubble” (1926)

Elípticas ordenadas por achatamiento.

Lenticulares como transición.

Espirales separadas en “barradas” y “no barradas”.

Se subclasifican según el aspecto de la relación bulbo/disco, apretamiento de brazos espirales, y grado de resolución de los mismos.



# Componentes de los distintos tipos de galaxias

Galaxias **elípticas** E tienen una sola componente, esferoidal.

En con  $n=10*(1 - b/a)$

E0: forma circular (proyectada), E7: las + achatadas.

**Lenticulares:** S0 tienen 2 o 3 componentes (poco MIE, poca formación estelar):

- ❖ Esferoide
- ❖ Disco
- ❖ Y eventual barra

Originalmente sólo se las colocó en la unión de las elípticas con la bifurcación de las ramas.

Pero luego se las clasificó en: SO1, SO2, SO3 (según importancia de la banda de polvo ( $3>2>1$ ))  
SBO1, SBO2, SBO3 (según prominencia de la barra)

**Espirales:** S. Tienen 2 componente principales:

- ❖ Bulbo (bulge): semejante a E de baja luminosidad
- ❖ Disco con brazos espirales

En las SB los brazos surgen de los extremos de la barra.

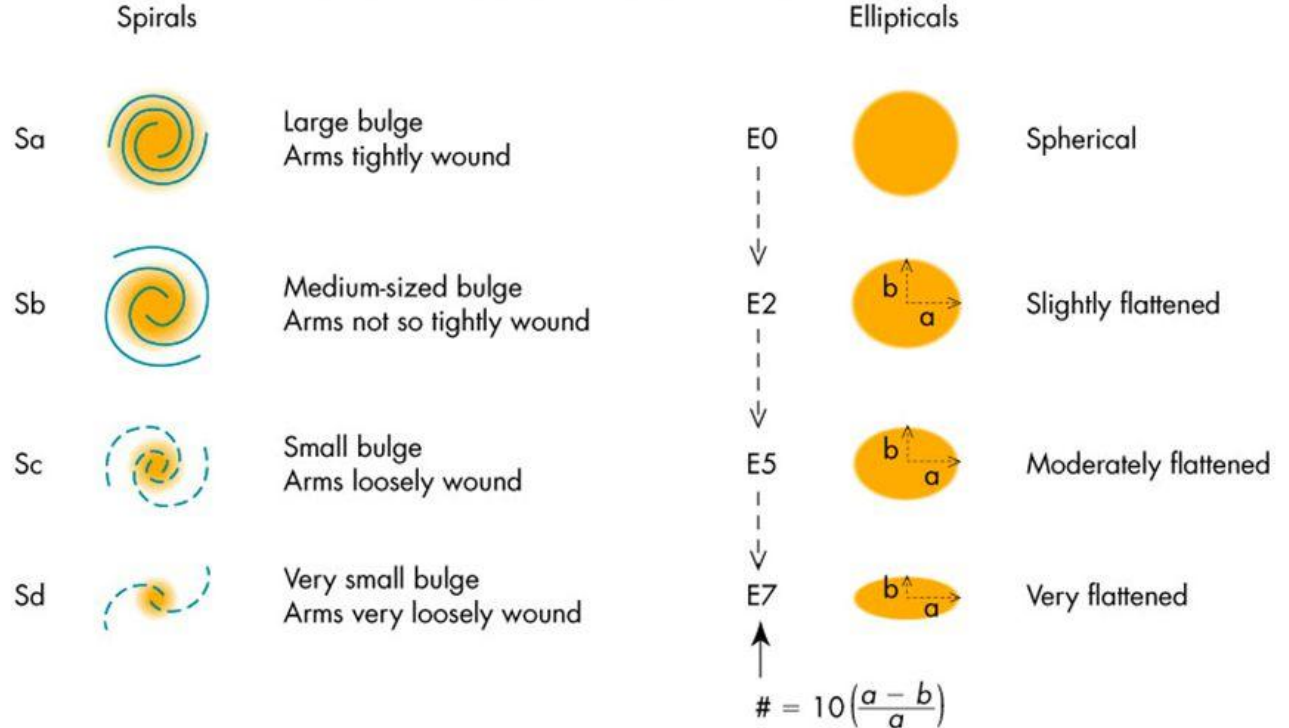
Subtipos a - b - c (en base a 3 criterios):

- 1) Relación bulbo/disco:  
a: B/D grande  
c: B/D pequeño
- 2) Grado de apretamiento de los brazos espirales (a: apretados, c: sueltos)
- 3) Grado de resolución de los brazos espirales (en reg III individuales): a: menos resueltos, c: mas resueltos.

**Estos 3 criterios no son independientes.**

# Learning the Hubble Classification Scheme

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



# Esquema de Hubble, ilustrado con Imágenes del telescopio Hubble.

E2



E4



S0



Sa



Sb



Sc



SBa



SBb



SBc



# Galaxias irregulares

NGC 4449



NGC 1569



Las irregulares no estaban en la clasificación original de Hubble.

Irr 1 : no simétricas, regiones de formación estelar.

Irr2: no simétricas, pero imágenes más suaves, + bandas de polvo

## Clasificación de **de Vaucouleurs** (1959)

Extiende la clasificación de espirales: Sd, Sm, Im

La clase Sd se superpone parcialmente a la Sc de Hubble, e incluye parte de las Irr I.

El resto de las irregulares Irr 1: Sm o Im (la “m” es de Magallánica)

Nube mayor de Magallanes: SBm

Nube menor de Magallanes: Im

### Barras:

SA: denota falta de barras

SB: espiral barrada

SAB: caso intermedio (barra débil)

( r ) con anillo

( s ) sin anillo

( R ) anillo externo.

### Anillos:

Nuclear: si  $r/a < 1$

Interno si  $r/a \sim 1$

Externo si  $r/a > 1$

Donde:

$r$  es el radio del anillo

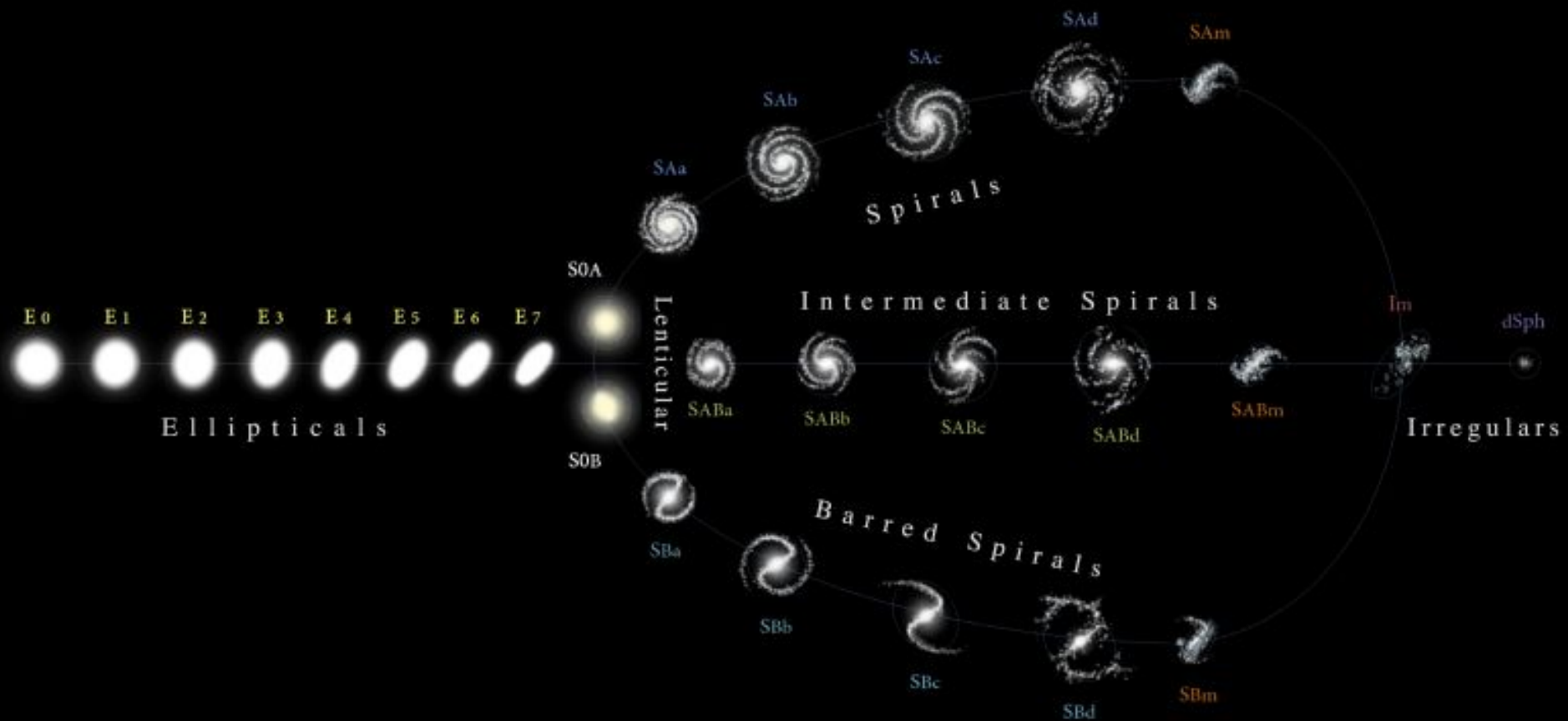
$a$  es el semieje mayor de la barra.

Útil para trabajo detallado pero engorroso en general.

Clasif. Numérica es útil para realizar trabajos cuantitativos.



# HUBBLE-DE VAUCOULEURS DIAGRAM



# Clases de Luminosidad

Van den Bergh S. (1960, ApJ 131, 558)

Número romano I → + luminosa (mayor masa) a IV: menos luminosa (menor cantidad de masa).

Clase I:  $M_B = -20$

Clase IV:  $M_B = -14.5$

Las clases de luminosidad complementan el esquema de Hubble.

**Luminosidad:** producción total de **energía** por unid. de **tiempo (producción de energía intrínseca)**.

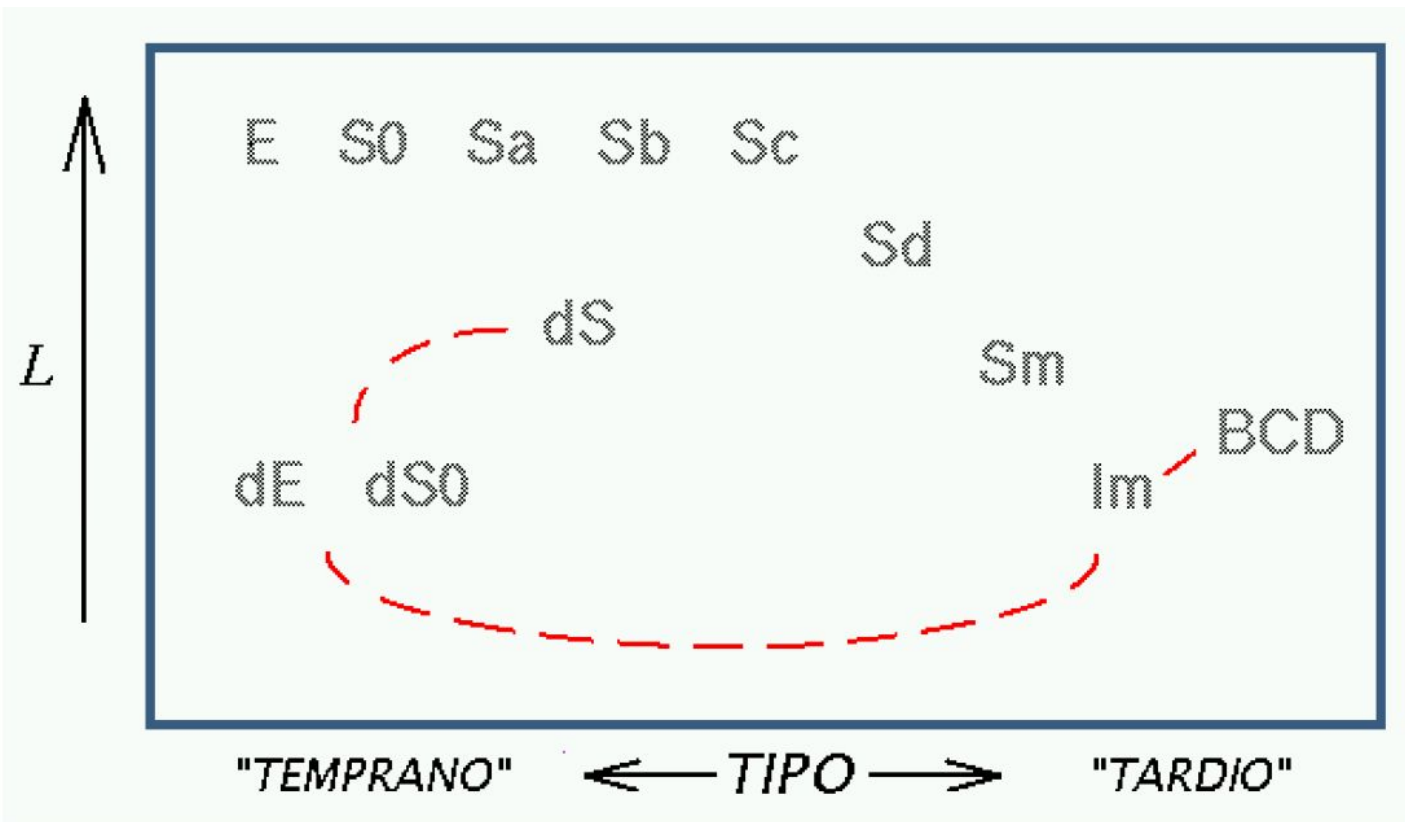
Notar que el **flujo** se refiere a la luminosidad corregida por la distancia.

Por lo tanto, una galaxia lejana pero de alta luminosidad podría parecer más débil que una galaxia cercana de baja luminosidad.

Las clases de luminosidad son los números romanos I, II, III, IV y V. Las galaxias más luminosas son de clase I y las menos luminosas son de clase V.

Las galaxias más luminosas son generalmente de mayor tamaño y contienen más estrellas.

## Relación luminosidad - morfología



## Clasificación por colores:

Tipos tempranos: más rojos.

Galaxias elípticas, con poco gas y estrellas viejas.

Hay muy luminosas y poco luminosas (ocupan todo el rango de luminosidad).

Tipos tardíos: los muy tardíos son las Irr, que no desarrolla estructura espiral. Tiene mucho gas y estrellas jóvenes.

En el medio de estos extremos se ubican las demás galaxias.

## Dinámica:

**Esferoides** (E y bulbos de espirales): soportados por la **dispersión de velocidades**

**Discos** (soportados por **rotación**) que contrarresta la gravedad.

# Forma intrínseca de las galaxias elípticas

Elipticidad observada  $\epsilon = 1 - q = 1 - b/a$

Histograma de  $\epsilon$  (2135 galaxias elípticas)

Obtención de la distribución intrínseca de elipticidades.

Supongamos que galaxia es elipse de revolución.

Planteo el  $q = b/a$  observado y el  $Q=B/A$  intrínseco

Planteo la probabilidad de observar una gal. de achatamiento intrínseco  $Q$  con achatamiento aparente en  $[q, q+dq]$

Luego comparo el histograma predicho con el observado, y no coincide.

Los modelos que mejor ajustan son los **TRIAXIALES**.

## On the true shapes of galaxies

D. G. Lambas,\* S. J. Maddox and J. Loveday†

Department of Physics, Keble Road, Oxford OX1 3RH

Accepted 1992 March 16. Received 1992 February 28; in original form 1991 August 2

### SUMMARY

We analyse the distribution of axial ratios of images in the APM Bright Galaxy Survey (APMBGS). The sample analysed contains a total of 20 399 galaxies (2135 ellipticals, 4782 S0s, 13 482 spirals). For these objects the APM survey provides homogeneous measurements of image characteristics with great accuracy. We apply analytic inversion to infer the true distribution of axial ratios for oblate and prolate models. We also apply Monte Carlo techniques to explore triaxial models.

For elliptical galaxies, we find that neither pure oblate nor pure prolate models can satisfactorily account for the observed distribution of apparent axial ratios, since the derived solutions for the distribution of true axial ratios become significantly negative for  $q > 0.9$ . We consider triaxial models in which the true axial ratios  $b/a$  and  $c/a$  of galaxies are selected from Gaussian distributions. Models with  $\langle (b-c)/(a-c) \rangle \approx 0.6$  provide a good fit to the observed distribution of axial ratios. We analyse possible variations of the intrinsic flattening of ellipticals depending on low and high local density environments. We find that the projected distributions of axial ratios of high and low local density environment ellipticals are remarkably similar. We therefore see no evidence in the data that the environment has significantly affected the shapes of early-type galaxies.

For spiral galaxies, pure oblate models fail to reproduce the distribution of observed axial ratios, but consistent fits can be obtained with nearly oblate models with thickness  $c/a = 0.2$  and ellipticity  $b/a = 0.9$ . The distributions in this model are very similar to the classical oblate solution of Sandage, Freeman & Stokes. The inferred slight triaxiality could be due to the presence of substructure in discs, or may reflect truly triaxial potentials in spirals.

**Key words:** methods: data analysis – galaxies: kinematics and dynamics – galaxies: photometry.

### 1 INTRODUCTION

Several authors have attempted to infer the three-dimensional shapes of galaxies from the observed projected axial ratios (Binageli 1980; Benacchio & Galletta 1980; Binney & de Vaucouleurs 1981). These analyses were based on small samples of visual and photographic measurements and provide conflicting results regarding the intrinsic shapes of ellipticals. More recently, however, CCD detectors have provided new material and the possibility of a more sys-

tematic analysis of this subject. Djorgovski & Davis (1987), Fasano & Bonoli (1990) and Bender *et al.* (1989) have provided accurate data that have been analysed by Fasano & Vio (1991). Their analysis of this sample of 204 ellipticals shows that the subsamples from different authors are consistent in finding very few round ellipticals. The observed axial ratio distribution was inverted using Lucy's (1974) method to obtain the true distribution and they concluded that pure oblate models do not adequately represent the observed distribution.

The APM Bright Galaxy Survey (Loveday 1989, hereafter APMBGS) provides a new and important sample of uniformly selected elliptical galaxies. The high quality of the APM measurements permits a precise analysis of the observed distribution of axial ratios and its comparison with model predictions. The number of elliptical galaxies in this

\*E.C. Postdoctoral Fellow on leave from Observatorio Astronómico, Laprida 854, Córdoba 5000, Argentina.

†Present address: Mount Stromlo and Siding Spring Observatories, Australian National University, Private Bag, Weston Creek Post Office, ACT 2611, Australia.

**Filminas adicionales**  
(no imprimir)

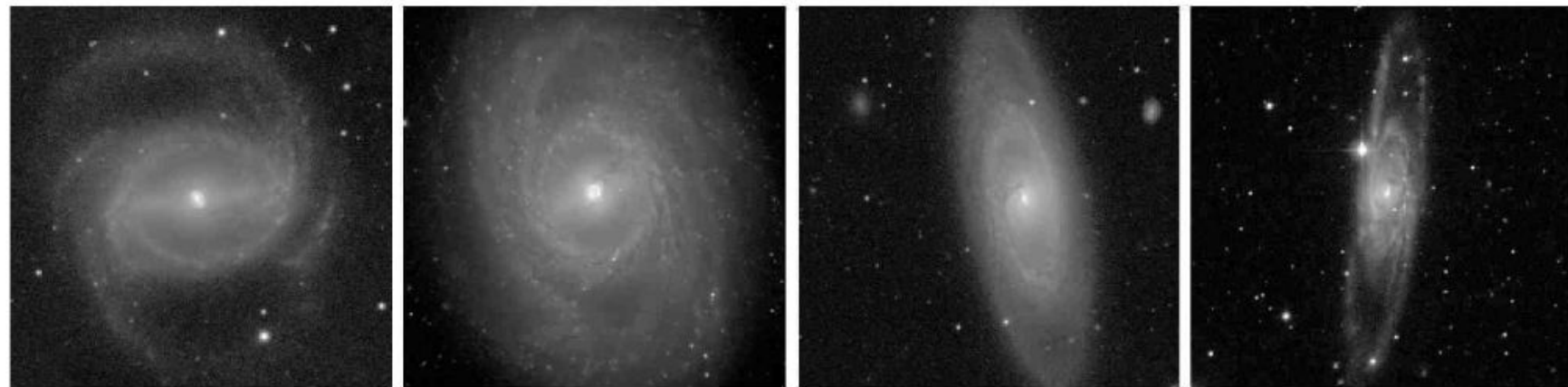
Review interesante sobre la morfología de las galaxias:

*Galaxy Morphology*

Ronald J. Buta

<https://arxiv.org/pdf/1102.0550.pdf>

Debajo les comparto algunas figuras sacadas de este trabajo.



33°

49°

71°

81°

Fig. 1.— Four galaxies of likely similar face-on morphology viewed at different inclinations (number below each image). The galaxies are (left to right): NGC 1433, NGC 3351, NGC 4274, and NGC 5792. Images are from the dVA (filters *B* and *g*).



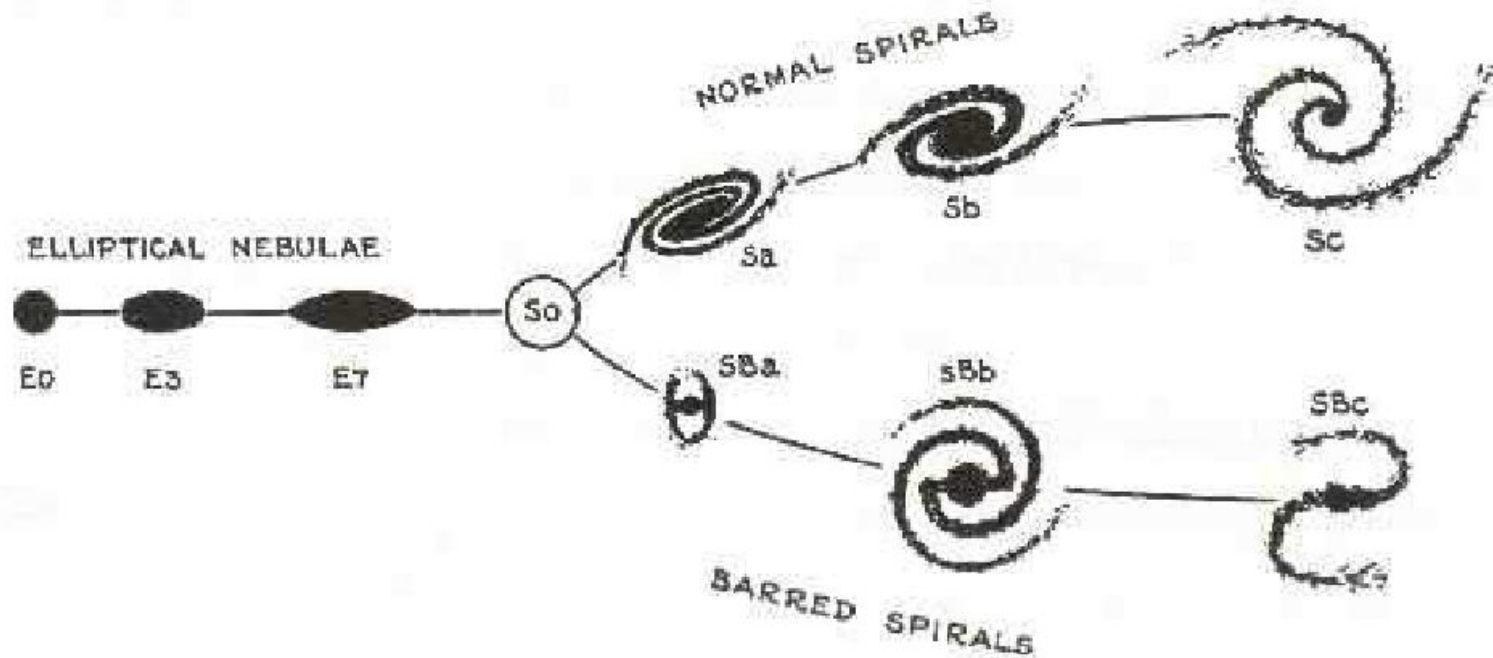


Fig. 2.— Hubble's (1936) "tuning fork" of galaxy morphologies is the basis for modern galaxy classification.

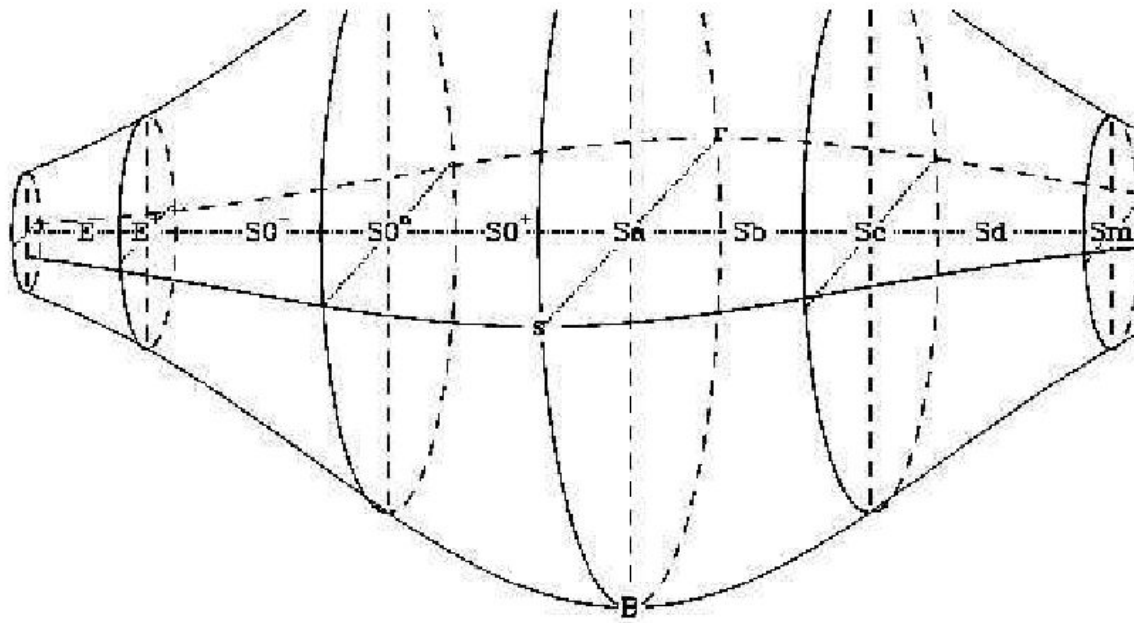


Fig. 3.— de Vaucouleurs's (1959) classification volume, a revision and extension of the Hubble tuning fork. The three dimensions are the stage (Hubble type), the family (apparent bar strength), and the variety (presence or absence of an inner ring).



E0



E2



E3



E4



E5



E<sup>+</sup>0



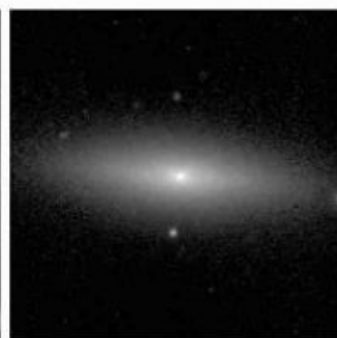
E<sup>+</sup>2



E<sup>+</sup>3



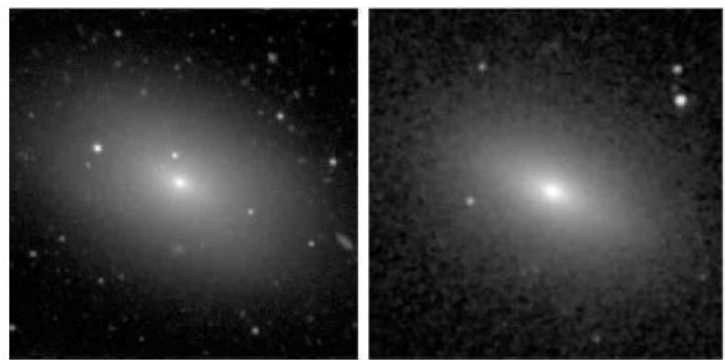
E<sup>+</sup>4



E<sup>+</sup>7

caption de la figura anterior:

Fig. 4.— Examples of elliptical galaxies of different projected shapes. Type E galaxies are normal ellipticals with no structural details. From left to right the galaxies shown are NGC 1379, 3193, 5322, 1426, and 720. Type E<sup>+</sup> galaxies are “late” ellipticals, which may include faint extended envelopes typical of large cluster ellipticals, or simple transition types to S0<sup>-</sup>. The examples shown are (left to right): NGC 1374, 4472, 4406, 4889, and 4623. All of these images are from the dVA (filters *B*, *V*, and *g*).



E(b)5

E(d)5

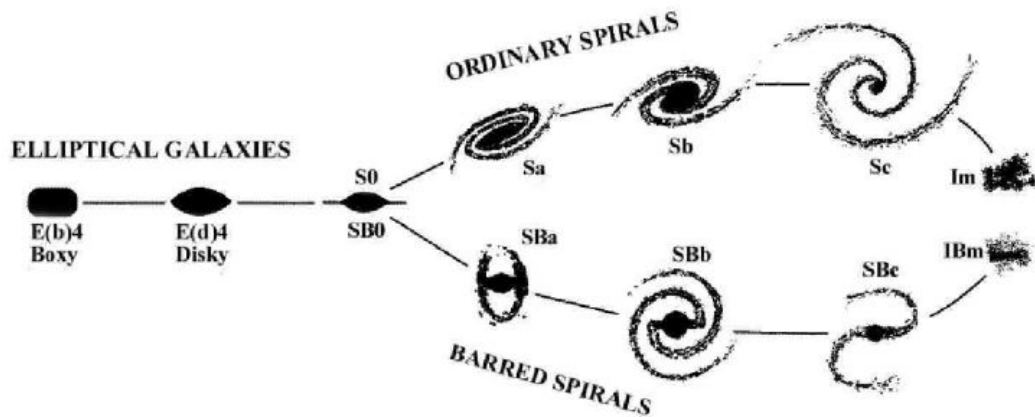


Fig. 5.— Revised classification of elliptical galaxies from Kormendy & Bender (1996), as schematically incorporated into Hubble’s (1936) “tuning fork.” At left are two examples of boxy and disk-like ellipticals: NGC 7029 (left,  $B$ -band) and NGC 4697 ( $JHK_s$  composite, 2MASS image from NED).

Si les interesa, les comparto este curso (un ejemplo de lo que podemos encontrar en internet, gracias a la pandemia) 😊

<https://campuspress.yale.edu/astro610/>

**Theory of galaxy formation** - curso dictado por el Prof. van der Bosch (Yale University)

con videos, filminas, y ejercicios.

- [Lecture 18](#): Structure & Formation of Disk Galaxies [\(video\)](#)
- [Lecture 19](#): Structure & Formation of Elliptical Galaxies [\(video\)](#)

<https://arxiv.org/pdf/2309.02486.pdf>

# Galaxy formation from a timescale perspective

Peter Laursen<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Cosmic Dawn Center (DAWN). e-mail: peLa@nbi.ku.dk.

<sup>2</sup> Niels Bohr Institute, University of Copenhagen, Jagtvej 128, 2200 Copenhagen N, Denmark.

September 7, 2023

## ABSTRACT

Timescales in astronomy comprise the largest range of any scientific discipline. In the construction of physical models, this circumstance may both be a blessing and a curse. For example, galaxy evolution occurs on typical timescales of hundreds of millions of years, but is affected by atomic processes on sub-second timescales, posing a challenge in analytical and, in particular, in numerical models. On the other hand, the vast dynamic range implies that we can often make meaningful predictions by simply comparing characteristic timescales of the physical processes involved. This review, aimed primarily at non-astronomer scientists, attempts to highlight some occasions in the context of galaxy formation and evolution in which comparing timescales can shed light on astrophysical phenomena, as well as some of the challenges that may be encountered. In particular we will explore the differences and similarities between theoretical predictions of dark matter halos, and the observed distribution of galaxies. The review concludes with an account of the most recent observations with the James Webb Space Telescope, and how they purportedly seem to defy the timescales of the currently accepted concordance model of the structure and evolution of the Universe, the  $\Lambda$ CDM model.

Galaxias en proceso de fusión (o “merger”) [link](#) (Imagen real)





Animación (artística) de  
Via Láctea y Andrómeda colisionando [Link](#)



Artículo de divulgación en la página de la NASA [link](#)

**Illustration Sequence of the Milky Way  
and Andromeda Galaxy Colliding**

NASA, ESA, Z. Levay and R. van der Marel (STScI), T. Hallas, and A. Mellinger ■ STScI-PRC12-20b

# Proyecto Illustris - simulaciones hidrodinámicas de la formación de estructura [link](#)

Volumen cosmológico - gran resolución

Logran simular (muchas) galaxias con gran resolución (elípticas y espirales)

