

a) galaxias

b) estructura jerárquica del universo

c) ley de Hubble

d) escalera de distancias cósmicas

e) material interestelar

a) galaxias

Una galaxia es un aglomerado de estrellas, planetas, gas, polvo, materia oscura, unidos por la atracción gravitatoria mutua. El número de estrellas en una galaxia varía desde 10^7 hasta 10^{12} , dependiendo del tipo de galaxia.

Dentro de una galaxia los objetos se agrupan en sub-estructuras tales como:

- **sistemas planetarios**
- **asociaciones:** agrupaciones de estrellas con características físicas similares. Las llamadas “Asociaciones OB”, formadas por estrellas de tipo espectral O y B, son un ejemplo.
- **cúmulos estelares:** abiertos y globulares
- **nebulosas:** nubes de gas y polvo interestelar con una densidad mayor que sus alrededores.

Al mismo tiempo, las galaxias conforman super-estructuras agrupándose en:

- **cúmulos de galaxias** los que a su vez se agrupan en
- **super-cúmulos de galaxias.**

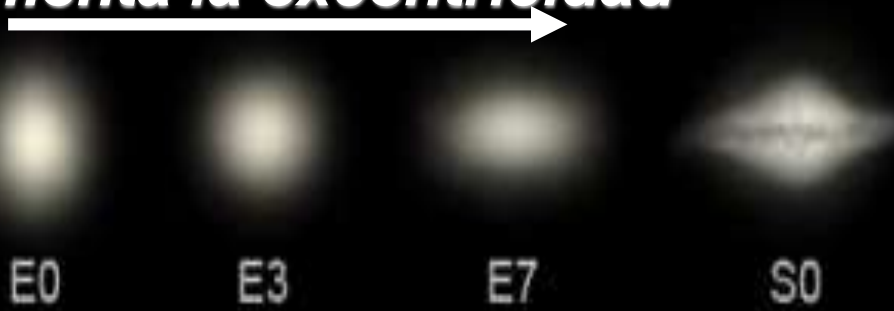
En 1936 Edwin Hubble clasificó las galaxias según su forma en elípticas, espirales, lenticulares e irregulares, según se muestra a continuación en el diagrama.

la clasificación de Hubble es morfológica y no representa una secuencia evolutiva

clasificación de Hubble de las galaxias (1936)

según su forma! no representa una secuencia evolutiva

elípticas: E0-E7
aumenta la excentricidad

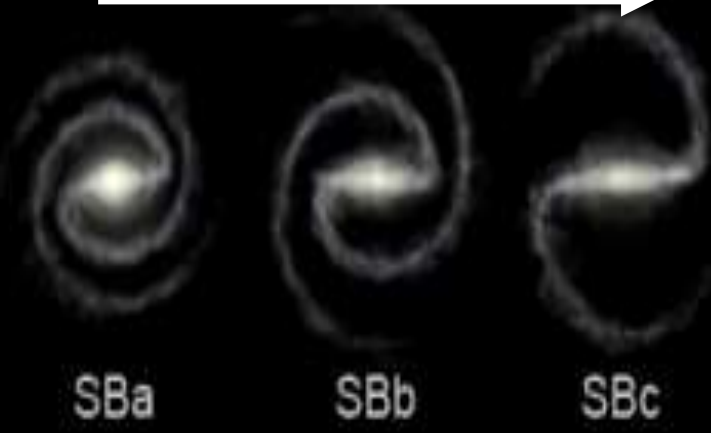


espirales: Sa-Sc



bulbo menos desarrollado
brazos menos apretados

lenticulares
bulbo y disco
sin brazos



espirales barradas: SBa-SBc

irregular



En las **galaxias elípticas** no se distinguen regiones definidas sino simplemente una distribución estelar elipsoidal con una disminución de la densidad de estrellas hacia fuera. A una galaxia clasificada como elíptica se le asigna la letra E seguida de un número entre 0 y 7, según su grado de apartamiento de la forma esférica, siendo las E7 las más elongadas. En las **galaxias espirales** se distingue una distribución más o menos esférica en el centro, llamada bulbo, un disco en el que se distinguen los brazos espirales y, en algunos casos, una barra que atraviesa el bulbo. Las galaxias espirales se clasifican en espirales y espirales barradas. Todas ellas son identificadas con una letra S, seguida de una B si poseen una barra, y a continuación las letras a, b o c, según el grado de desarrollo del bulbo y de enrollamiento de sus brazos. Las **galaxias lenticulares** muestran un bulbo como las espirales pero, a diferencia de estas, no poseen brazos. Existen algunas galaxias que no poseen una forma definida y son clasificadas entonces como **galaxias irregulares**. En cada uno de estos tipos de galaxias predominan estrellas de población I o estrellas de población II. Recordemos que llamamos objetos de población II a los objetos más viejos del universo, aquellos objetos de primera generación formados a partir del material interestelar primigenio del universo. Objetos de población I, en cambio, son objetos jóvenes formados a partir de material interestelar enriquecido con elementos expulsados al medio por las estrellas de primera generación. Por lo tanto, la presencia de objetos de una u otra población en una galaxia está íntimamente relacionado con la edad de la misma y con la presencia o no de material interestelar. El material interestelar es el material a partir del cual se forman las estrellas y su presencia indica procesos de formación activos y, por ende, presencia de objetos jóvenes. Entonces, una galaxia vieja está formada predominantemente por objetos de población II y posee muy poco material interestelar, mientras que una galaxia joven posee predominantemente objetos de población I y abundante material interestelar.

A continuación mostramos las principales características de cada uno de los tipos de galaxias según la clasificación de Hubble.

galaxias elípticas: E0-E7

≈ 20 % de las galaxias observadas son elípticas

- **forma esférica o elipsoidal**
 - **estrellas de población II**
 - **muy poco gas y polvo interestelar**
- ↓
- **no hay formación estelar**

**galaxia elíptica M87
(cúmulo de Virgo)**

la densidad estelar decrece desde el centro hacia fuera, como puede inferirse de la figura

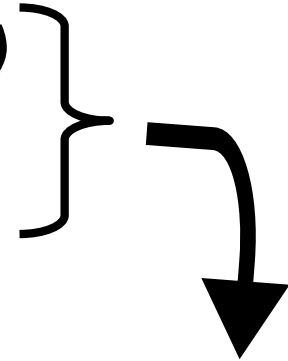
las galaxias elípticas gigantes son las galaxias más grandes que existen, pudiendo ser diez veces más luminosas que la Vía Láctea

galaxias espirales: Sa-Sc

≈ 74 % de las galaxias observadas son espirales

Según cuántos brazos tengan y cuán desarrollados estén se las clasifica en:

- **gran diseño**= dos brazos bien definidos (10%)
- **múltiples brazos** (60%)
- **floculentas**=brazos mal definidos (30%)



**galaxia espiral Sb M63 o NGC5055
(cúmulo M101)**



• **bulbo, disco y brazos espirales**

• **estrellas población I y II**

• **gas y polvo interestelar**



• **formación estelar**

teorías sobre la formación de los brazos espirales

En la actualidad existen dos teorías aceptadas que explicarían la presencia de brazos espirales en las galaxias:

1) ondas de densidad

Una perturbación se propaga en la galaxia dando origen a variaciones de la concentración de materia.

Los brazos son las regiones de la galaxia de mayor acumulación de materia, acumulación que induce el colapso de nubes moleculares dando lugar a la formación de estrellas masivas y brillantes.

Este proceso de ondas de densidad daría origen a **galaxias espirales con brazos bien definidos.**

los brazos tienen una densidad estelar sólo 5% mayor que las regiones inter-brazos, pero son mucho más brillantes

2) formación estelar autopropagada

En regiones de formación estelar, la expulsión de material al medio interestelar a través de eventos de supernovas, nebulosas planetarias, o vientos estelares, producen la contracción del gas lo que a su vez induce más formación estelar.

Esto sumado a la rotación diferencial de la galaxia produce brazos fragmentados dando origen a las llamadas **galaxias espirales flocculentas.**

galaxias espirales barradas: SBa-SBc

estas galaxias comparten las características descritas para las galaxias espirales sin barra pero poseen además una estructura plana en forma de barra de cuyos extremos nacen los brazos

galaxia espiral barrada SBbc NGC1300
(cúmulo Iridanus)



más de la mitad de las galaxias espirales son barradas

galaxias lenticulares: SO, SOB

≈ 3 % de las galaxias observadas
son lenticulares

las galaxias lenticulares son un tipo intermedio entre
espirales y elípticas

**galaxia lenticular NGC5866
(grupo de NGC 5866)**



- **tienen bulbo y disco, pero no tienen brazos**
 - **estrellas de población II e intermedia**
 - **poco gas y polvo interestelar**
- ↓**
- **no hay formación estelar**

galaxias irregulares

≈ 3 % de las galaxias observadas
son irregulares

son las galaxias más pequeñas que existen

- *no tienen forma definida*

- *estrellas de población I*

- *gran cantidad de gas y polvo interestelar*



- *formación estelar*

Las Gran y Pequeña Nubes de Magallanes son dos galaxias irregulares satélites de la Vía Láctea

Nubes de Magallanes



A continuación nos referiremos brevemente a galaxias con características particulares que las distinguen de las llamadas galaxias normales:

1) quasars : quasi-stellar radio sources

- **quasi-stellar refiere a que parecen estrellas y radio sources a que los primeros descubiertos eran fuentes emisoras en radio**
 - **pero no todos emiten en radio**
- **se los llama también QSOs: quasi stellar objects**
 - **cien veces más brillantes que la VL**
 - **brillo variable**
 - **líneas de emisión en sus espectros**
 - **tamaños comparables al sistema solar**
- **velocidades radiales (deducidas de $\Delta\lambda$): de hasta 92% de c**
- **distancias (deducidas de la ley de Hubble): hasta 13^9 años luz**
 - **estamos viendo el universo como era hace 10 mil millones de años luz**

2) galaxias activas: incluyen galaxias Seyfert, BL Lacertae, Blazares y radio galaxias

- **galaxias E, S, o SB pueden ser galaxias activas**
- **muestran líneas de emisión en sus espectros**
 - **brillan más que las galaxias normales**
 - **tienen brillo variable**
- **parte de la radiación electromagnética que emiten no es debida a los componentes normales de una galaxia (fuerte emisión en radio y rayos X)**
 - ↓
 - **proviene de una región central compacta**
 - ↓
 - **las galaxias activas son llamadas también AGN (Active Galactic Nuclei) o núcleos activos de galaxias**

modelo unificado de quasar y núcleo activo de galaxia



Los modelos indican que, tanto los quasars como las galaxias activas, son galaxias con un agujero negro supermasivo en el centro, el cual genera un disco de acreción y jets de partículas y energía. Dependiendo del ángulo de observación, se observan unas u otras características, como muestra el siguiente gráfico.



blazar

quasar

galaxia Seyfert

agujero negro

**disco de
acreción**

**toro de gas
neutro y polvo**

**jet en
radio**

modelo unificado

b) estructura jerárquica del universo

Todos los objetos en el universo tienden a agruparse debido a la atracción gravitatoria mutua formando estructuras de creciente jerarquía, como puede apreciarse en las seis figuras que se muestran a continuación.

En la *figura 1* se muestra una imagen del llamado Grupo Local, cúmulo de galaxias al cual pertenecen la Vía Láctea y otras 40 galaxias, de las cuáles Andrómeda y la VL son las más masivas y luminosas. El mismo cúmulo de galaxias es esquematizado en la *figura 2*, distinguiendo con diferentes símbolos entre galaxias espirales, elípticas e irregulares. En la *figura 3* se muestra una imagen del cúmulo de cúmulos de galaxias, llamado Supercúmulo de Virgo, al cual pertenece el Grupo Local y el Cúmulo de Virgo que le da nombre al Supercúmulo. Los supercúmulos del universo cercano formando el Complejo Local de Supercúmulos se muestran en la *figura 4*, y todo el universo observable en la *figura 5*. Finalmente, en la *figura 6* podemos apreciar en una única imagen las diferentes estructuras de creciente jerarquía.

Los avances tecnológicos en los últimos años nos han permitido ampliar cada vez más el horizonte del universo observable y comprender así la estructura a gran escala del universo. Estimar distancias a objetos más y más lejanos es el gran desafío en el proceso.

figura 1

Grupo Local

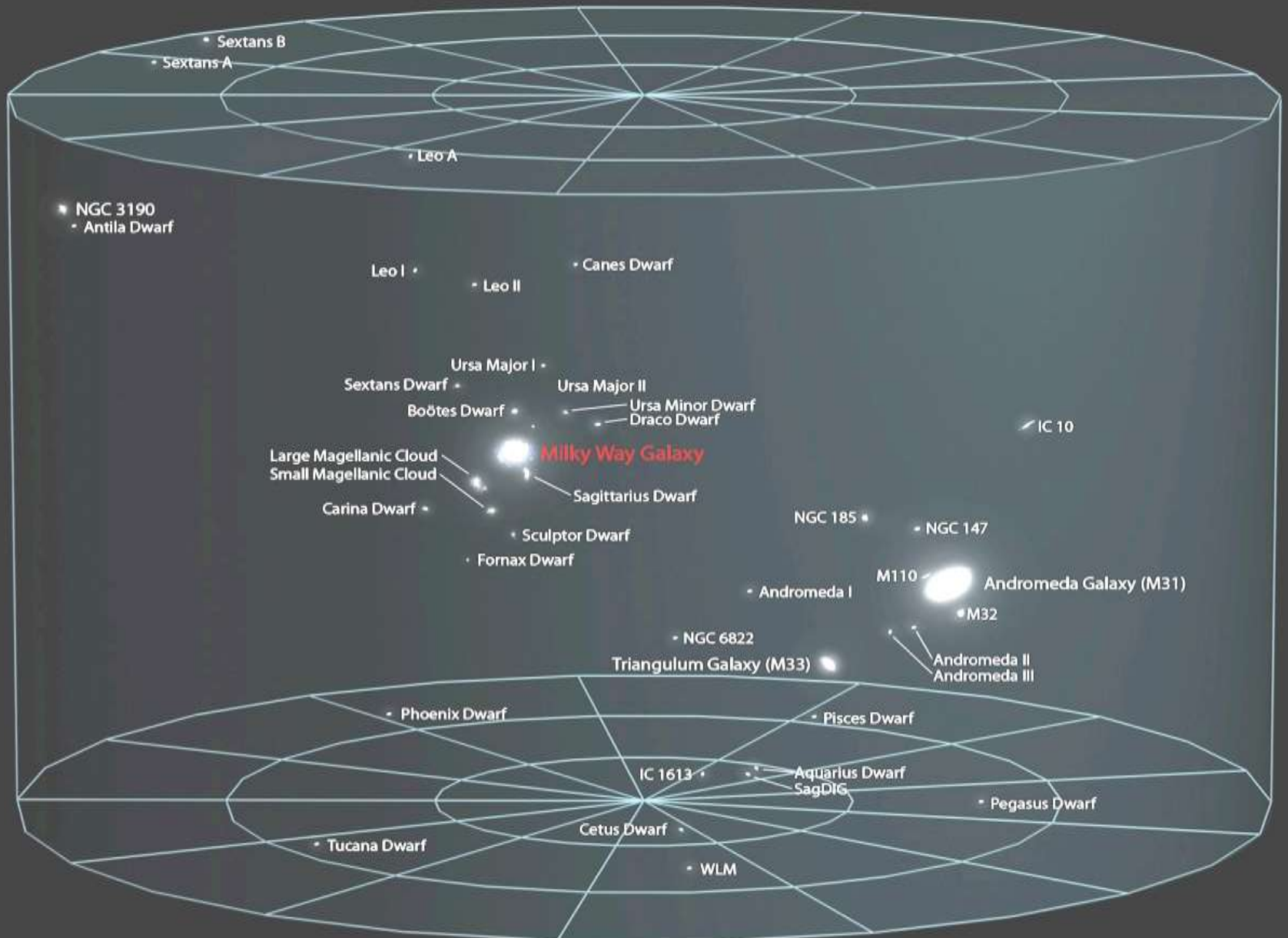


figura 2

Grupo Local

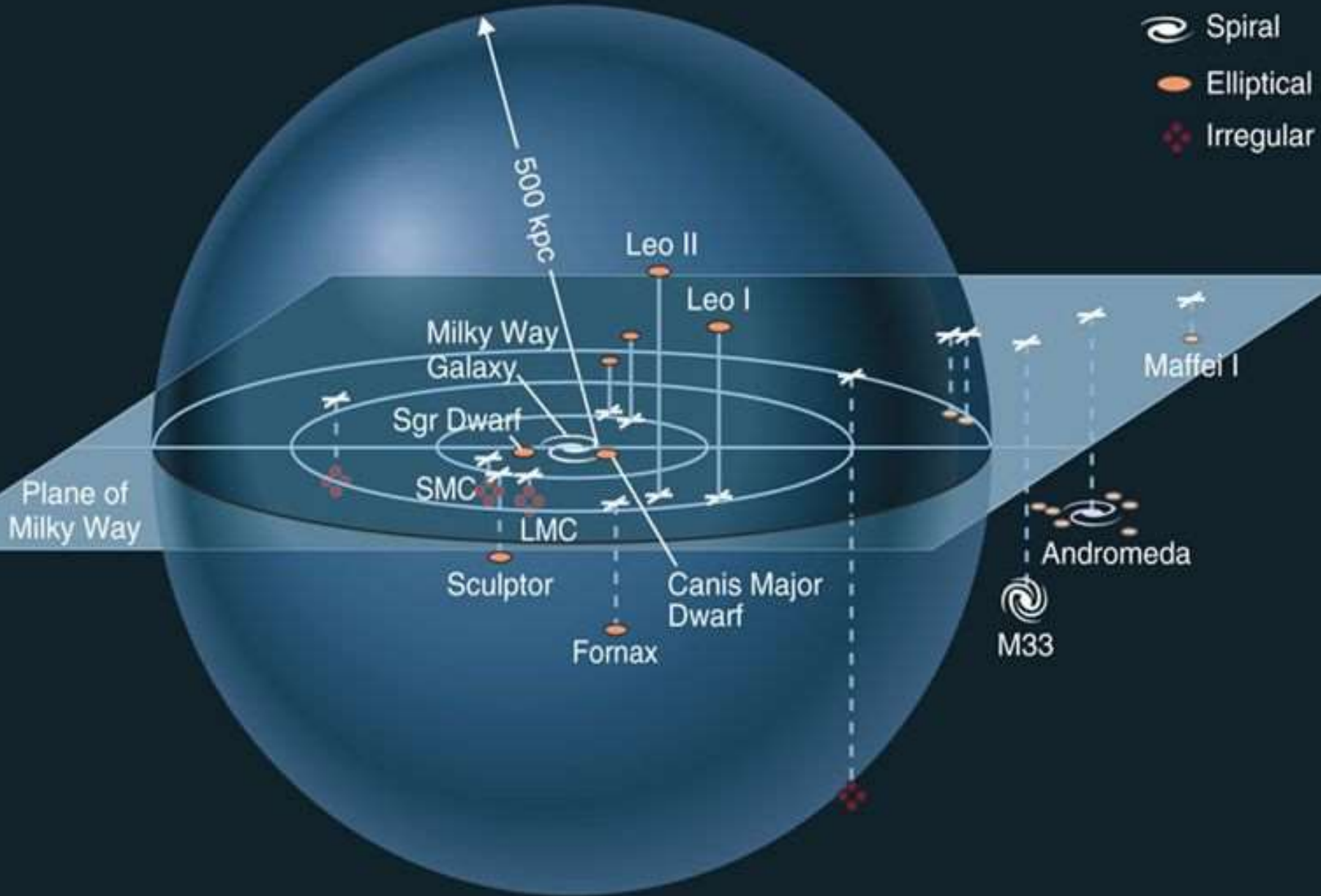


figura 3 *Supercúmulo de Virgo*

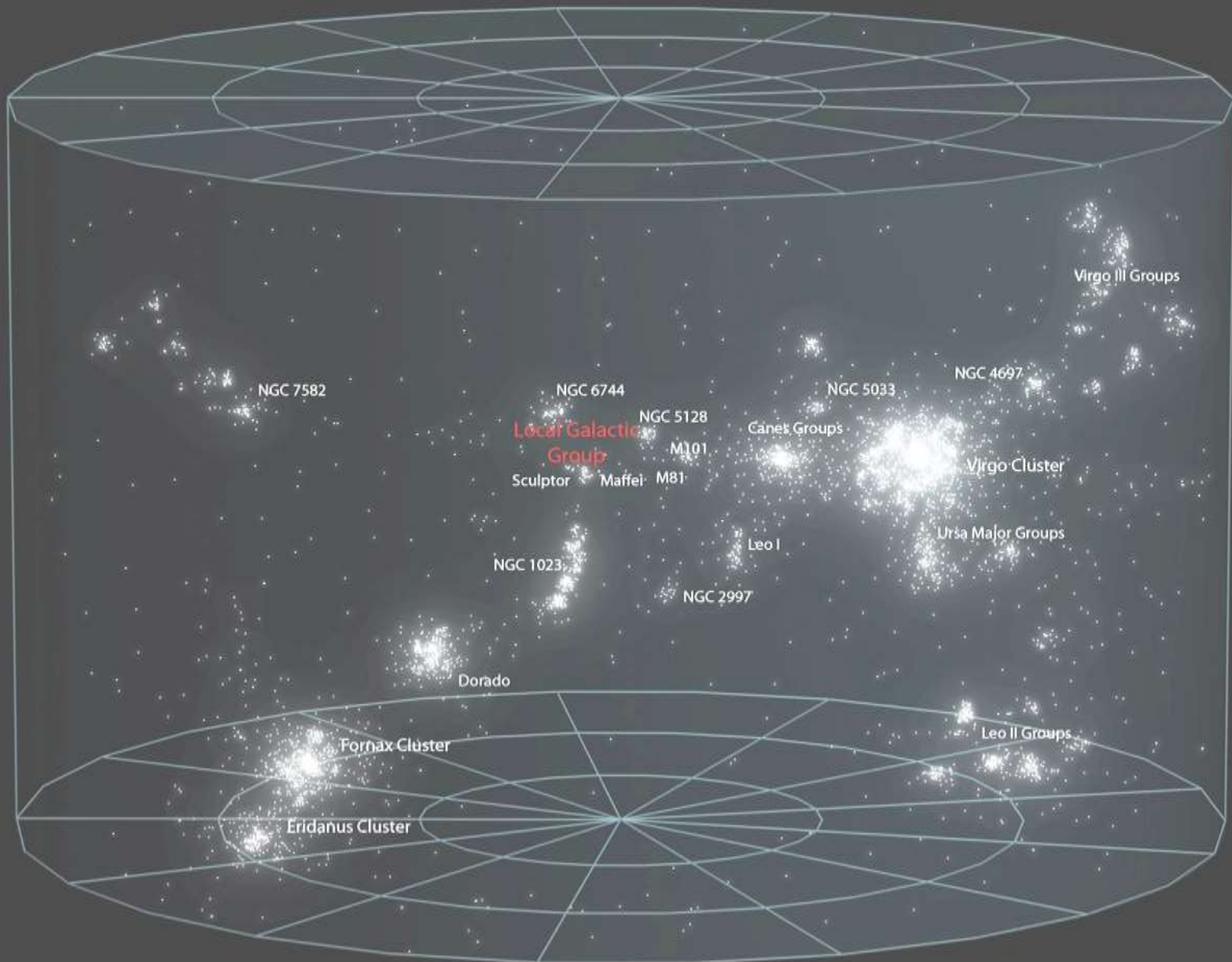


figura 4 Complejo Local de Supercúmulos

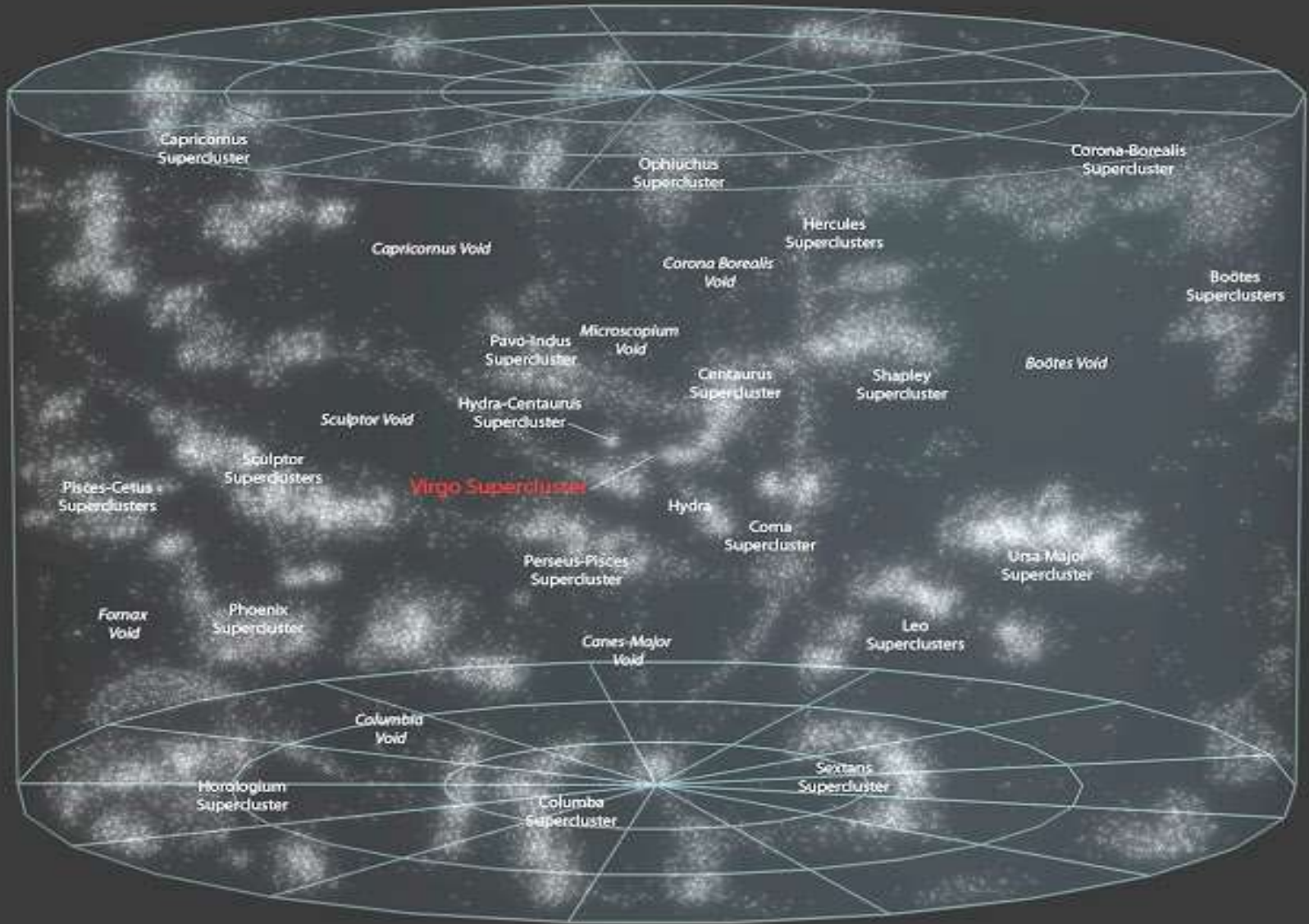


figura 5

Universo Observable

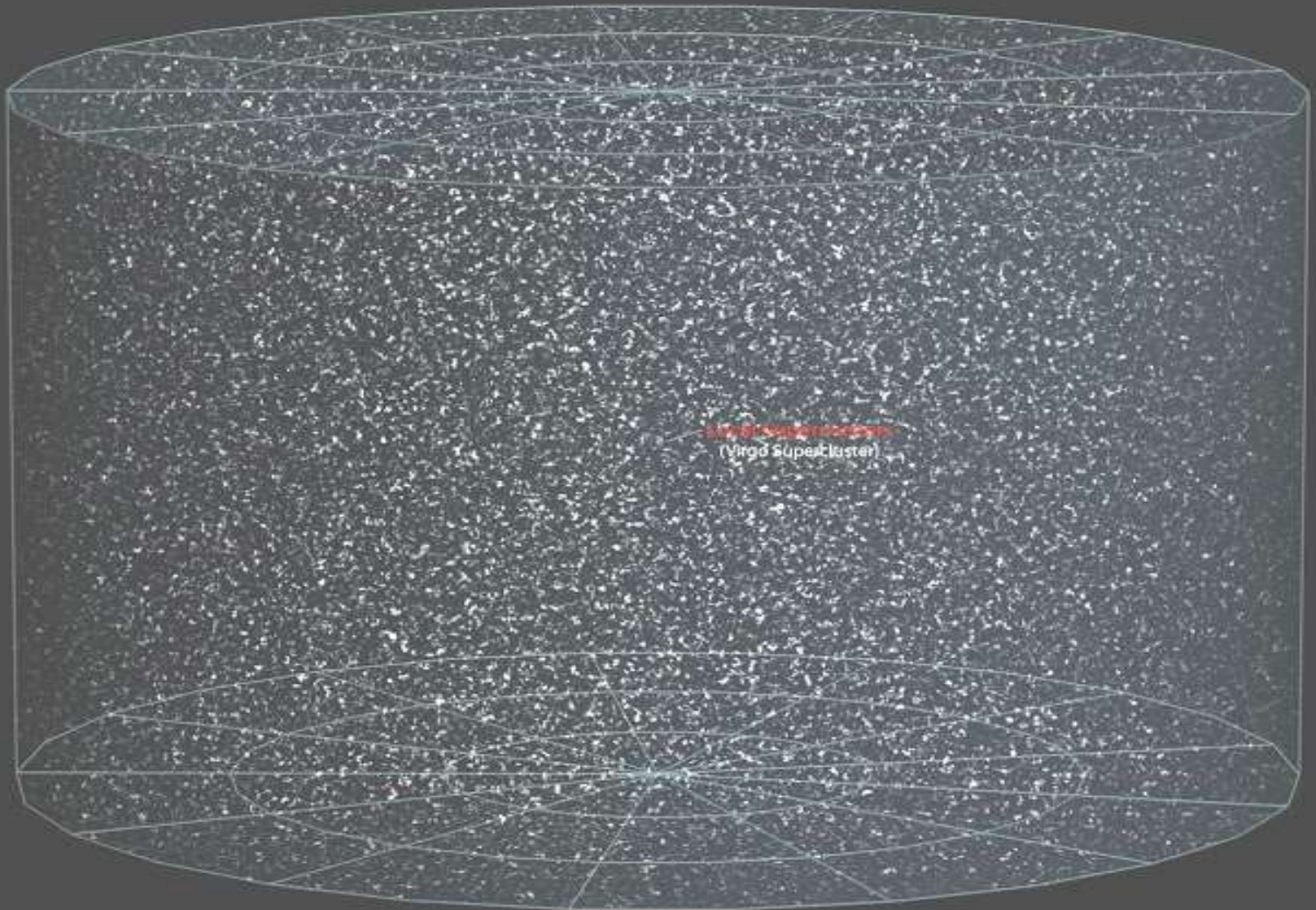


figura 6

Earth



Solar System



Solar Interstellar Neighborhood



Milky Way Galaxy



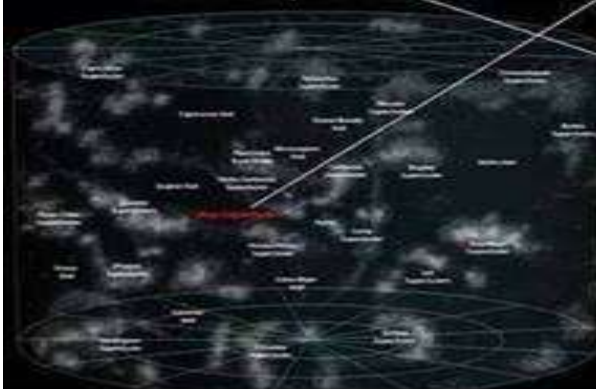
Local Galactic Group



Virgo Supercluster



Local Superclusters



Observable Universe



**ARE
WE
ALONE ?**

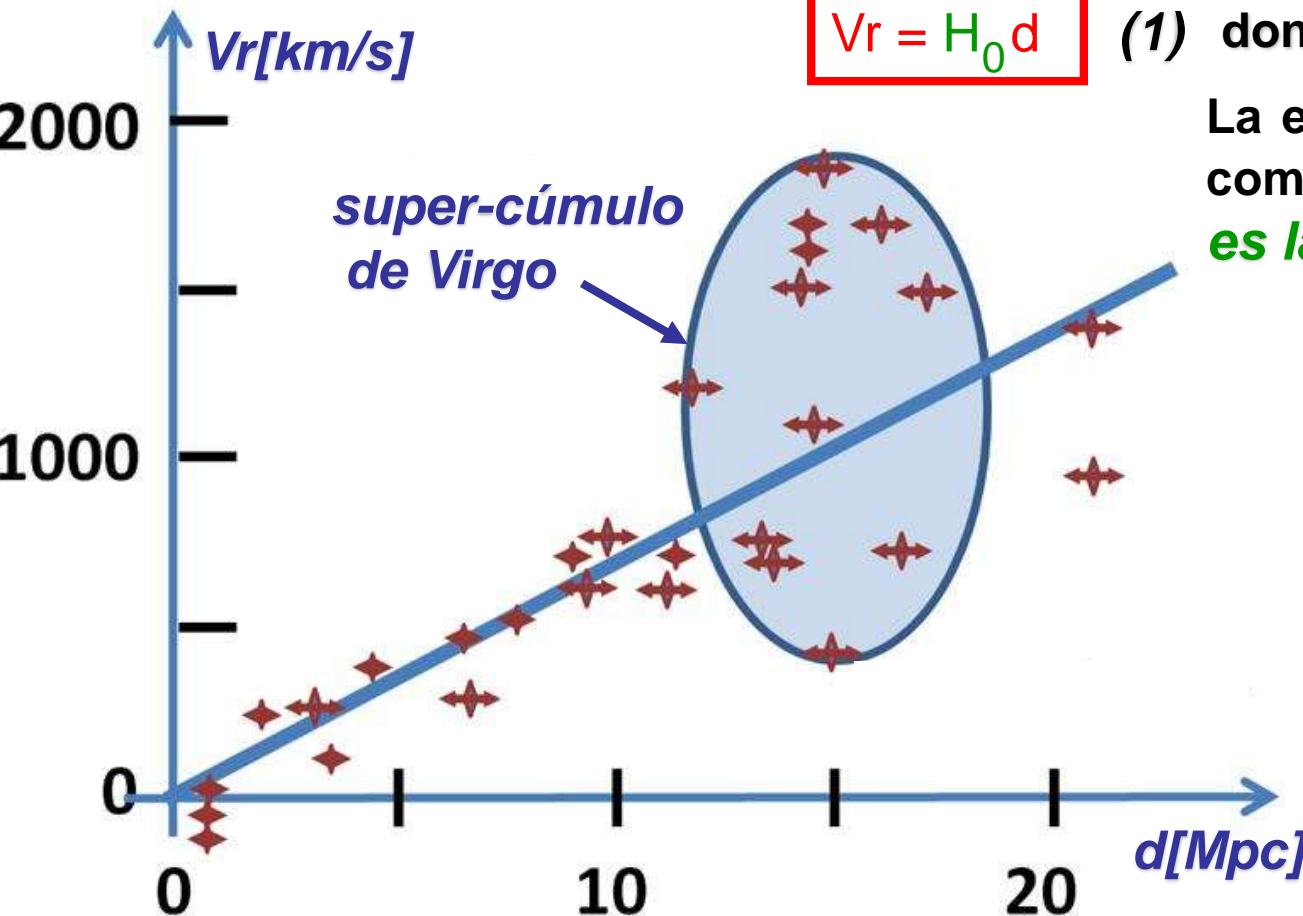
c) ley de Hubble

En la década de 1920 Hubble y Humason tomaron los espectros de unas 60 galaxias espirales y calcularon sus distancias utilizando Cefeidas. Midiendo el corrimiento de las líneas en los espectros debido al efecto Doppler, obtuvieron las velocidades radiales de dichas galaxias. Representaron luego la velocidad radial en función de la distancia y obtuvieron un gráfico similar al mostrado abajo. La curva que mejor ajusta los datos es una línea recta cuya expresión es:

$$V_r = H_0 d$$

(1) donde $H_0 = 75 \text{ km}/(\text{s Mpc})$

La expresión (1) es conocida como **ley de Hubble** y H_0 es la **constante de Hubble**



Son los super-cúmulos de galaxias los que obedecen la ley de Hubble. Dentro de ellos, los cúmulos de galaxias se mueven unos con respecto a otros, y dentro de cada cúmulo hacen lo propio las galaxias.

La ley de Hubble, $Vr = H_0 d$, nos permite estimar distancias a galaxias lejanas conociendo su velocidad radial, Vr , la que puede calcularse desde la expresión (2) o (3) dependiendo de que Vr sea mucho menor que c o Vr sea comparable a c , respectivamente. En estas expresiones, donde $\Delta\lambda$ es el desplazamiento en longitud de onda de las líneas medido directamente en los espectros y c la velocidad de la luz, el cociente $\Delta\lambda / \lambda_0$ es el llamado “corrimiento al rojo” y se simboliza con la letra **Z**.

$$\Delta\lambda / \lambda_0 = Vr / c \quad (2)$$

Z

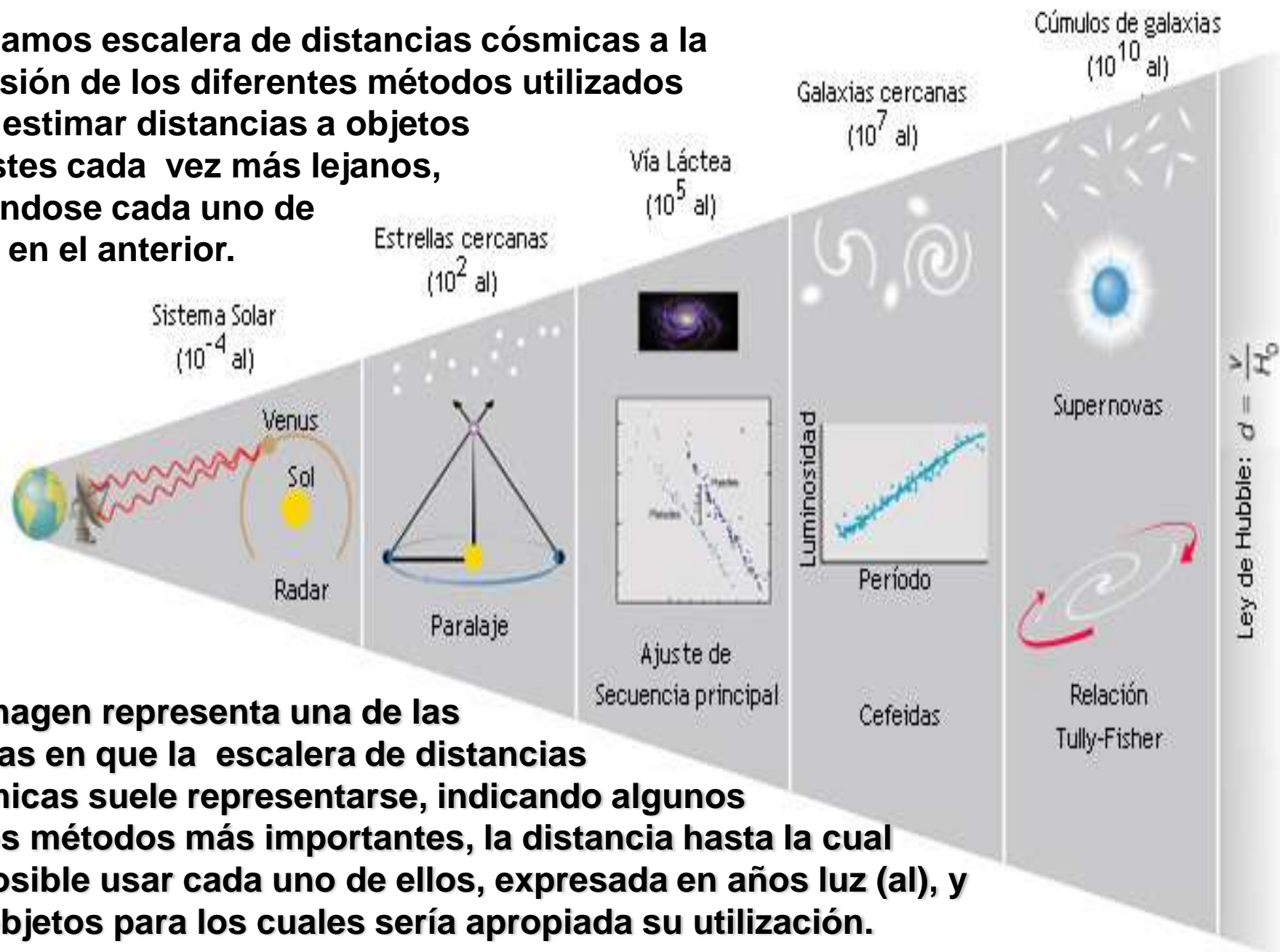
**corrimiento al rojo
(redshift)**

$$\Delta\lambda / \lambda_0 = \sqrt{\frac{1 + Vr/c}{1 - Vr/c}} - 1 \quad (3)$$

el corrimiento al rojo observado en el espectro de galaxias lejanas puede representarse matemáticamente con la misma expresión que el corrimiento Doppler debido al movimiento de los objetos en el espacio con respecto al observador. Sin embargo es de una naturaleza diferente. No son los objetos los que se mueven en el espacio, si no el espacio-tiempo que se expande

d) escalera de distancias cósmicas

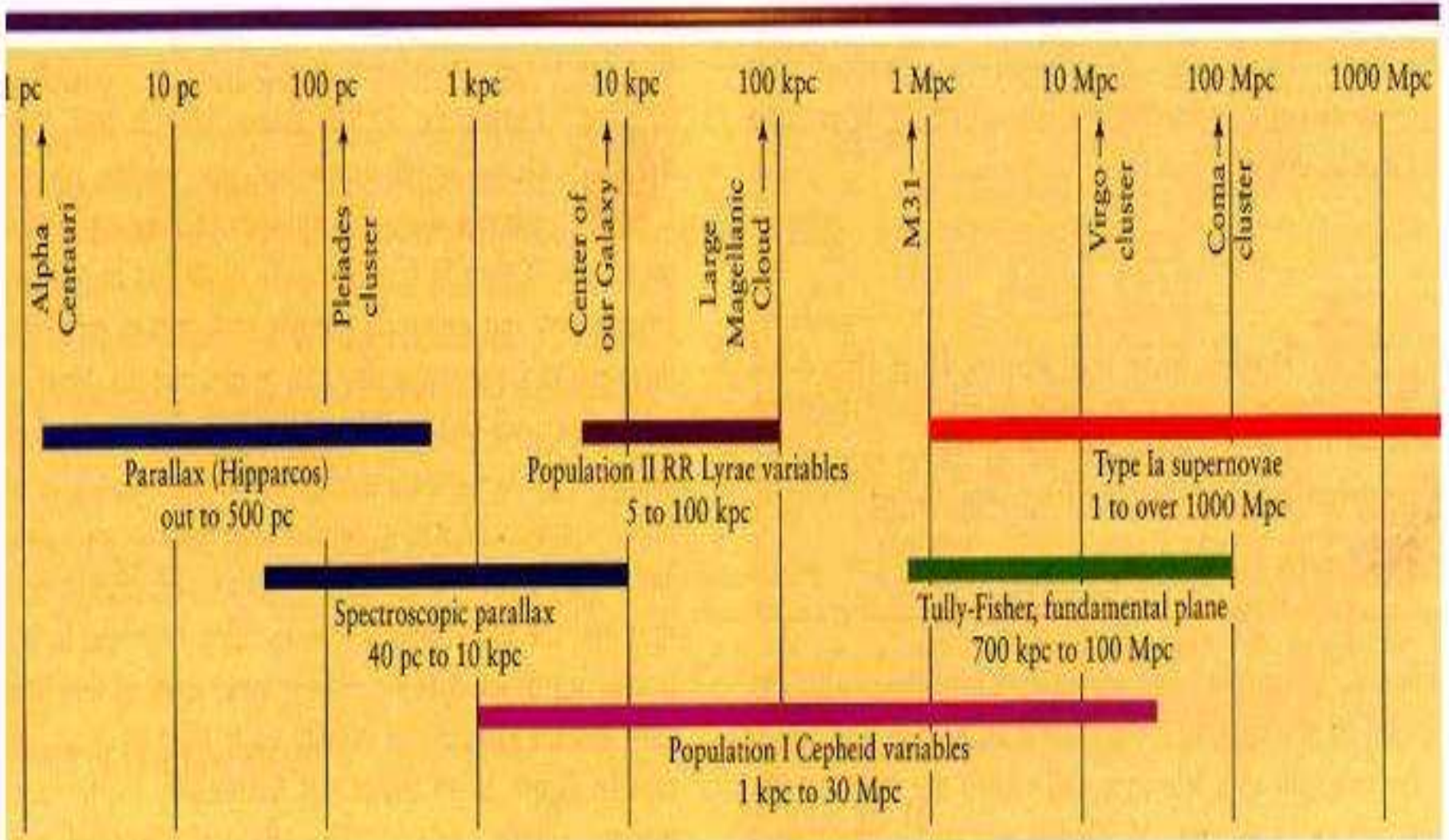
Llamamos escalera de distancias cósmicas a la sucesión de los diferentes métodos utilizados para estimar distancias a objetos celestes cada vez más lejanos, basándose cada uno de ellos en el anterior.



La imagen representa una de las formas en que la escalera de distancias cósmicas suele representarse, indicando algunos de los métodos más importantes, la distancia hasta la cual es posible usar cada uno de ellos, expresada en años luz (al), y los objetos para los cuales sería apropiada su utilización.

La siguiente figura muestra otra forma de representar la escalera de distancias cósmicas (con las distancias expresadas en parsec (pc)).

Los métodos más importantes para estimar distancias en astronomía y que debemos recordar son: 1) paralajes trigonométricas, 2) Cefeidas y RR Lyrae, 3) Supernovas y 4) Ley de Hubble.



e) material interestelar

Llamamos material interestelar al material distribuido entre las estrellas, con una densidad promedio de 1 átomo / cm³ y compuesto por

gas y polvo

atómico y molecular
(H, He, C, O, N, Fe)

partículas sólidas
de C y Si < 10μ

concentrado en **nubes** o **nebulosas** que se clasifican como:

- **de emisión**: gas excitado por la radiación emitida por estrellas jóvenes de las cercanías
- **de reflexión**: partículas sólidas (grafitos, cristales metálicos, hielo) que reflejan (dispersan) la luz de estrellas no muy calientes
- **oscuras**: material alejado de las estrellas que bloquea la luz de las que están detrás

El material interestelar se descubrió a partir de la observación de líneas que no variaban su λ en espectros de binarias.

Las nubes o nebulosas interestelares se distribuyen preferentemente en el plano y los brazos de galaxias espirales, caóticamente en galaxias irregulares, muy poco en galaxias elípticas.

***clasificación de las
nubes interestelares
según su
composición***

• ***regiones HI***

• ***regiones HII***

• ***nubes moleculares***

• ***nebulosas planetarias***

• ***remanentes de supernovas***

• ***nubes de polvo***

temperaturas típicas y modo de detección de las nubes interestelares

<i>regiones HI</i>	$T \approx 100\text{K}$ $\lambda = 21\text{cm}$
<i>regiones HII</i>	$T \approx 10000\text{K}$ líneas de recombinación del H continuo de radio
<i>nubes moleculares</i>	$T \approx 10\text{K}$ $\lambda = 2.6\mu$ (molécula de CO)
<i>nebulosas planetarias</i>	$T \approx 10000\text{K} - 25000\text{K}$ líneas prohibidas de OII, OIII, NII, H β
<i>remanentes de supernovas</i>	$T =$ disminuye con el tiempo Tipo I: sin líneas de H Tipo II: con líneas de H
<i>nubes de polvo</i>	infrarrojo

El material interestelar absorbe y dispersa la luz de las estrellas originando lo que conocemos como extinción o absorción interestelar. Debido a ello, las estrellas parecen estar más lejos de lo que realmente están. Las magnitudes observadas de las estrellas deben ser corregidas por absorción interestelar:

$$m' - m = A$$

m' = magnitud aparente afectada por la absorción

m = magnitud aparente si no existiera la absorción

A = absorción interestelar (expresada en magnitudes)

La extinción interestelar es una función tal de λ que la luz de menor longitud de onda (azul) es la más dispersada, produciéndose entonces el llamado “enrojecimiento interestelar”. Esto da lugar a un cambio en el índice de color de las estrellas, en particular el índice B-V. El exceso de color, calculado como

$$E(B-V) = (B-V)_{obs} - (B-V)_{intr},$$

donde $(B-V)_{obs}$ es el índice de color observado y $(B-V)_{intr}$ es el índice de color intrínseco (el que tendría la estrella si no existiera la extinción interestelar), da cuenta de este fenómeno.

La extinción y el enrojecimiento interestelar dependen además de la dirección en la cual se observe.