

Tema 2:

La Vía Láctea

Consultar: "*Galactic Astronomy*", Binney & Merrifield, 1998, Princeton, temas 1, 3, 9 y 10.

"*Galaxies and the Cosmic Frontier*", Waller & Hodge, 2003, Harvard, temas 1 y 2.

"*Galaxies and Cosmology*", Jones & Lambourne, 2007, Cambridge, tema 1 (J&L07).

"*An Introduction to Modern Astrophysics*", Carroll & Ostlie, 2007, Pearson, tema 24 (C&O07).

"*Galaxies in the Universe*", Sparke & Gallagher III, 2008, Cambridge, temas 1 y 2.

NASA Extragalactic Database (NED) Level 5: <http://ned.ipac.caltech.edu>.

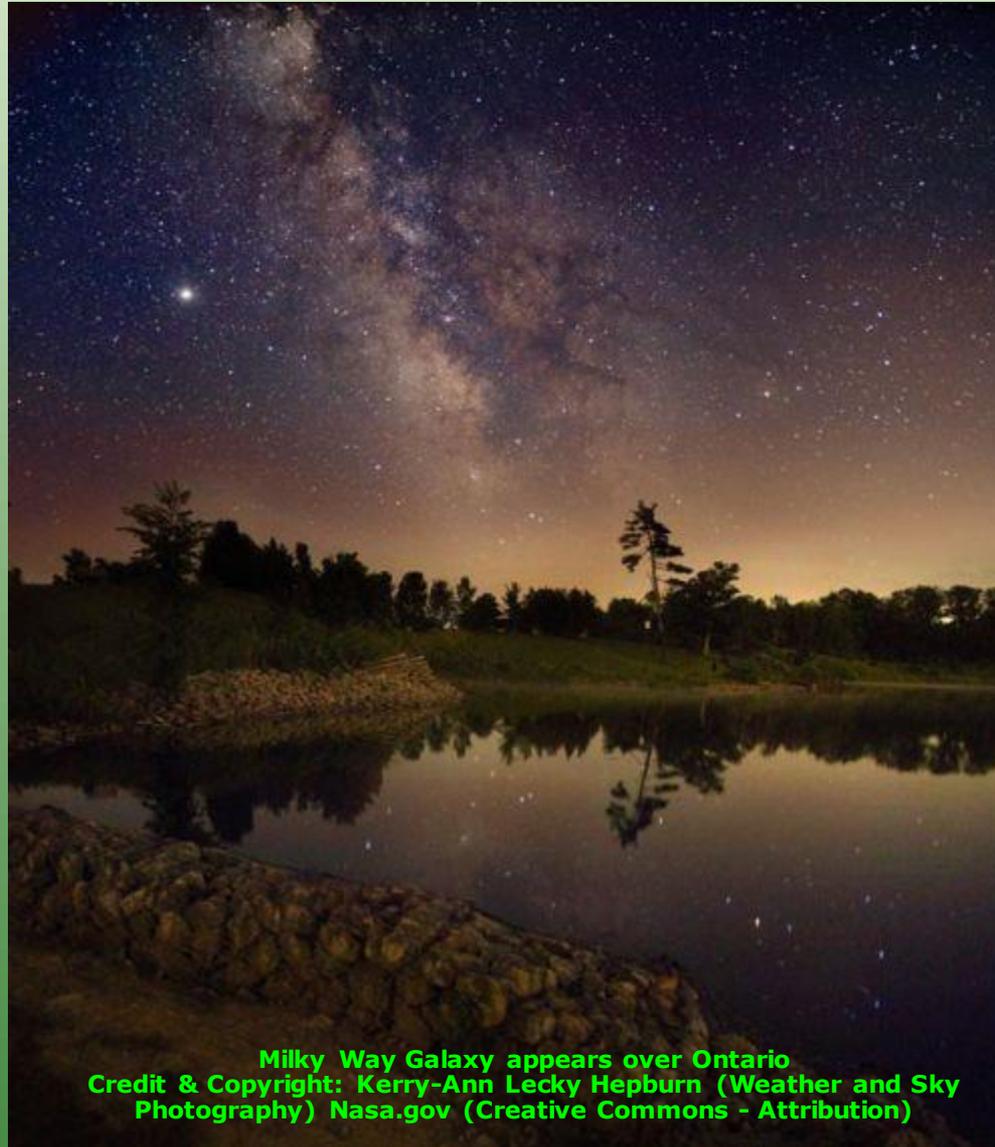


Objetivos del tema

- **Estudiar las propiedades generales de la Vía Láctea (como ejemplo de galaxia).**
 - ◆ **¿De qué está formada la Vía Láctea?**
 - ◆ **¿Cómo se estudian los componentes de la Vía Láctea?**
 - ◆ **¿Dónde se encuentran estas distintas componentes?, ¿cuál es la estructura de la MW?**
 - ◆ **Propiedades generales de cada componente.**
 - ◆ **¿Cómo se forma una galaxia como la MW?**



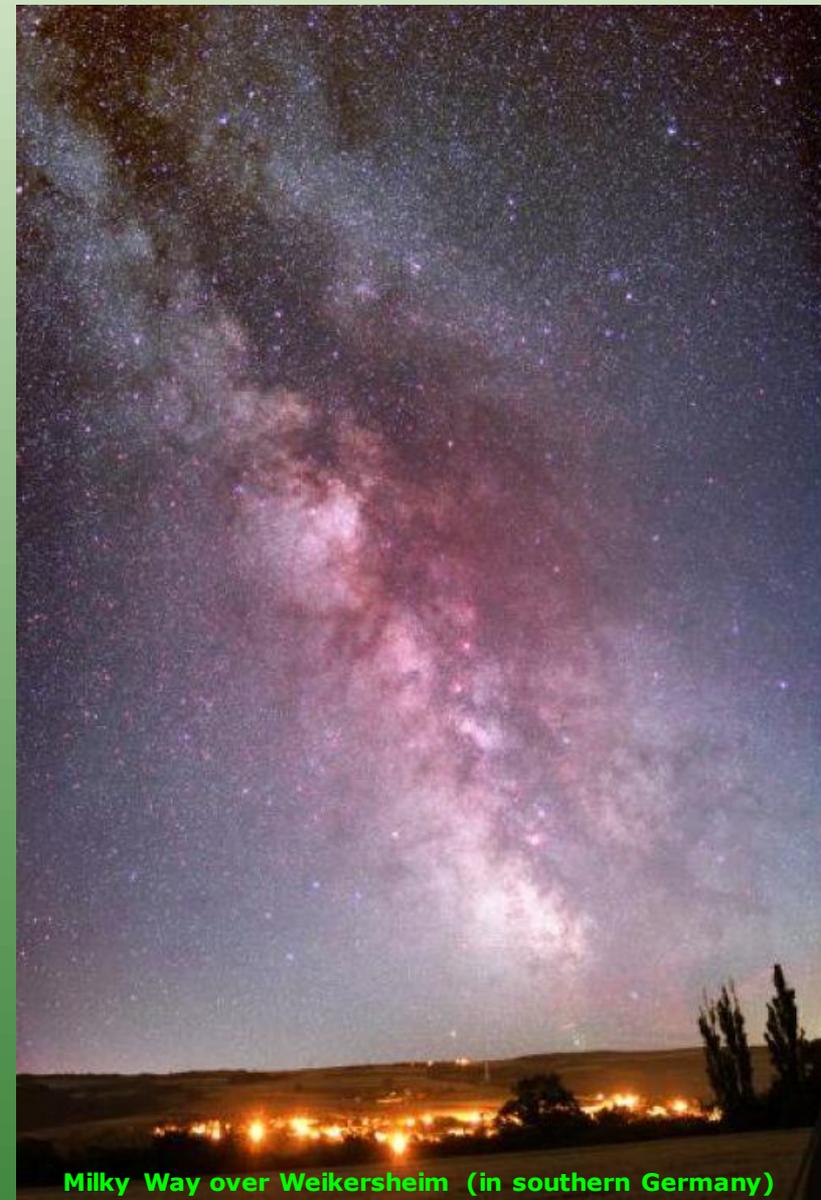
2.1. Componentes de la Vía Láctea



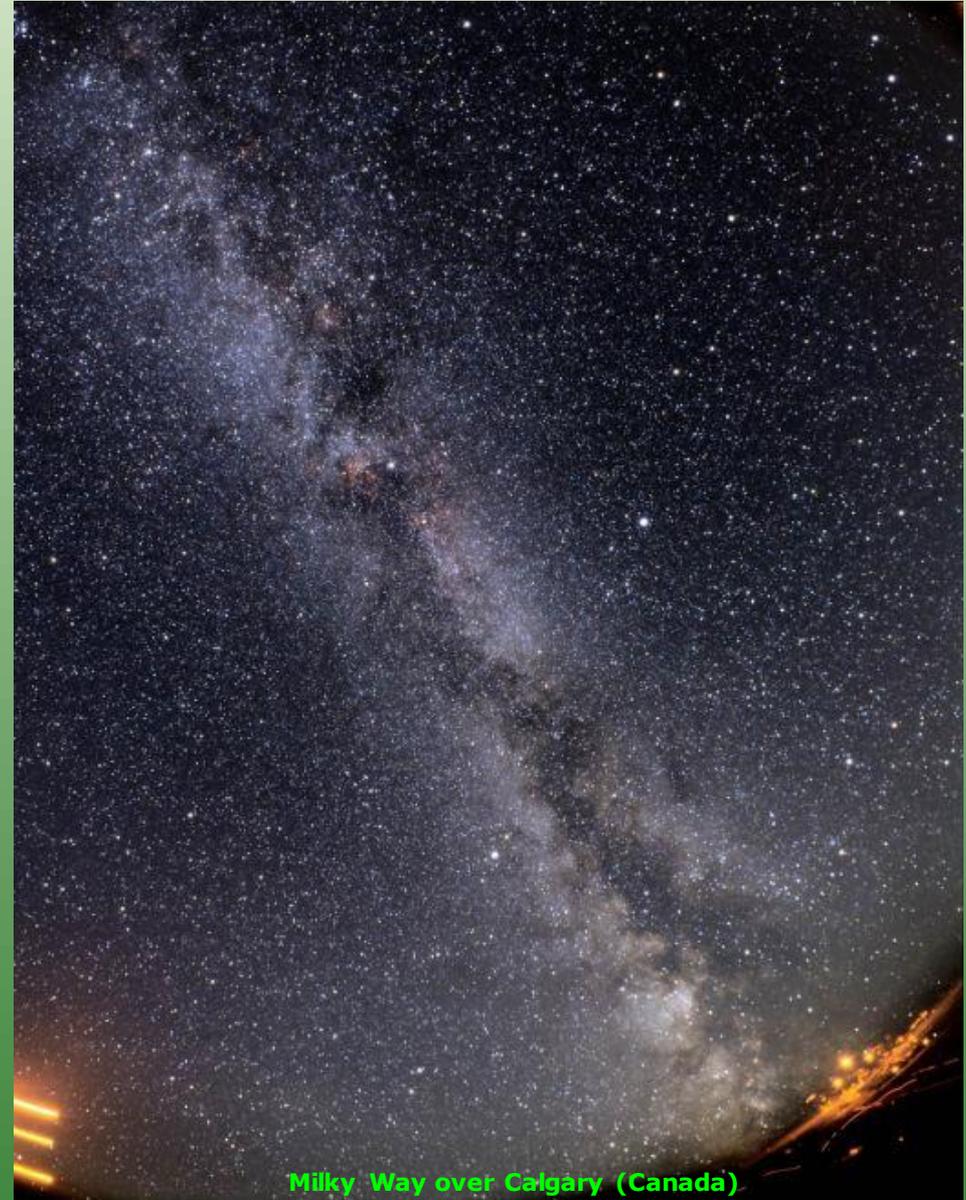
Milky Way Galaxy appears over Ontario
Credit & Copyright: Kerry-Ann Lecky Hepburn (Weather and Sky Photography) Nasa.gov (Creative Commons - Attribution)



2.1. Componentes de la Vía Láctea



Milky Way over Weikersheim (in southern Germany)



Milky Way over Calgary (Canada)



2.1. Componentes de la Vía Láctea



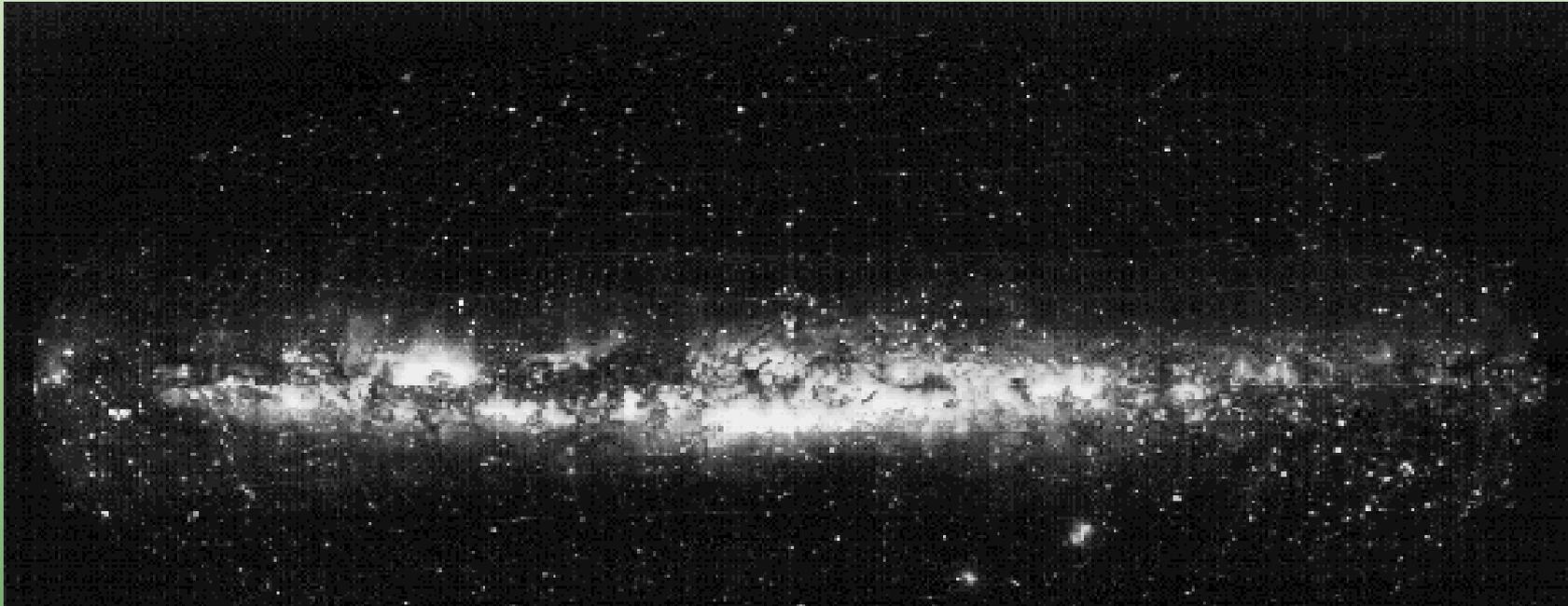
Large Magellanic Cloud

Cerro Tololo (chile)

K. Don, NOAO/AURA/NSF (credit: Papovich)



2.1. Componentes de la Vía Láctea



2.1. Componentes de la Vía Láctea

WIKISKY.ORG - Interactive Sky Map - Mozilla Firefox

File Edit View History Bookmarks Tools Help

http://server2.wikisky.org/?locale=EN

Most Visited Docencia Observatorios Papers Catalogos Instituciones Software Buscadores Ocio Servicios My page

AVG Search Total Protection Page Status Identity Guard

milky way galaxy map - Google... http://burro.cwr...ntro/intro.html Google Image Result for http://... Google Image Result for http://... WIKISKY.ORG - Interactive Sky ...

WIKISKY.ORG Stars That Shine Forever
Supernova: *Chich* Nova: *Chris Foreman* English

HOME GETTING STARTED TO SURVIVE IN THE UNIVERSE INHABITED SKY NEWS SKY ASTRO PHOTO THE COLLECTION FORUM BLOG FAQ PRESS LOGIN

18:30 Find Object (17^h28^m20.68^s, -13°39'37.8'')

The Attractive Spots

Contribution API Groups Privacy Policy About Project Contact Us

Done

Seagate B... Fundac... Facultad ... Google - ... WIKISKY ... astrax.fis... Galaxias y... 2010 programa... 2 Adob... astrophisic... perezgon... ES 18:30

<http://server2.wikisky.org/?locale=EN>

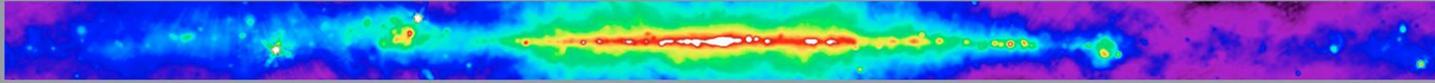


2.1. Componentes de la Vía Láctea

Multiwavelength
Milky Way

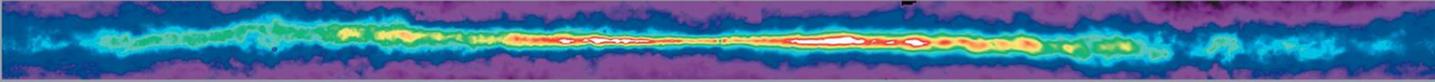
Radio Continuum

408 MHz Bonn, Jodrell Banks, & Parkes



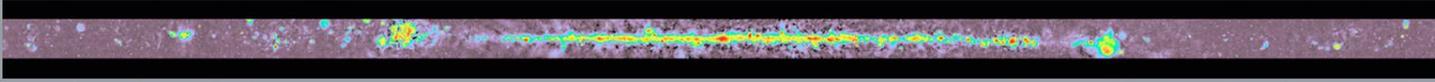
Atomic Hydrogen

21 cm Leiden-Dwingeloo, Maryland-Parkes



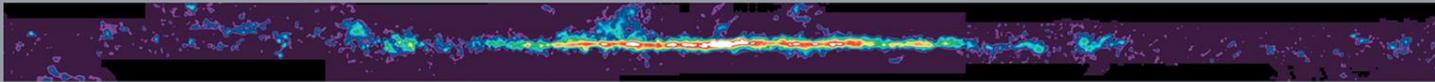
Radio Continuum

2.4-2.7 GHz Bonn & Parkes



Molecular Hydrogen

115 GHz Columbia-GISS



Infrared

12, 60, 100 μm IRAS



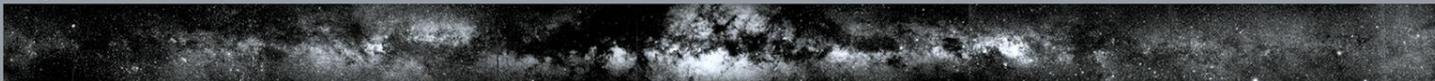
Near Infrared

1.25, 2.2, 3.5 μm COBE/DIRBE



Optical

Laustsen et al. Photomosaic



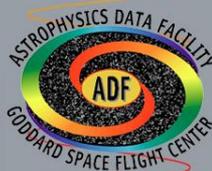
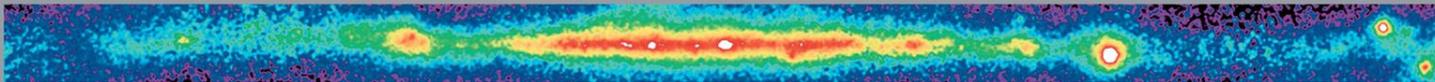
X-Ray

0.25, 0.75, 1.5 keV ROSAT/PSPC

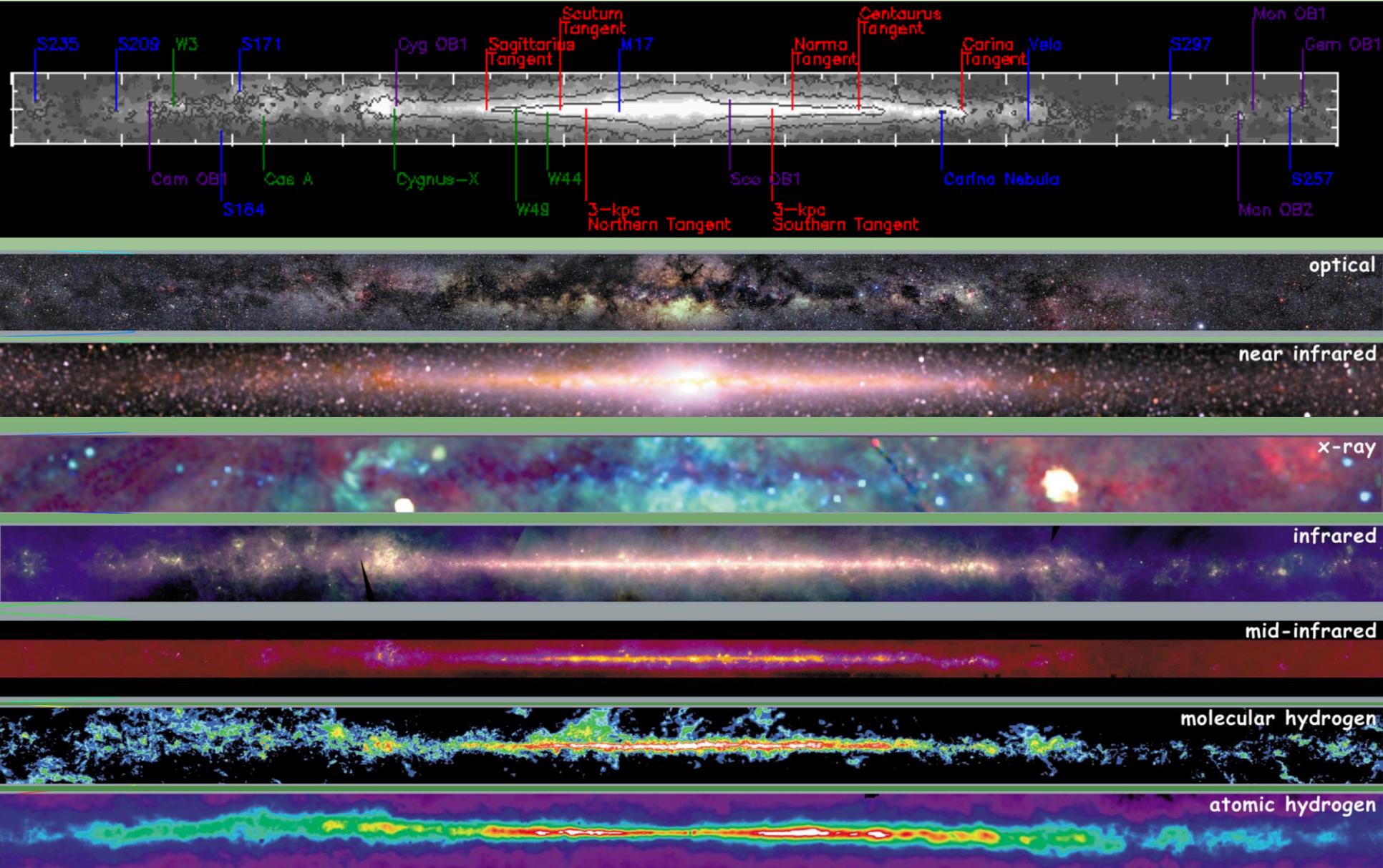


Gamma Ray

>100 MeV CGRO/EGRET



2.1. Componentes de la Vía Láctea

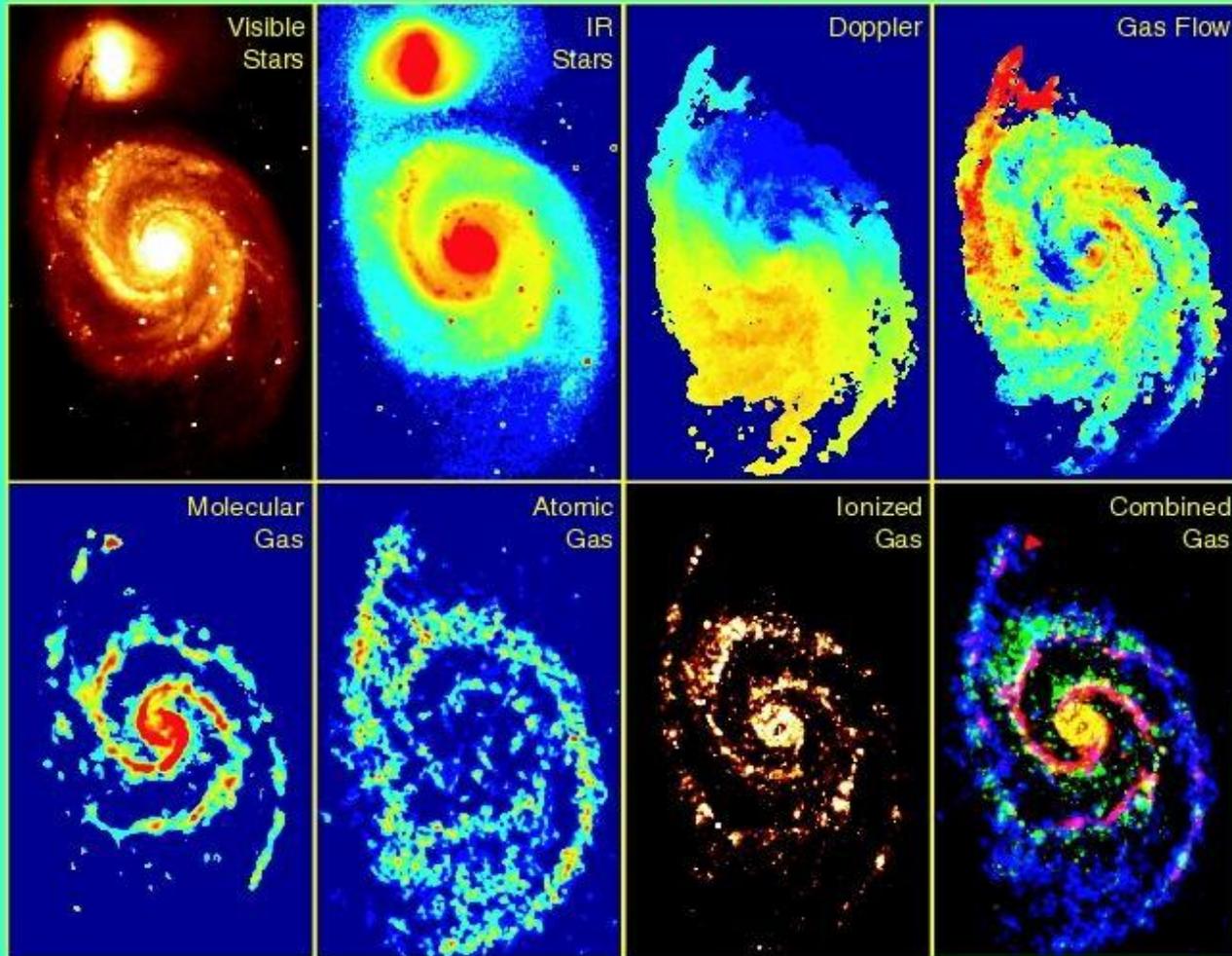


2.1. Componentes de una galaxia: M51



2.1. Componentes de una galaxia: M51

The Spiral Arms of the Whirlpool Galaxy



2.1. Componentes de la Vía Láctea: estrellas

Hay unas 10^{11} estrellas en la Vía Láctea, con una masa de $\sim 10^{11} M_{\odot}$ (la masa del Sol es típica). Existen varias poblaciones estelares de acuerdo con sus propiedades (edad, masa, composición, localización):

- ◆ **Población I**-incluye estrellas masivas y azules, localizadas preferentemente en el disco, con órbitas casi circulares. Edades del orden de Myr, aunque algunas tienen hasta 10 Gyr. Metalicidades $Z=0.01-0.04$ ($Z_{\odot}=0.02$), algunas incluso menores.
- ◆ **Población II**-estrellas menos masivas y más rojas (porque es una población más vieja y las estrellas más masivas ya no existen), que se localizan en el bulbo y los cúmulos globulares del halo. Edades viejas (12-15 Gyr), poco gas en esas zonas. Serían fruto de formación estelar antigua, con las estrellas más masivas de esos eventos habiendo desaparecido hace Gyr. Las metalicidades son variadas: las más bajas de la Vía Láctea en estrellas del halo ($Z < 0.002$, incluso 2×10^{-6}), pero también tan altas como la del Sol en el bulbo. Movimientos excéntricos, algunos con velocidades muy altas, algunas con movimientos retrógrados.
- ◆ **Población III**-sería la población de estrellas primigenia, formada por gas sin procesar después del Big Bang. Su metalicidad sería $Z=10^{-9}$, podrían haberse formado solo estrellas muy masivas y ahora solo quedar remanentes.



2.1. Componentes de la Vía Láctea: estrellas

Las estrellas nacen de nubes moleculares densas y suelen formarse en conjuntos o cúmulos. Los cúmulos globulares contienen del orden de 10^4 - 10^6 estrellas, distribuidas en estructuras esféricas muy compactas y densas (>0.4 estrellas/ pc^3) y tamaños del orden de 50 pc. Dos tercios de los GC de la MW están en el halo y el resto en el disco.

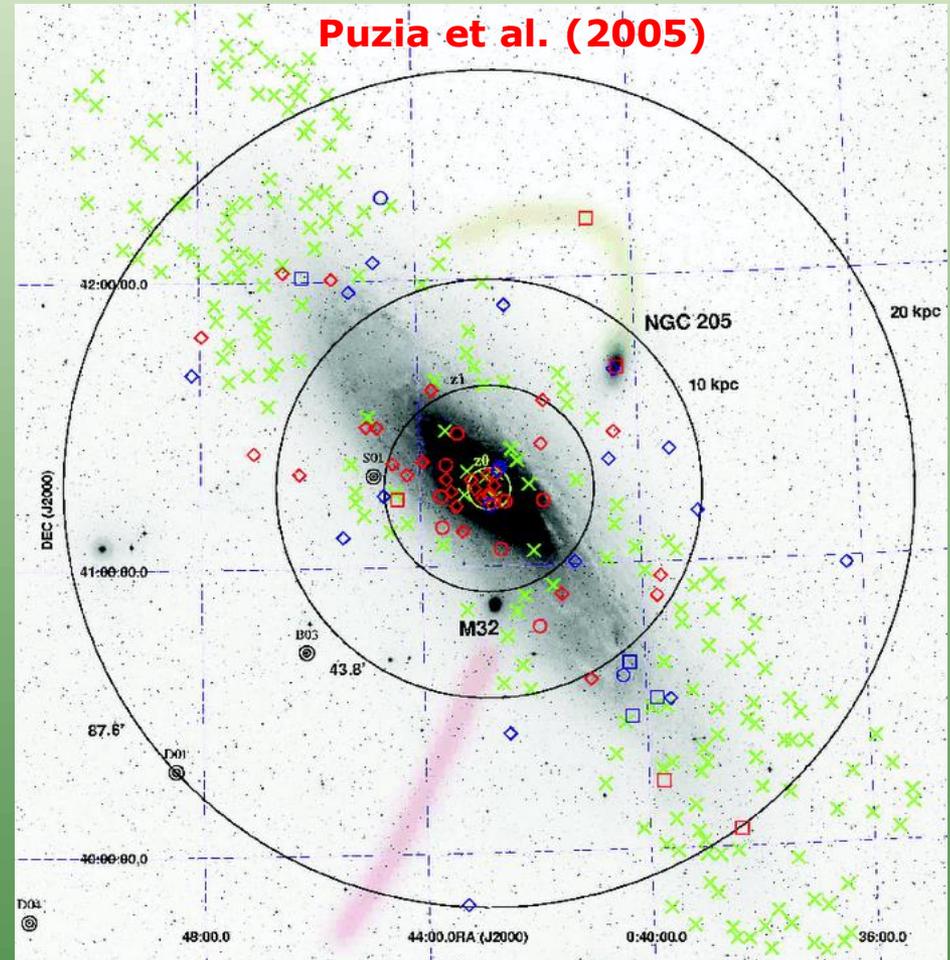
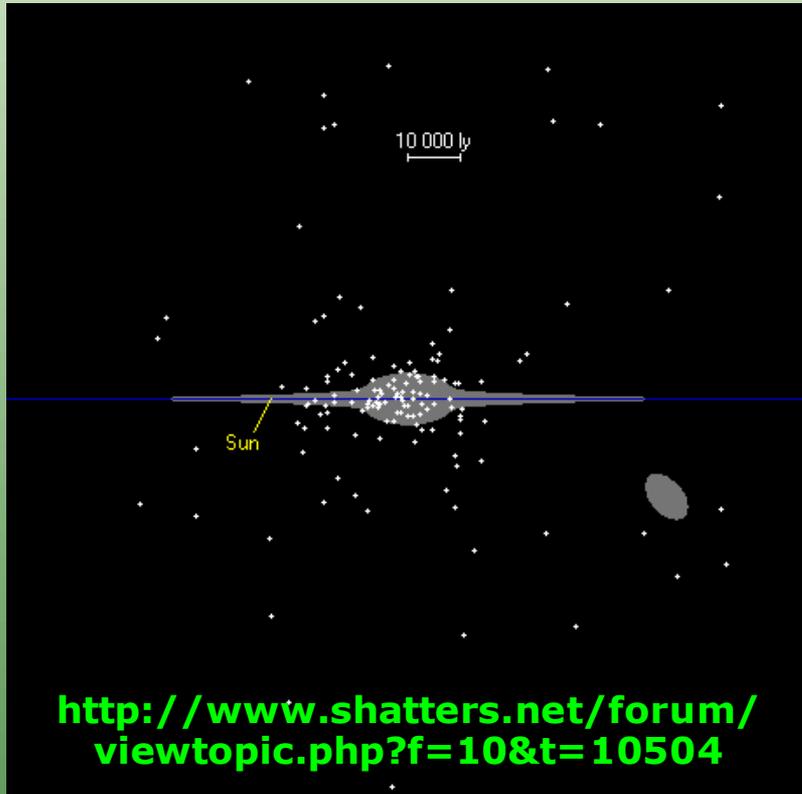
Los cúmulos abiertos, más típicos del disco, ocupan del orden de 2-3 pc y pueden tener decenas a cientos de estrellas. Estos cúmulos suelen deshacerse al migrar las estrellas a alturas mayores del disco (evaporación).

Otras agrupaciones de estrellas importantes son las asociaciones OB. Ocupan unos 100 pc y no presentan una densidad anormal, pero contienen una gran proporción de estrellas calientes y jóvenes.

Dentro de la población de estrellas del disco (Pop. I), las estrellas de los brazos espirales suelen ser las más jóvenes del disco (100 Myr). Algunos ejemplos son las Pléyades, cefeidas, T Tauri. Sus metalicidades son solares o superiores y se asocian con regiones HII y asociaciones OB.

En el disco fino hay estrellas de 1-10 Gyr, con metalicidades menores. En el disco grueso hay estrellas de metalicidades menores y edades más cercanas a 10 Gyr. Son estrellas de propiedades intermedias entre la Pop. I y la Pop. II.

2.1. Componentes de la Vía Láctea: estrellas



Background

- GC $t < 5$ Gyr
- GC $t = 5-8$ Gyr
- ◇ GC $t > 8$ Gyr

Metal rich
Metal poor



2.1. Componentes de la Vía Láctea: estrellas



http://starryskies.com/articles/2007/07/mw-img/slide_hst.m45.html



2.1. Componentes de la Vía Láctea: gas

El disco de la Vía Láctea contiene gran cantidad de gas y polvo. Su localización se ciñe a la zona en torno a 150 pc del plano central.

El gas está compuesto por H (70% en masa), He (28%), y otros elementos (2%, p.e., C,O,N). En total, da cuenta de un 10% de la masa de la Galaxia.

Hay nubes densas y frías de H₂ (lejos de emisores UV que las disociarían) con tamaños de 10-100 pc (y masas de $\sim 10^7 M_{\odot}$), nubes calientes y poco densas de HII (ionizado por estrellas calientes y jóvenes; la densidad debe ser baja para evitar recombinaciones), y nubes de HI en condiciones intermedias. En las nubes conviven otras especies como CO, H₂O, etanol, etc..., además de polvo.

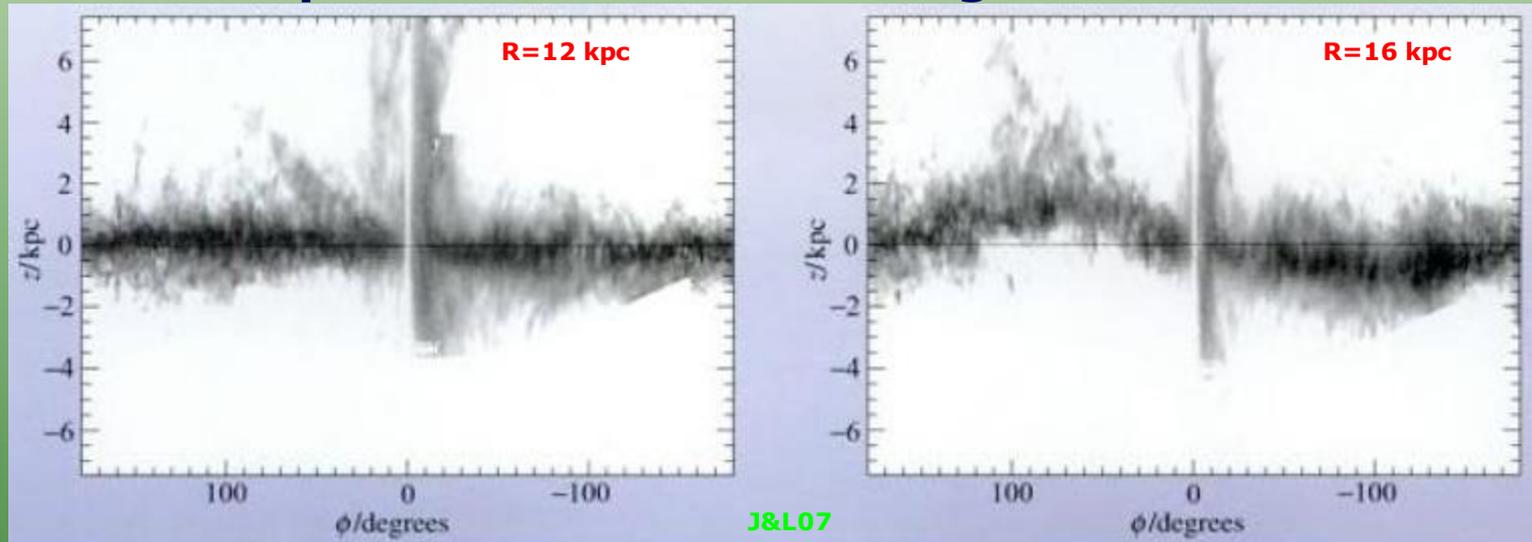
En el disco, alrededor del 50% de la masa de gas es molecular, que se localiza predominantemente en la zona entre 3 y 8 kpc desde el centro.

Aunque lo más abundante es el H₂, una molécula muy importante desde el punto de vista observacional es el CO, pues ha sido históricamente más fácil de detectar a través de observaciones en el radio. Sin embargo, ahora las observaciones directas de H₂ son más fáciles con datos *Spitzer* en el MIR.



2.1. Componentes de la Vía Láctea: gas

El HI se concentra en el disco pero a partir de 12 kpc del centro Galáctico la distribución de gas HI se arquea, existe un alabeo de unos 15° , que se observa en muchas otras espirales (no en todas). No se conoce el origen pero podría tener que ver con la distribución de materia en las partes exteriores de las galaxias.



Hay nubes de gas a latitudes altas y con velocidades considerables. Estas nubes serían gas eyectado por el disco debido a las explosiones de supernova o gas acretado por la Vía Láctea del medio intergaláctico.

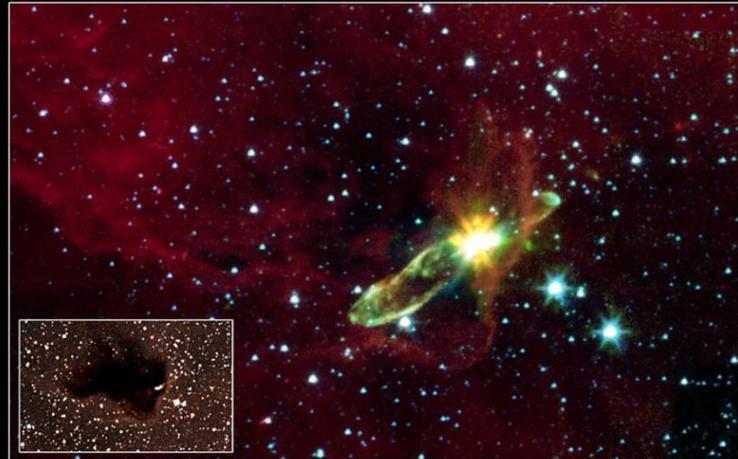
Asimismo existe una componente de gas muy caliente y poco denso que se denomina gas coronal (análogo a la corona del Sol).



2.1. Componentes de la Vía Láctea: polvo

El disco también tiene una importante cantidad de polvo interestelar. El polvo está compuesto de pequeñas agregaciones (0.1-1 micras) de elementos como carbono, oxígeno, silicio y otros metales. Los más importantes son los compuestos de silicio o grafito (*silicates* and *graphites*). Los granos pueden estar rodeados por capas de hielo de agua, amoníaco o monóxido de carbono.

La masa de polvo es aproximadamente de un 0.1% de la masa de la Galaxia. Se localiza en el disco con una escala de unos 150 pc. El polvo es muy importante porque absorbe radiación en el UV/óptico y la reemite en el IR medio y lejano. En la Vía Láctea, nos entorpece la observación en la dirección del centro Galáctico y alrededores (unos 15° a cada lado del disco).



Embedded Outflow in HH 46/47

Spitzer Space Telescope • IRAC

Inset: visible light (DSS)

NASA / JPL-Caltech / A. Noriega-Crespo (SSC/Caltech)

ssc2003-06f

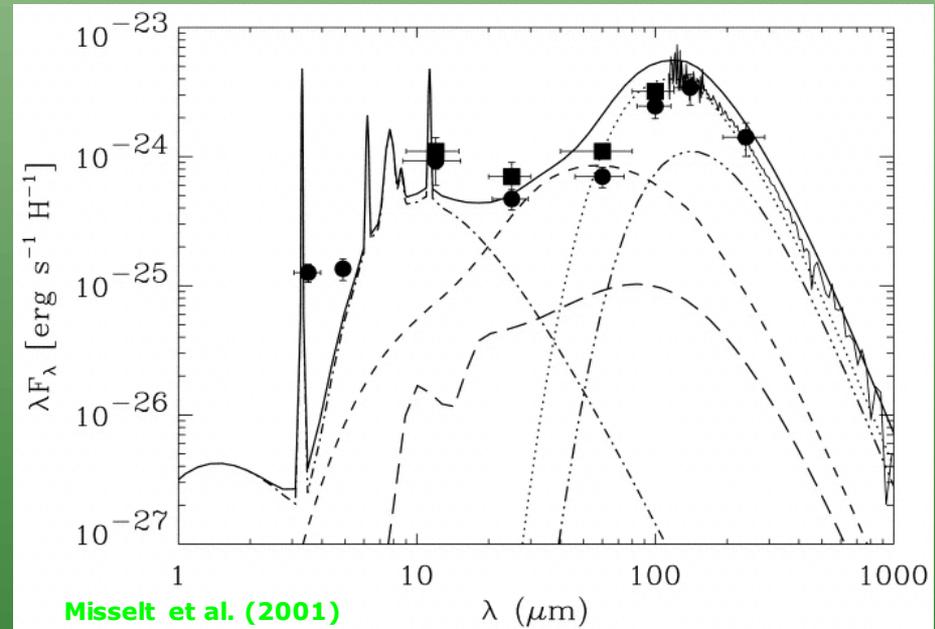
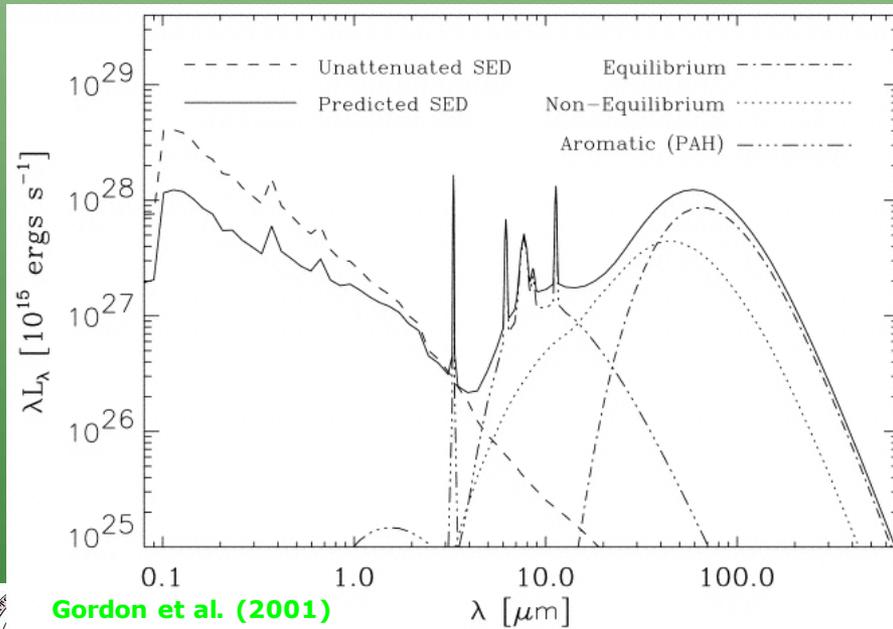


2.1. Componentes de la Vía Láctea: polvo

El polvo es muy importante en las regiones de formación estelar. Hace de pantalla de la radiación UV de estrellas jóvenes, cuyos vientos pueden compactar nubes moleculares sin que se destruyan debido a la absorción del polvo.

La temperatura del polvo está entre unos pocos K (15-20 K es típico de cirros) hasta varios cientos de K. Por encima de 1000-2000 K el polvo se sublima.

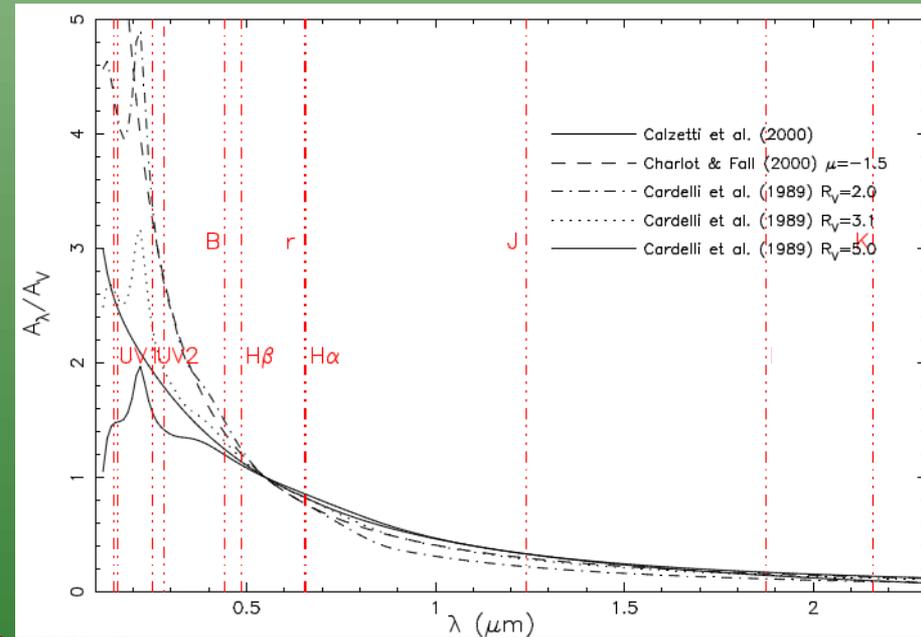
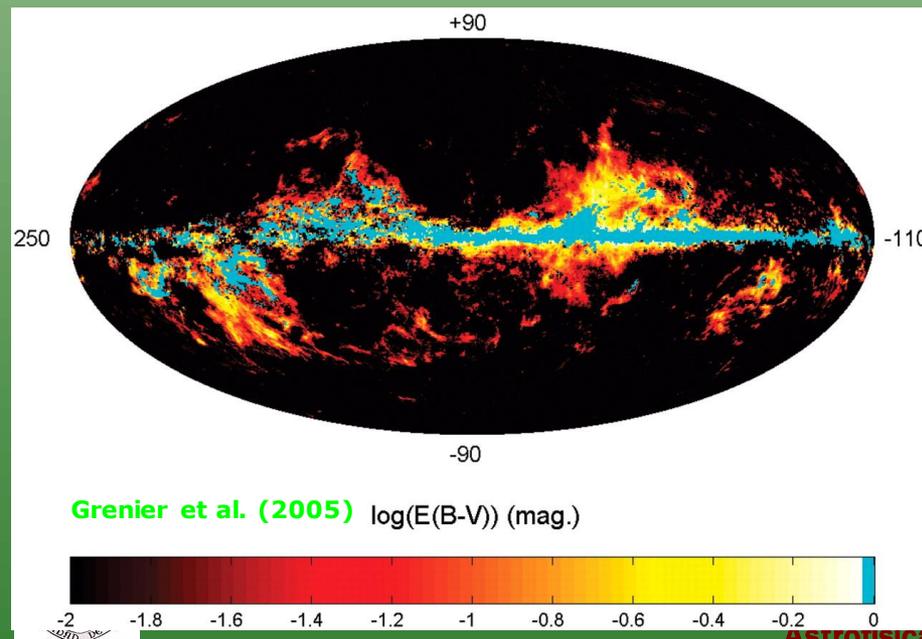
Una componente importante son los PAHs (hidrocarburos policíclicos aromáticos), con bandas de emisión características en el MIR.



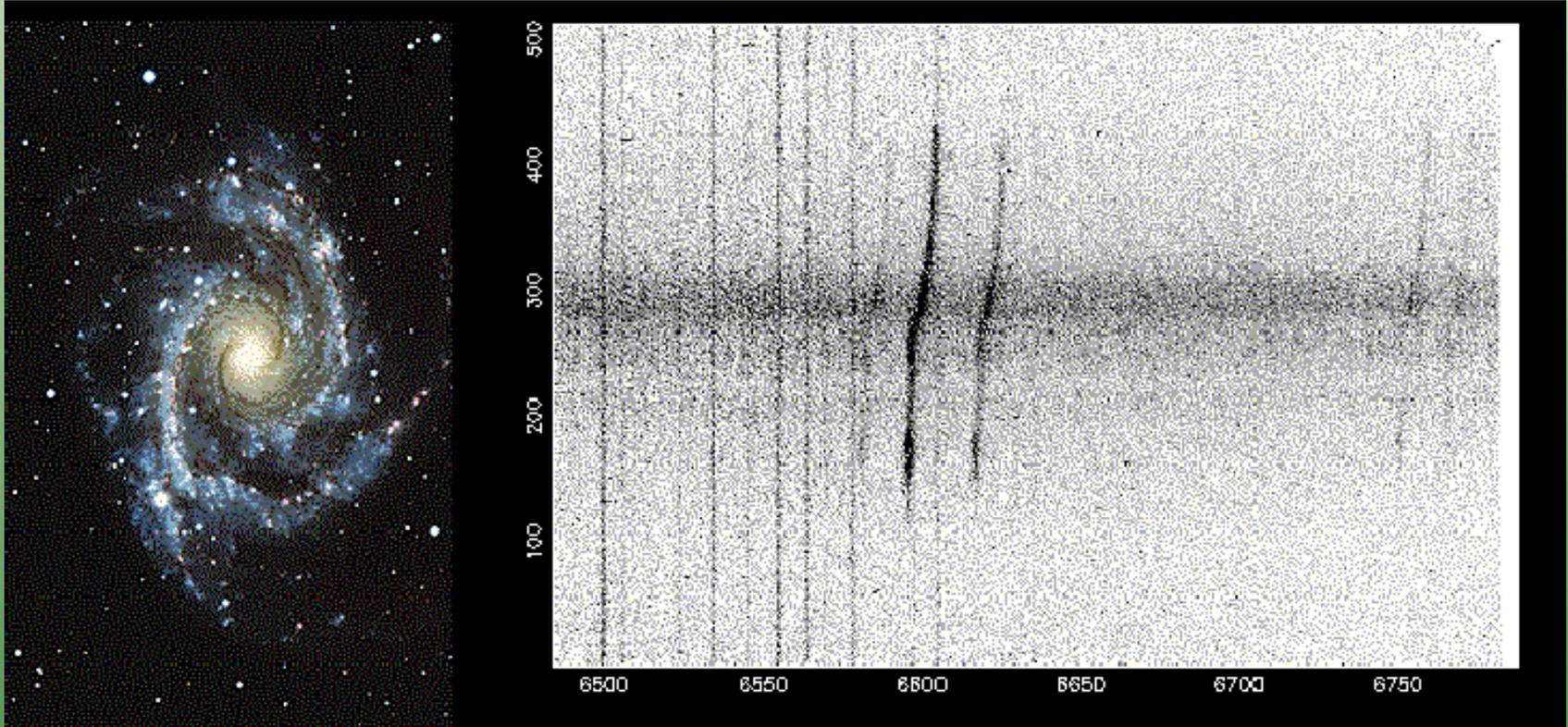
2.1. Componentes de la Vía Láctea: polvo

El polvo extingue la luz de las estrellas de manera más efectiva a longitudes de onda más cortas. La dependencia de la extinción en función de la longitud de onda se denomina curva de extinción. Esa curva, para la Vía Láctea, depende de la dirección de observación. Para otras galaxias depende de parámetros como la composición del polvo, su cantidad, su localización con respecto a las estrellas, o su distribución homogénea o grumosa.

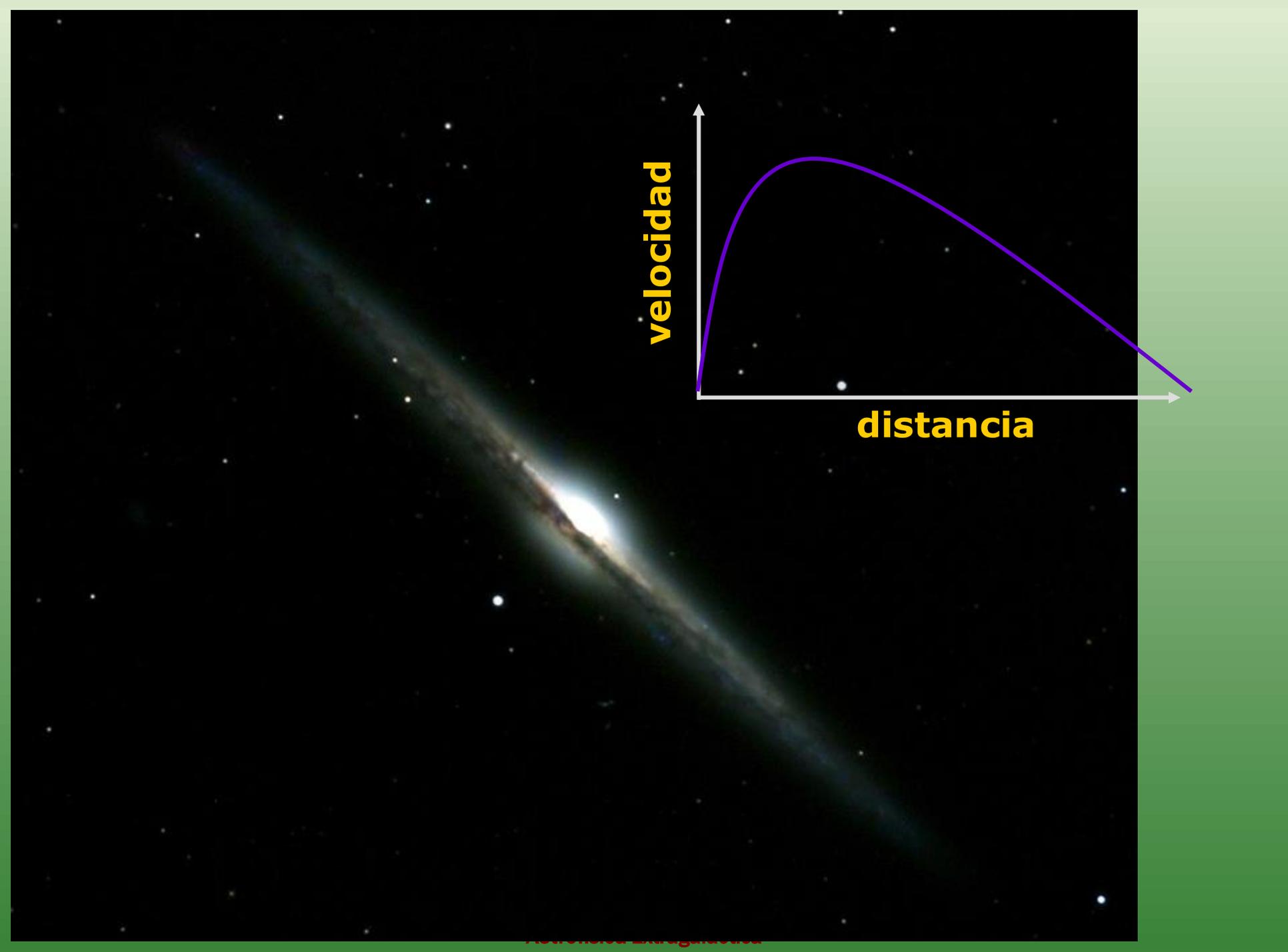
La curva de extinción tiene una prominencia en torno a 217.5 nm (se conoce como el "bump" de 2175 Å), de mayor o menor intensidad, donde el polvo es muy efectivo en absorber radiación.



2.1. Componentes de la Vía Láctea: materia oscura



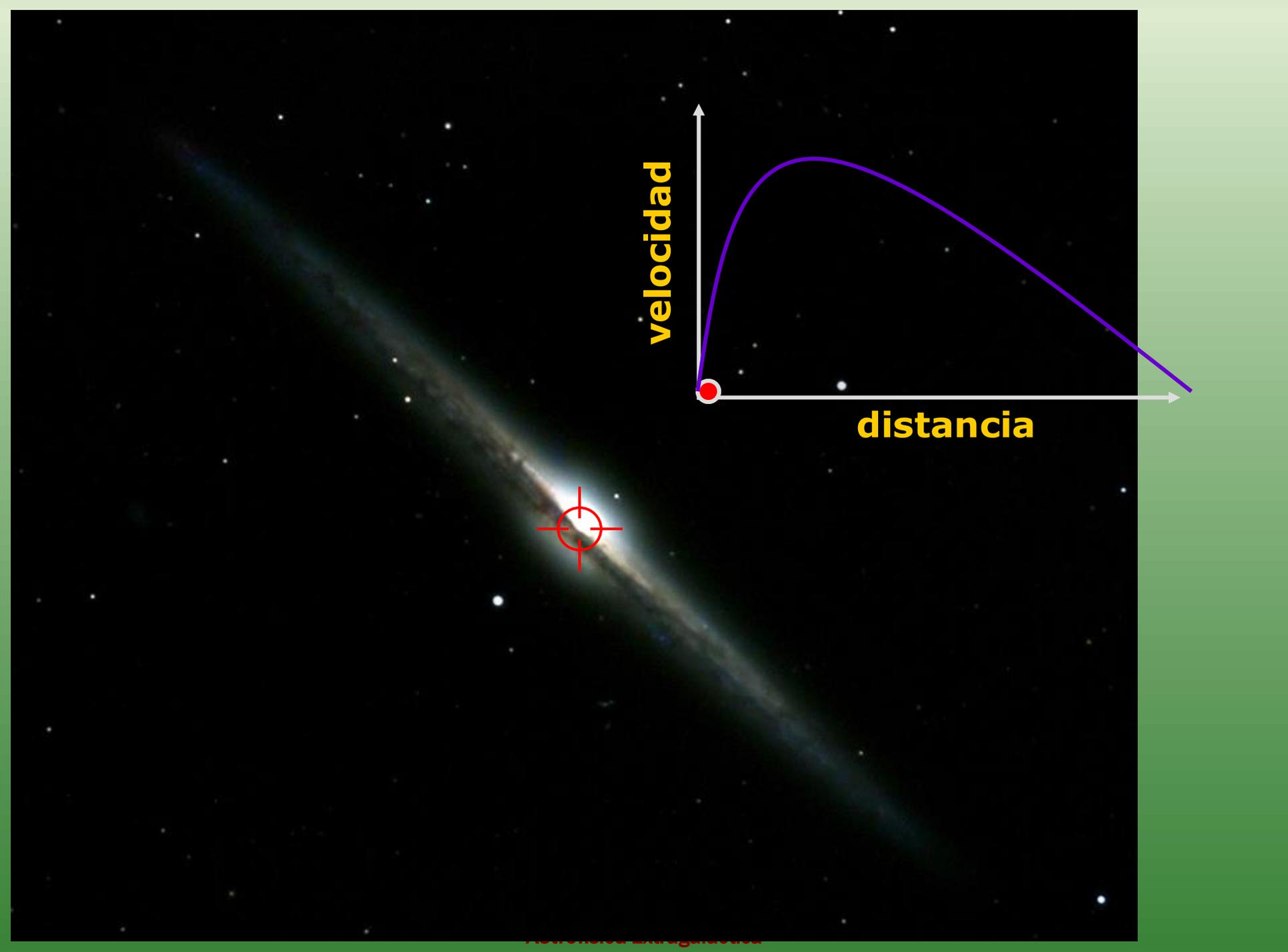




velocidad

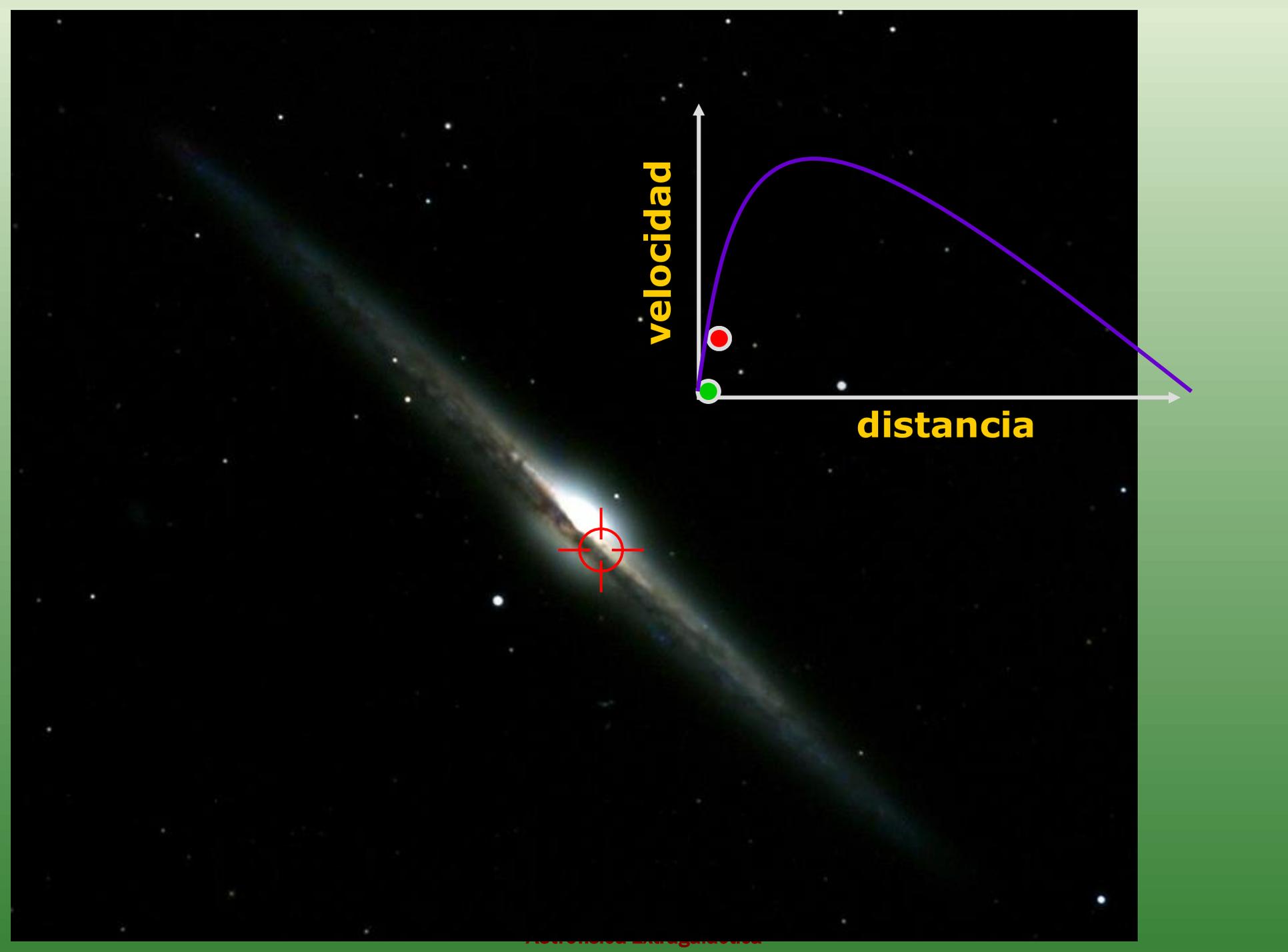
distancia





velocidad

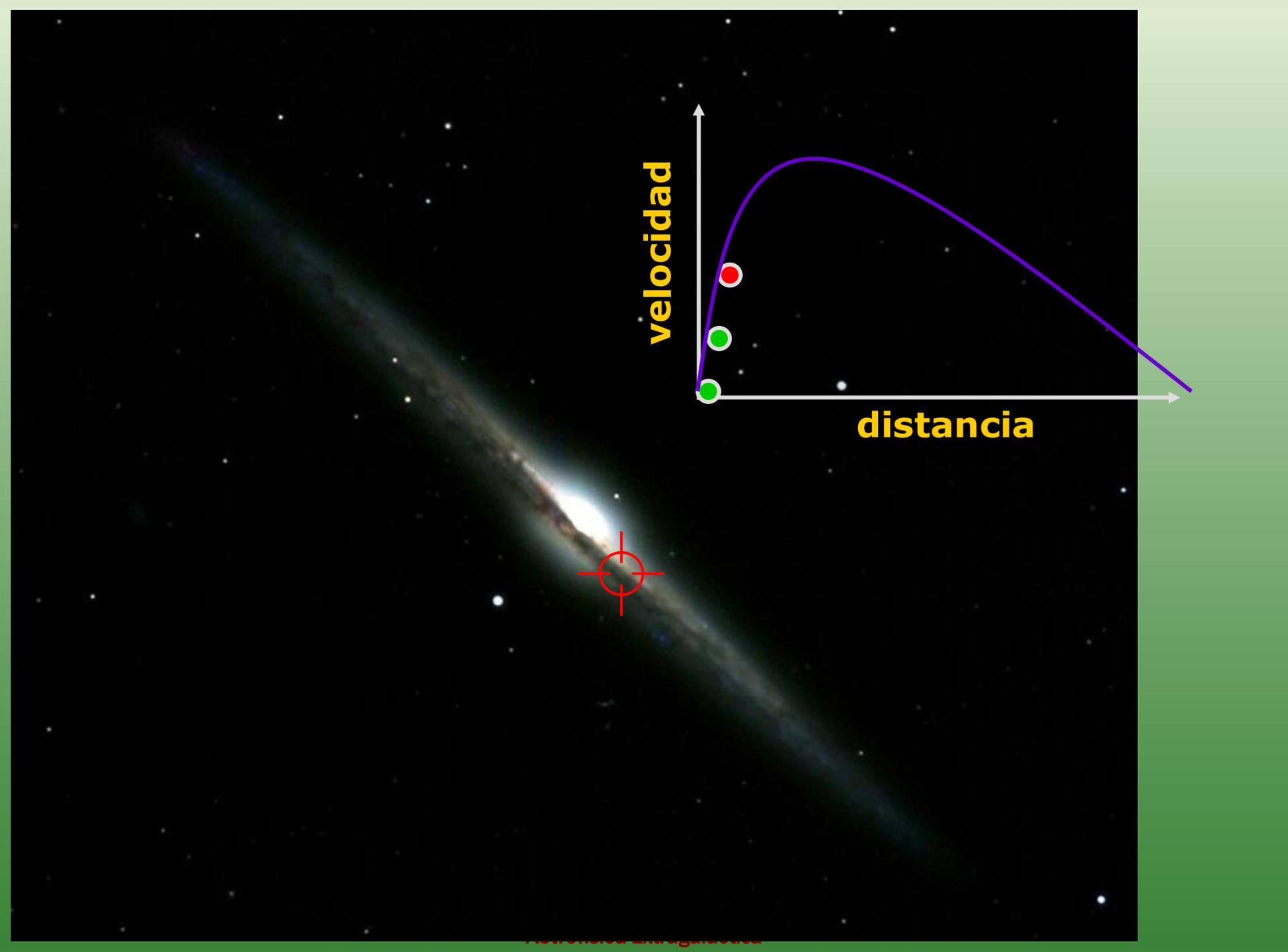
distancia



velocidad

distancia

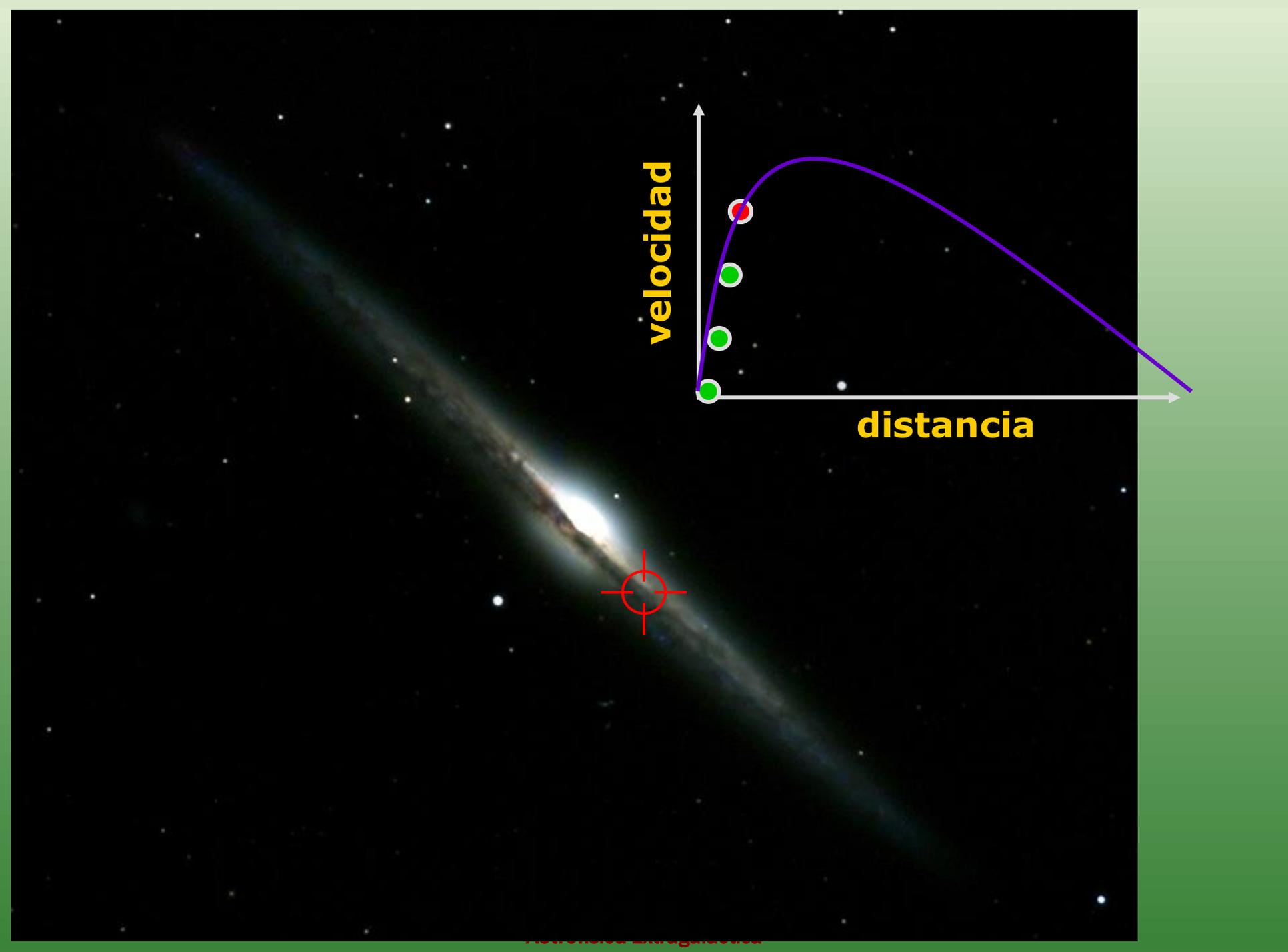


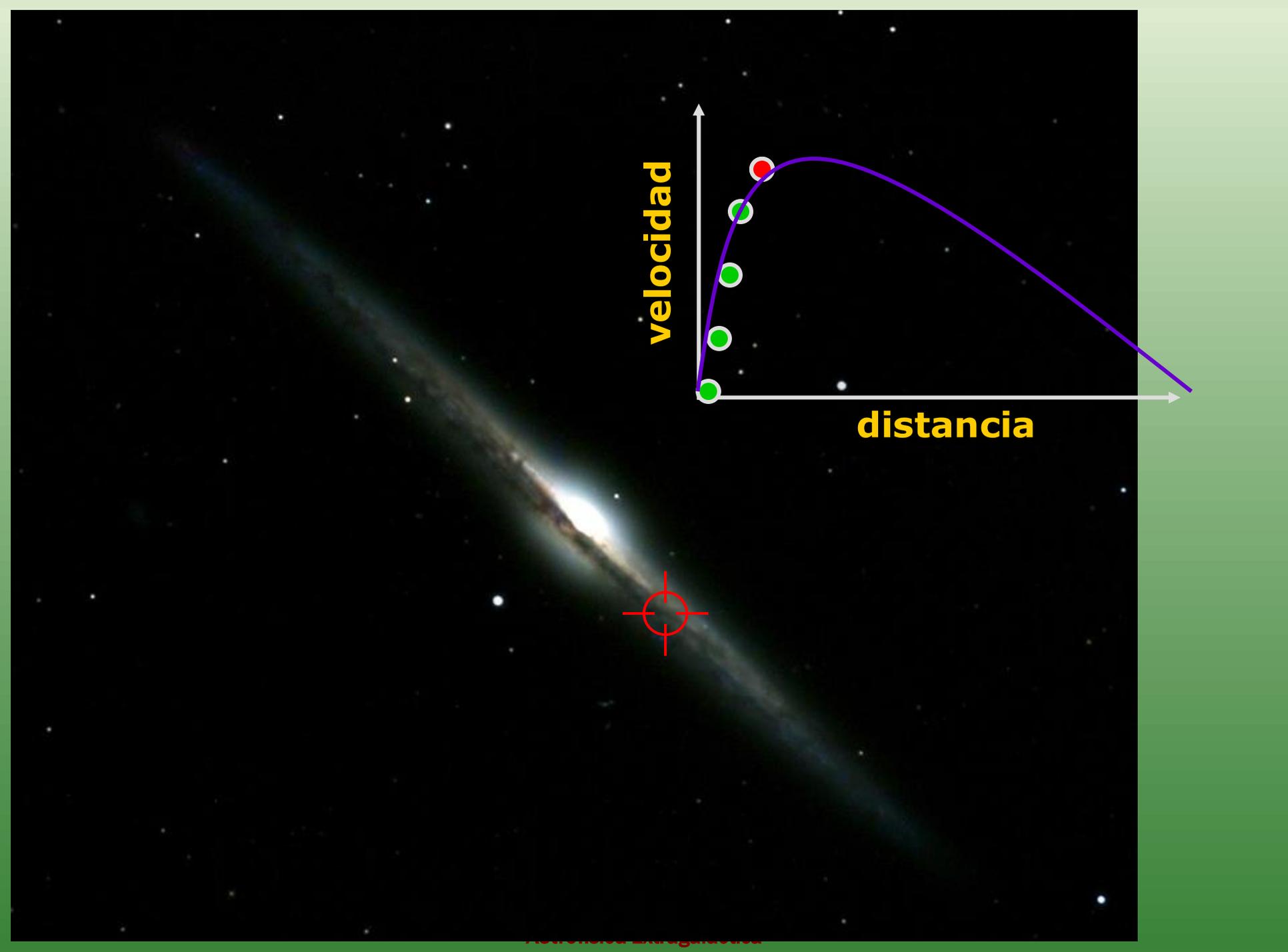


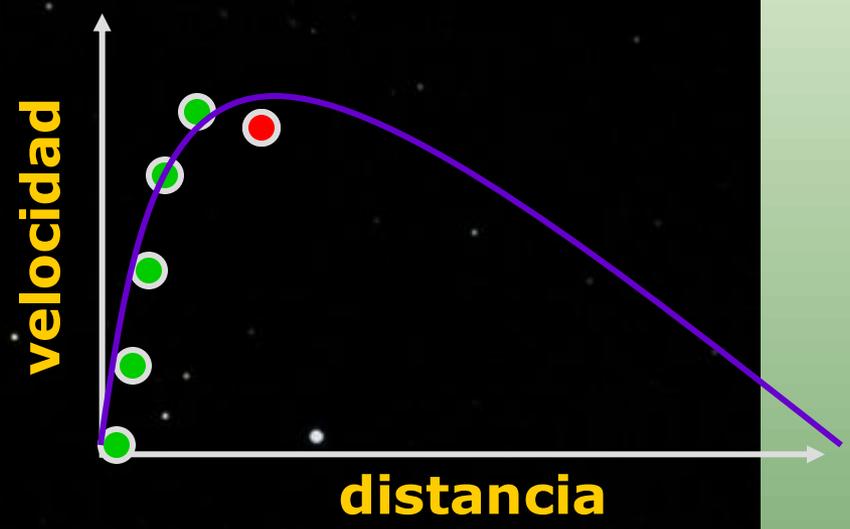
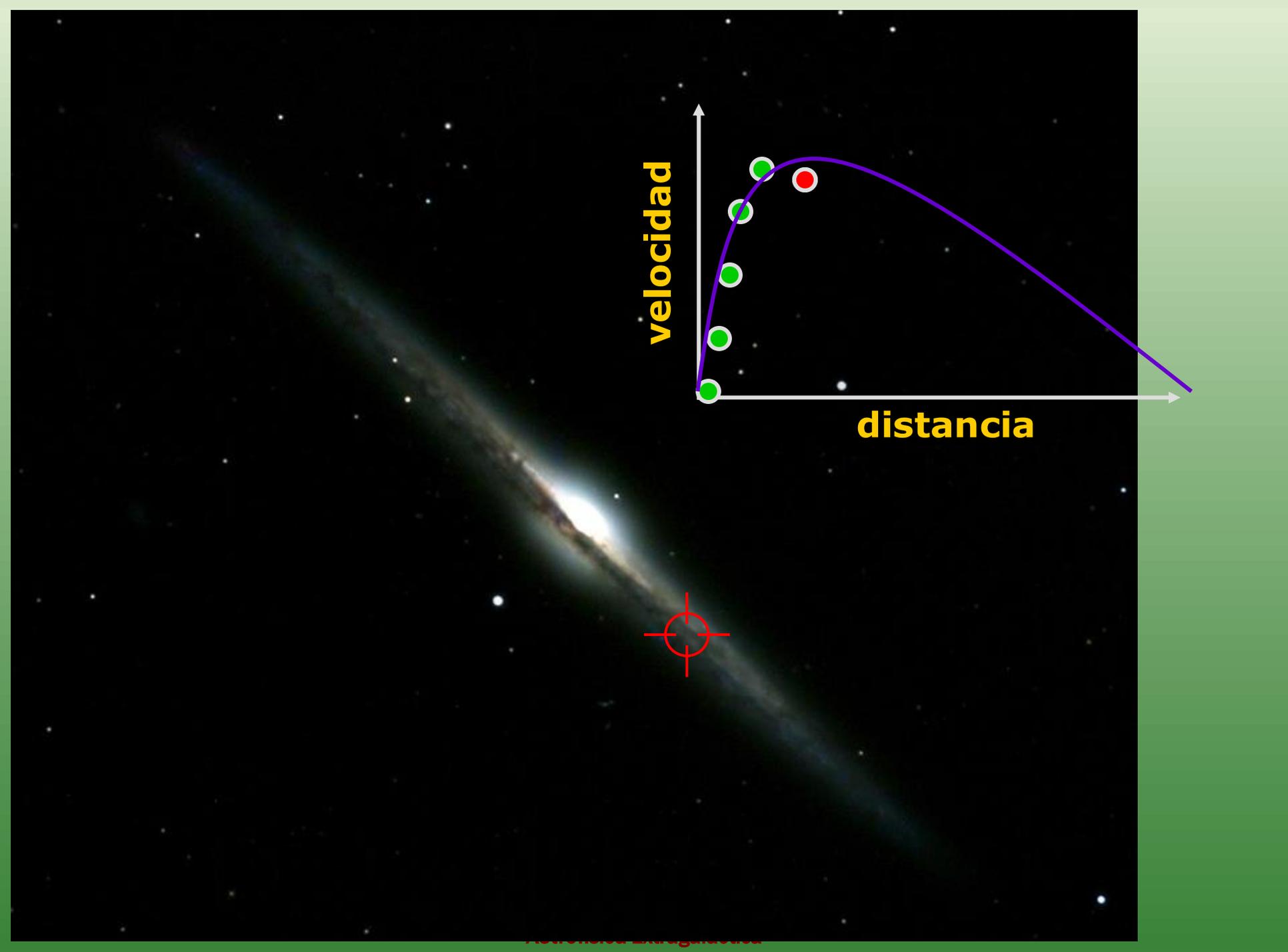
velocidad

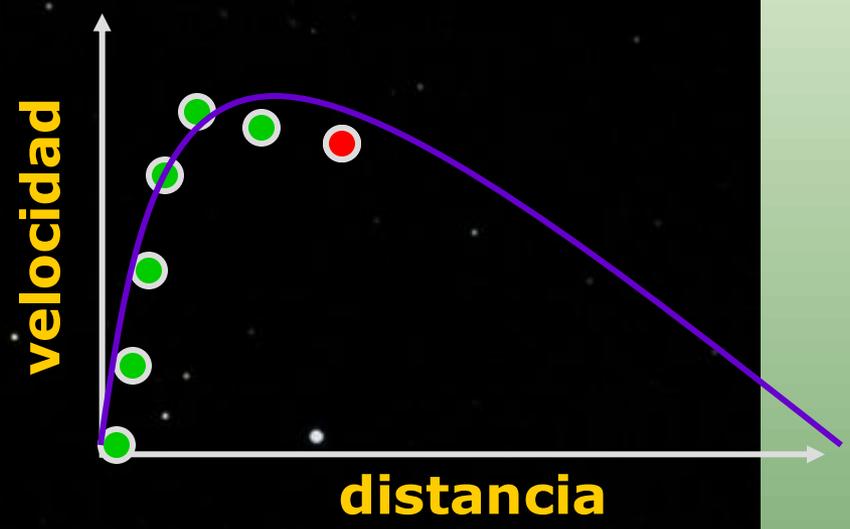
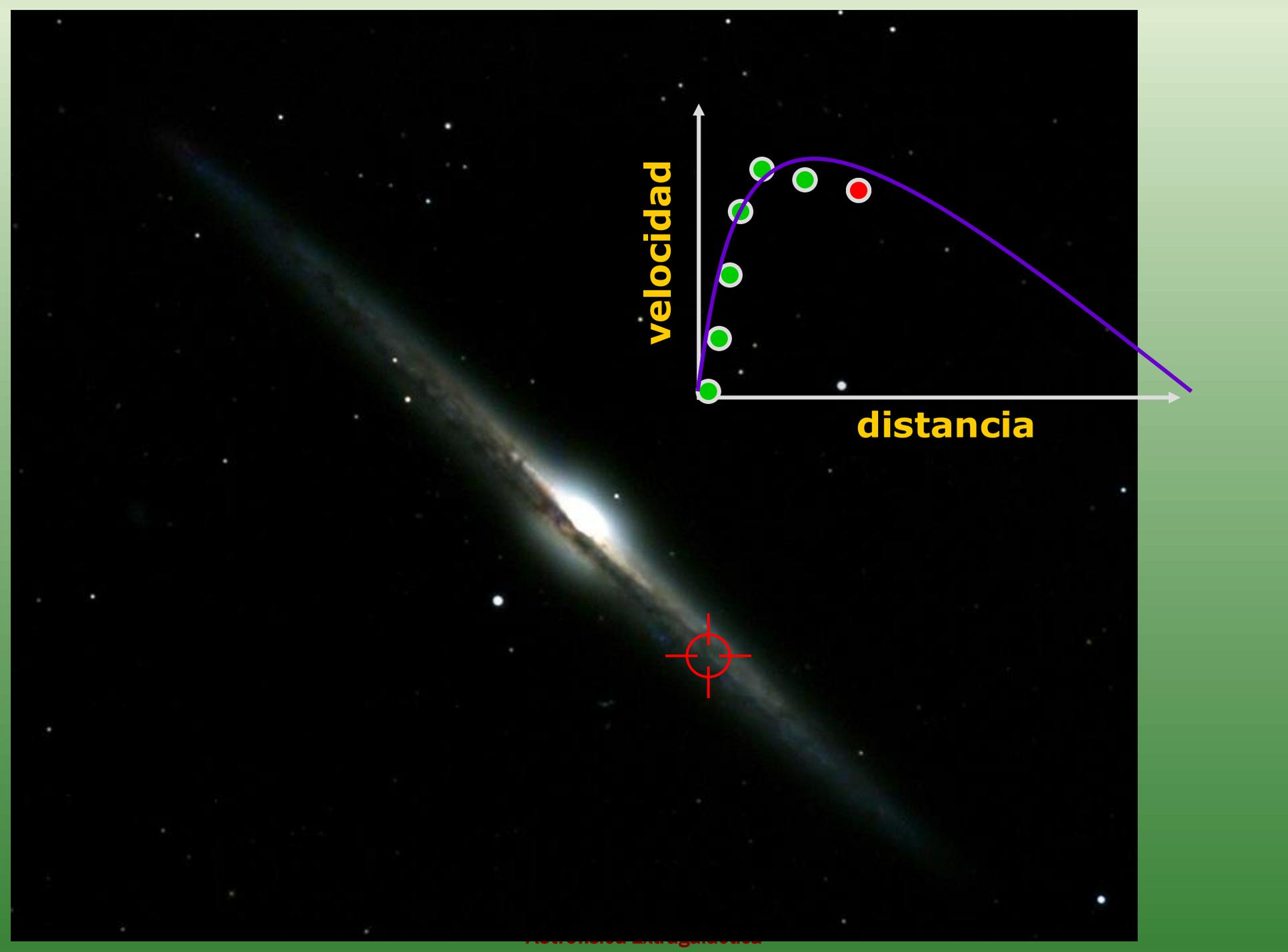
distancia

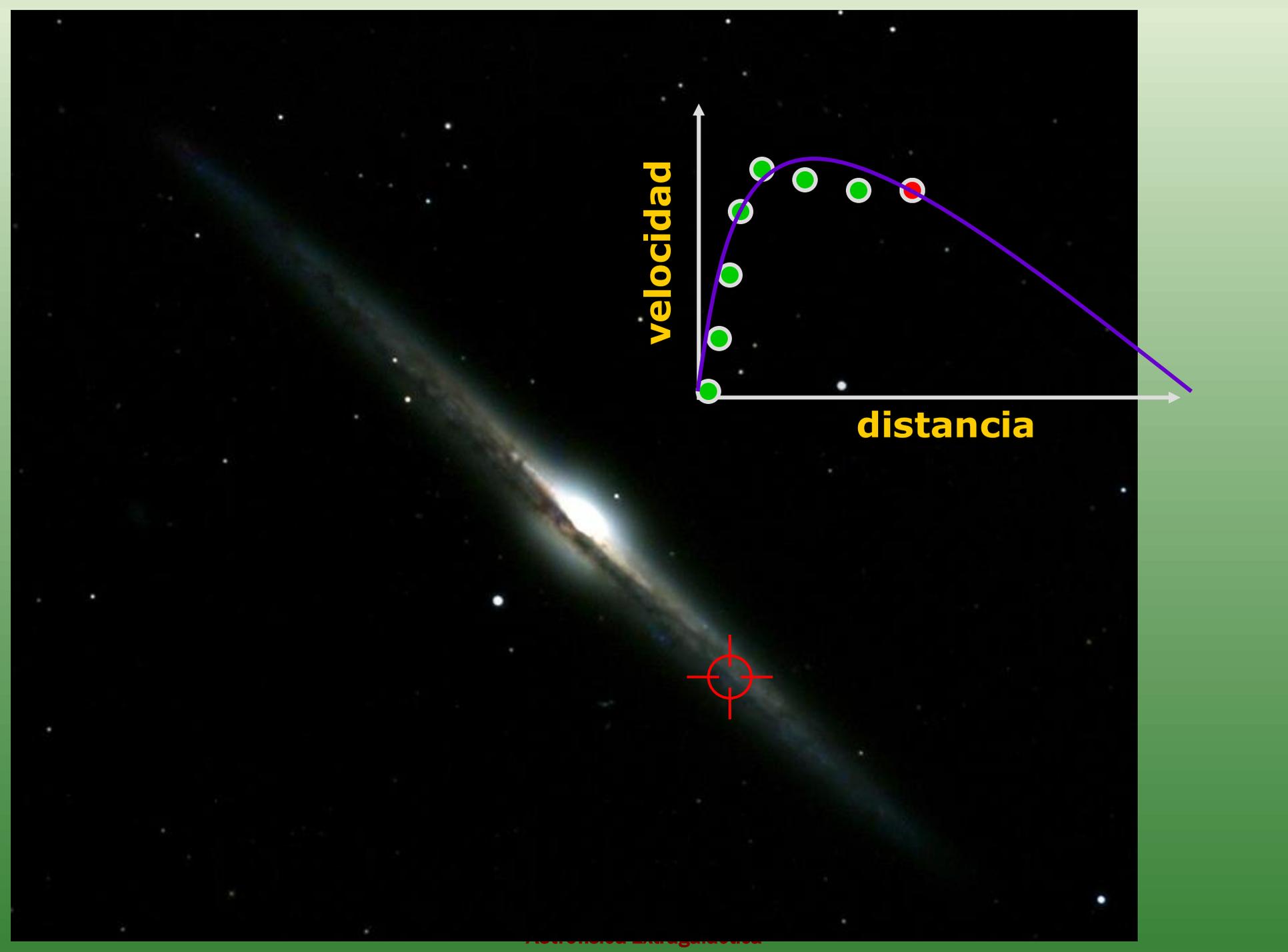


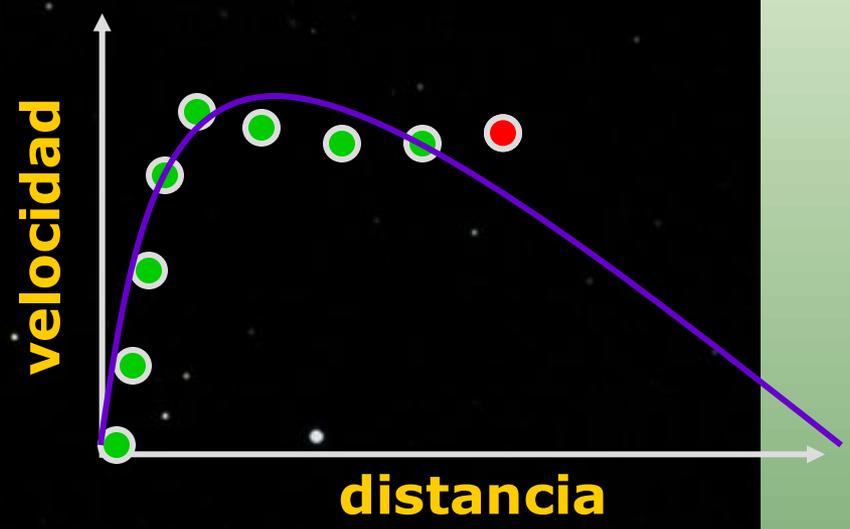
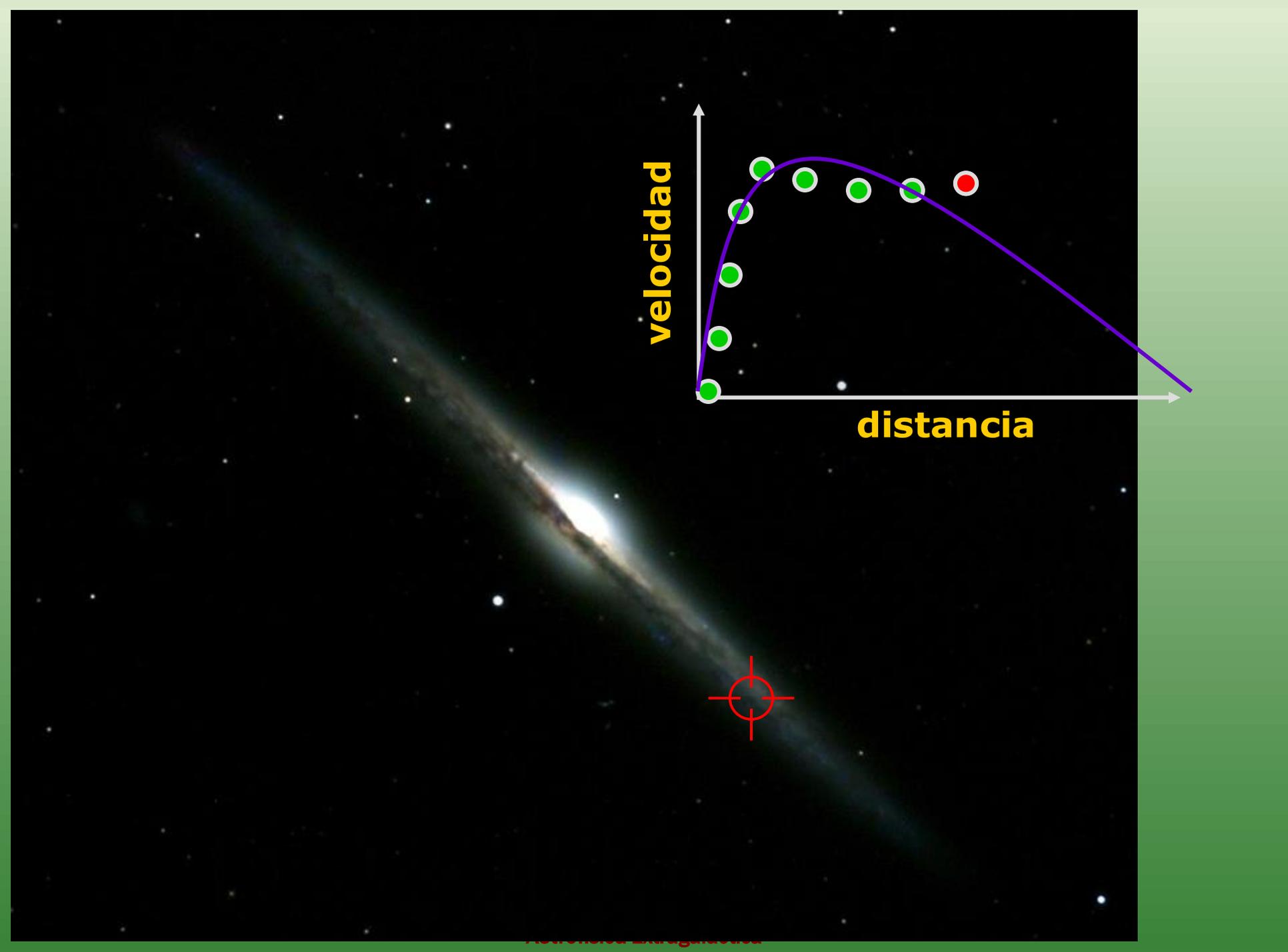


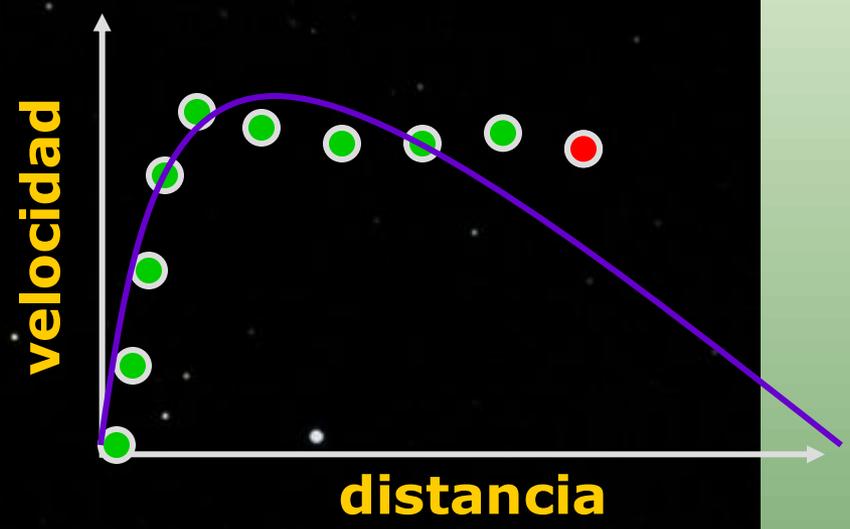
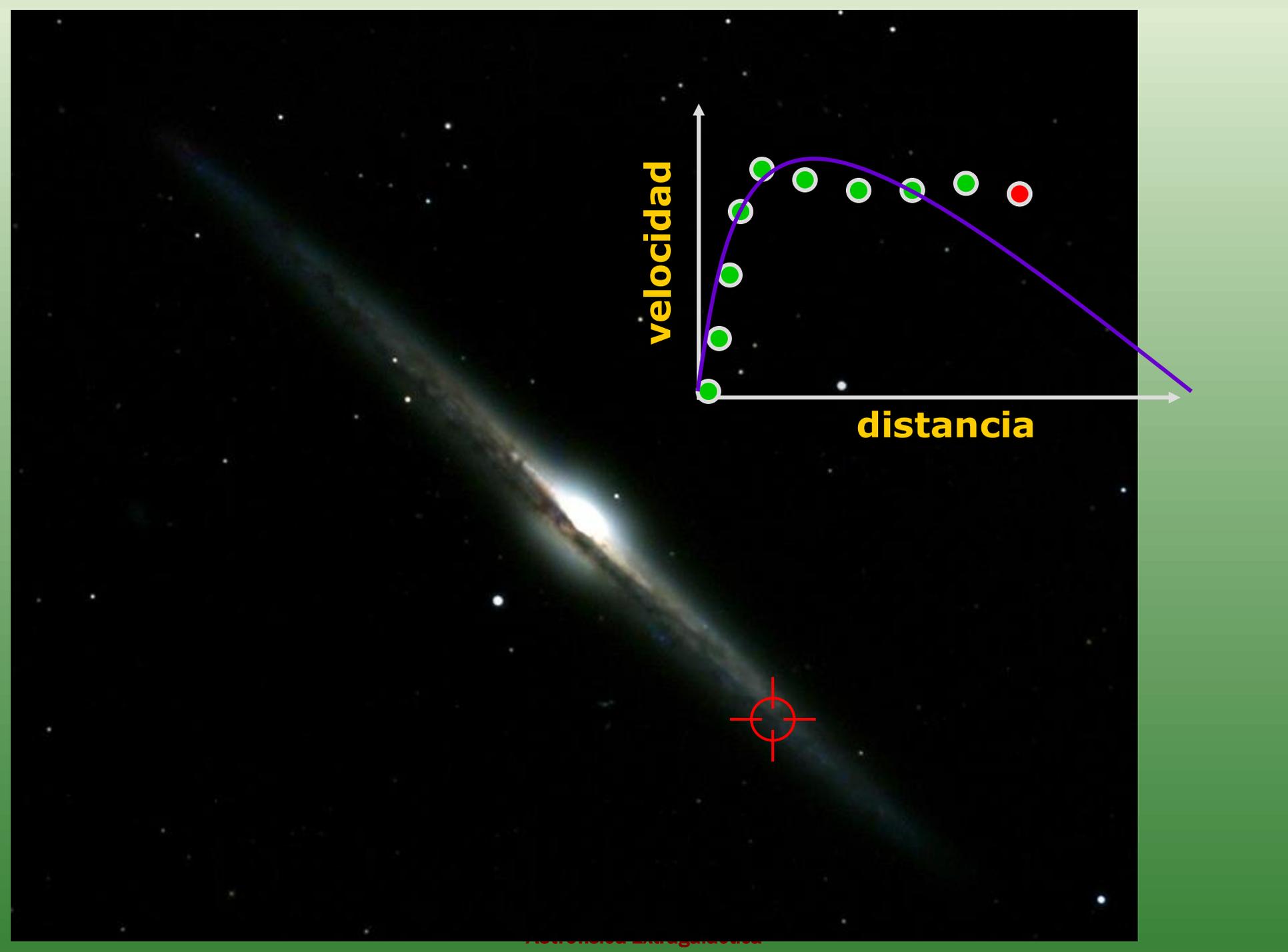


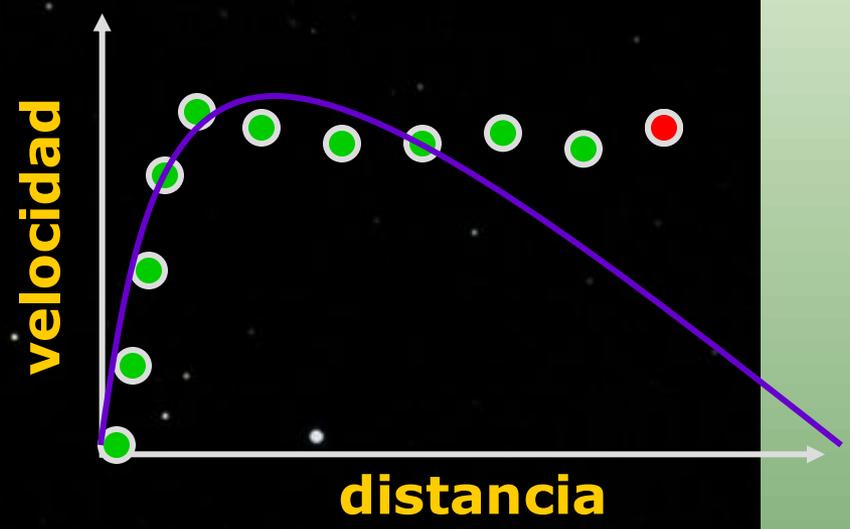
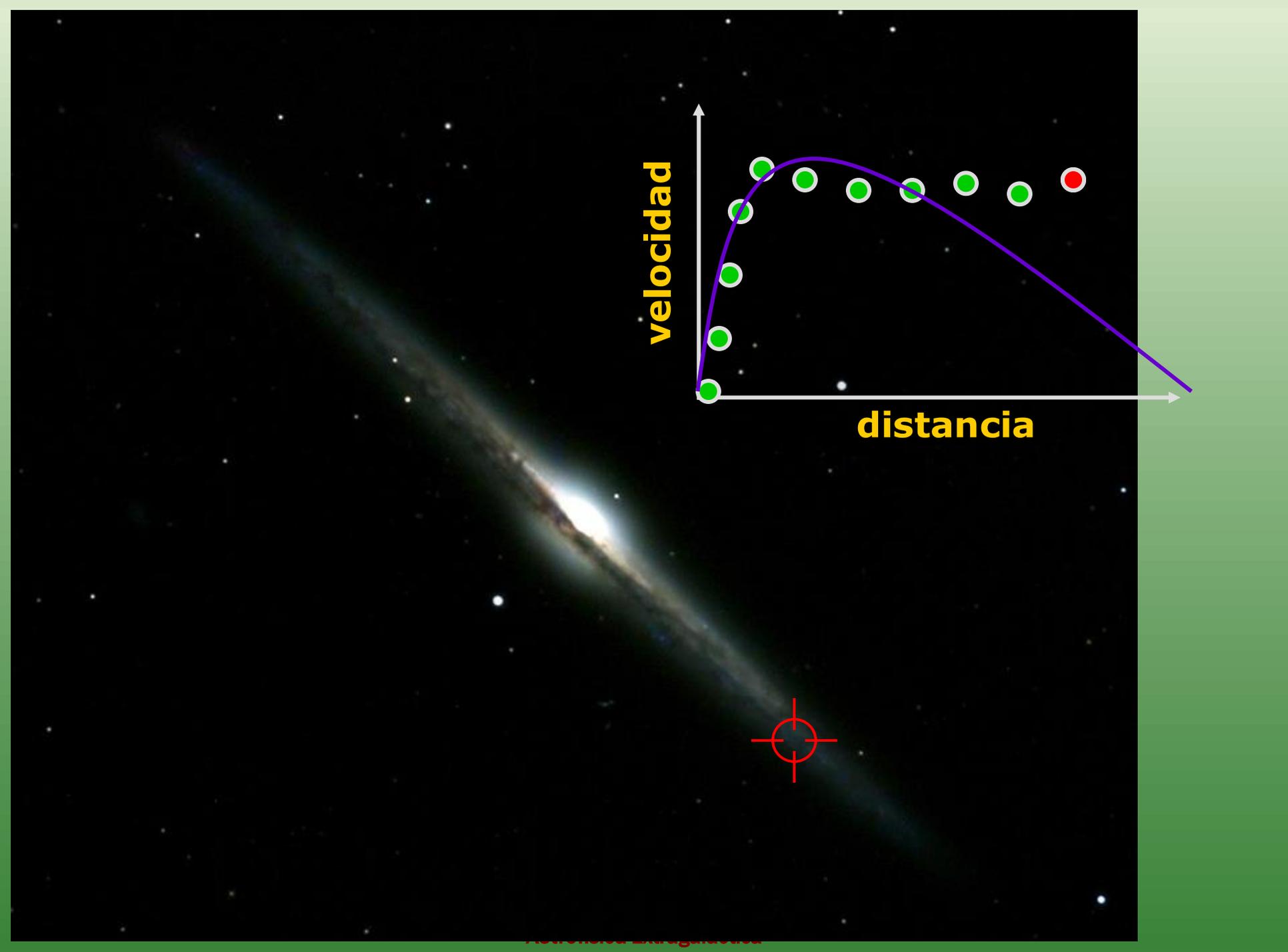


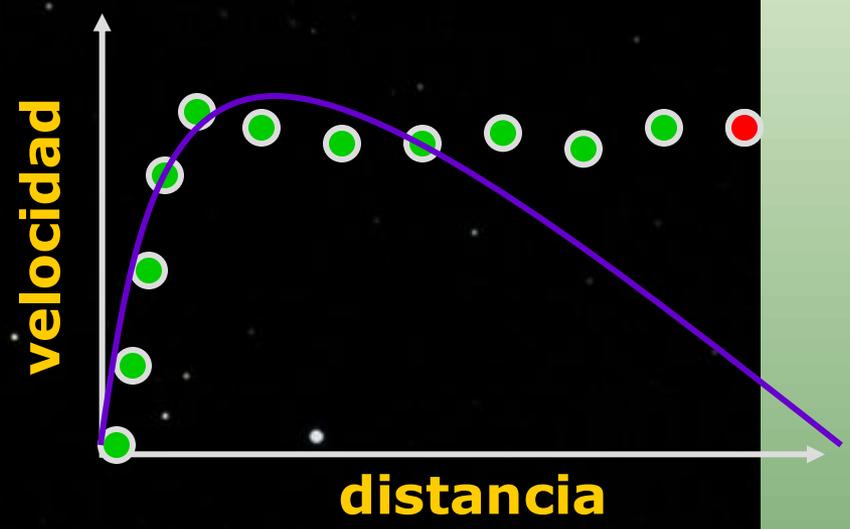
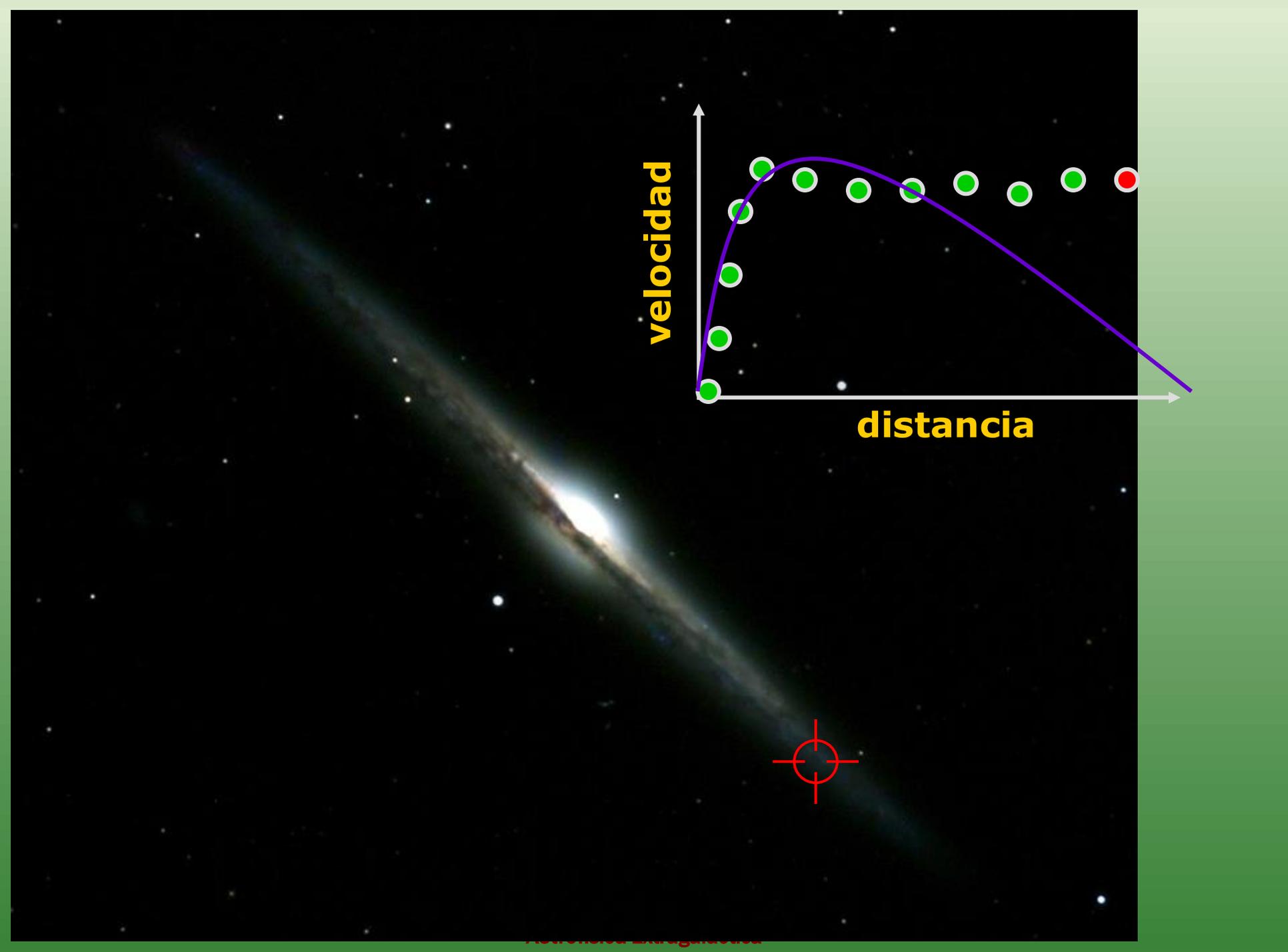


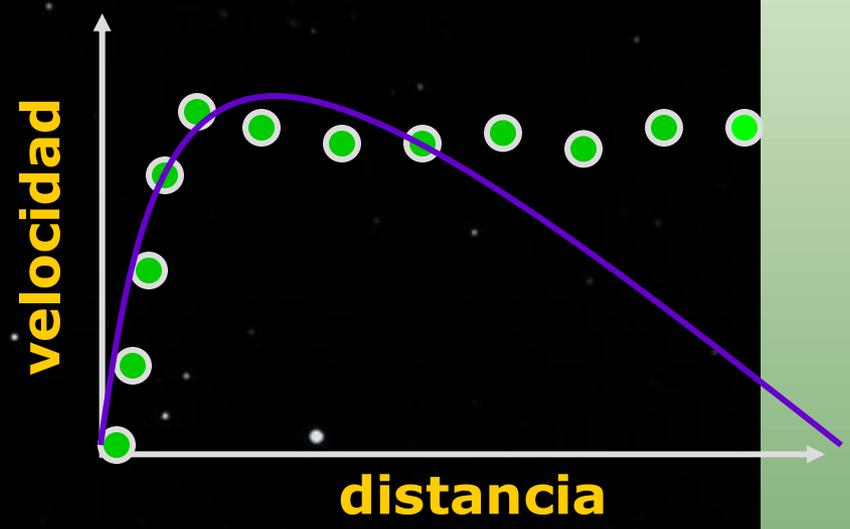
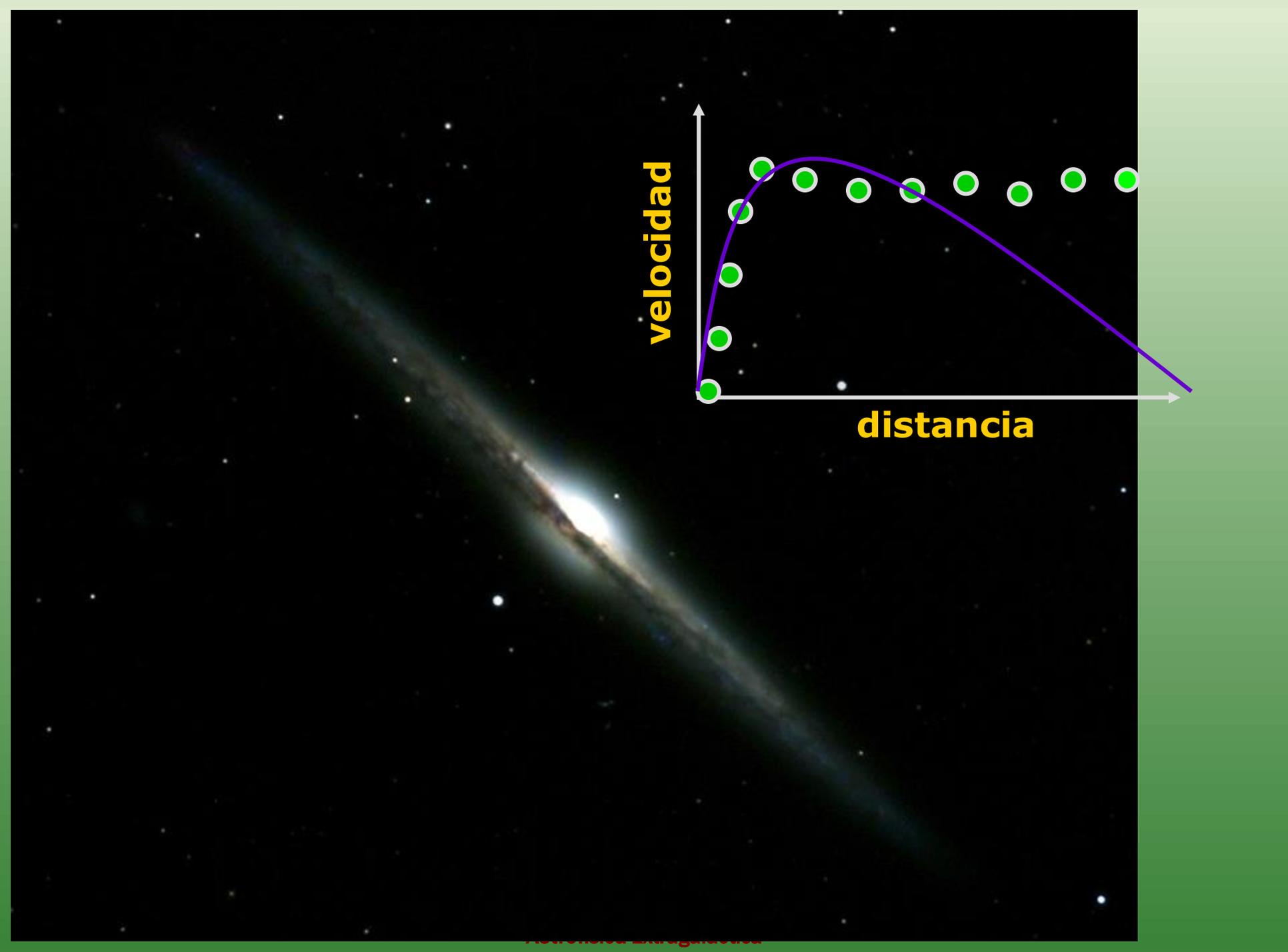




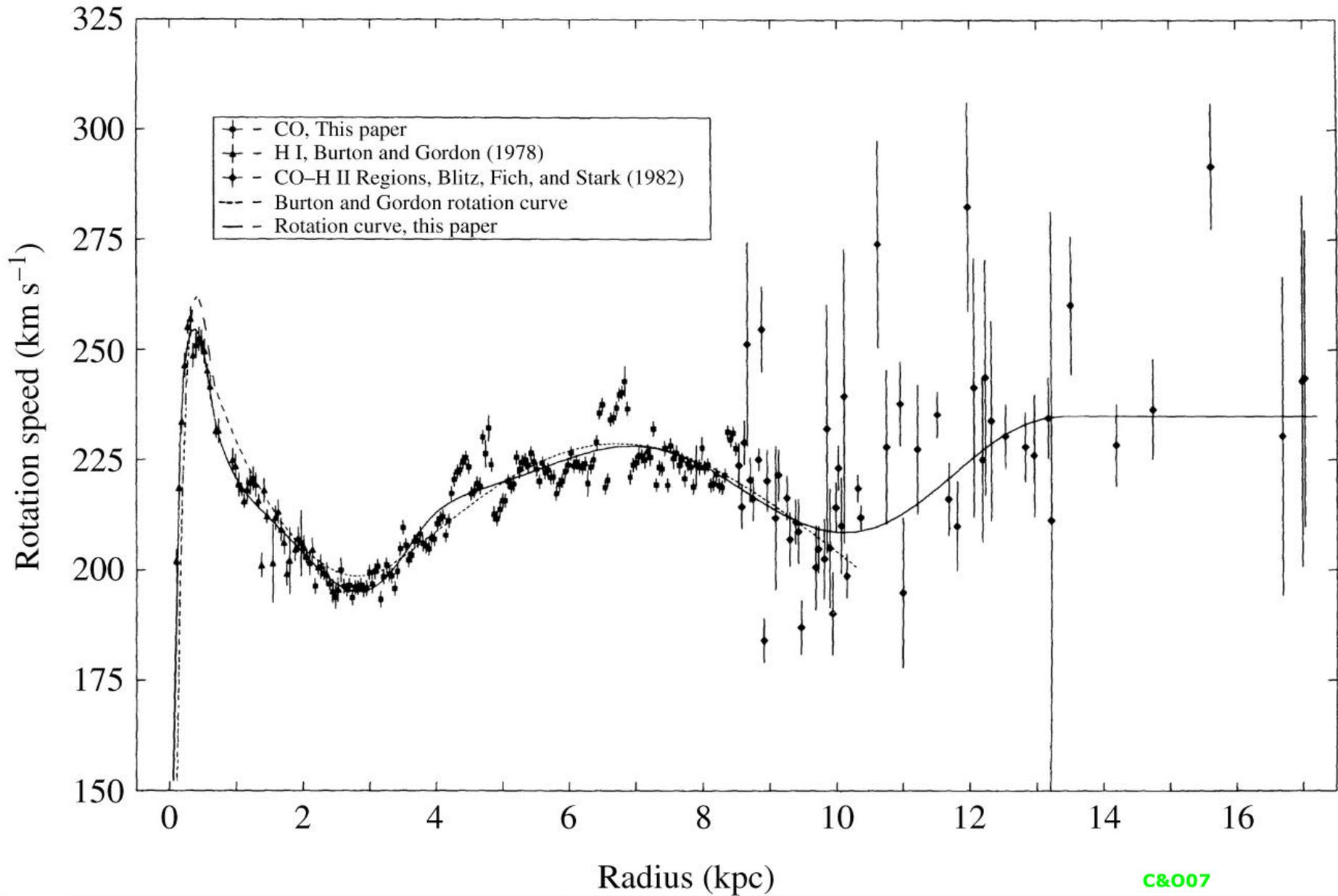




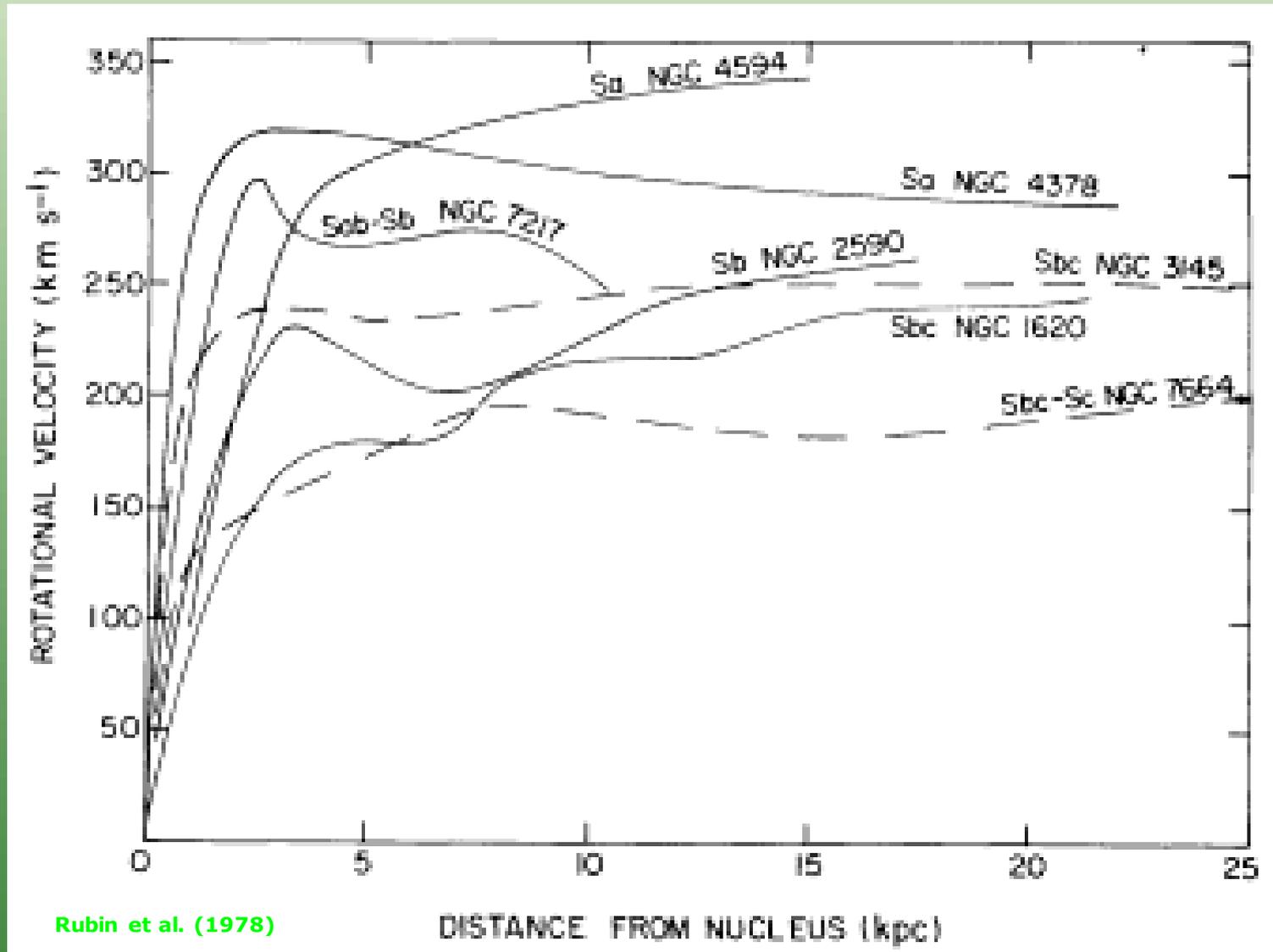




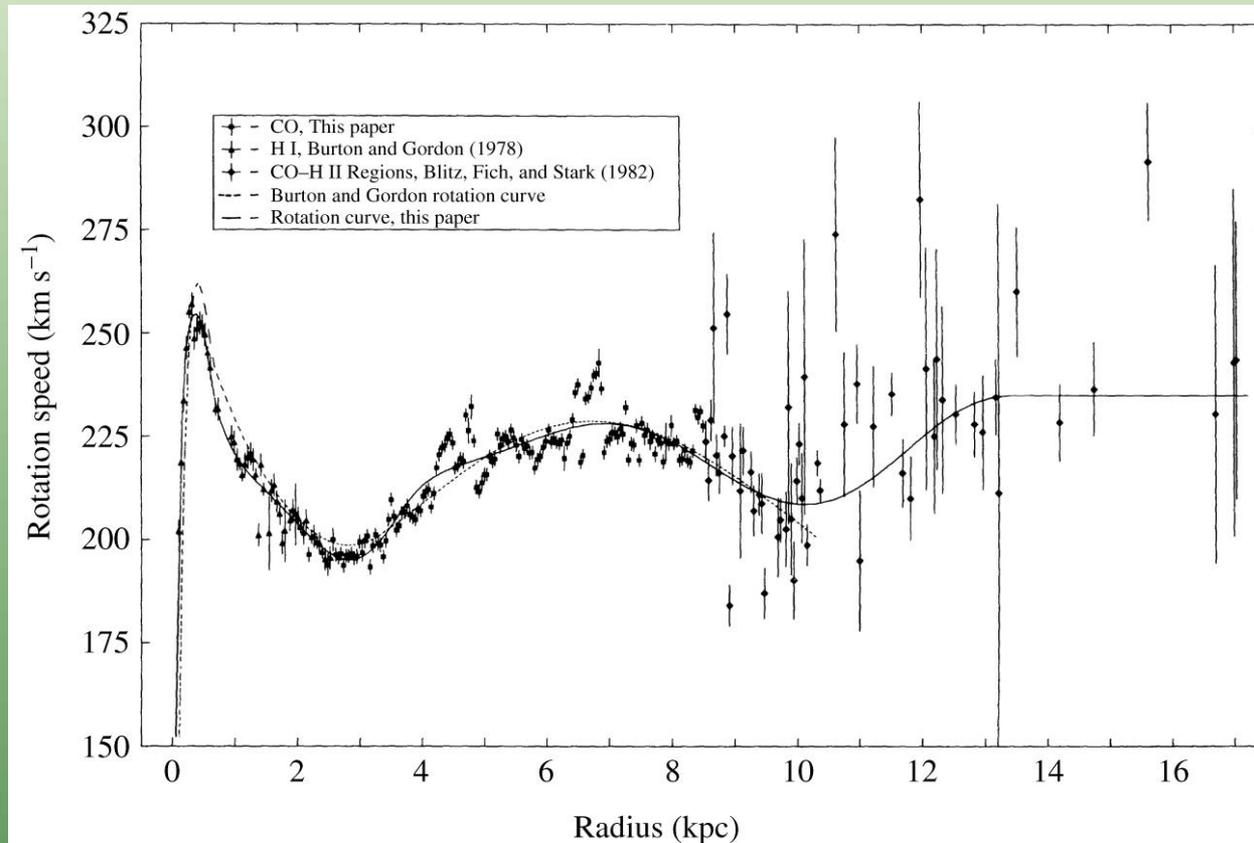
2.1. Componentes de la Vía Láctea: materia oscura



2.1. Componentes de la Vía Láctea: materia oscura



2.1. Componentes de la Vía Láctea: materia oscura



$$\frac{v(r)^2}{r} = \frac{GM(r)}{r^2} \Rightarrow v(r) = \sqrt{\frac{GM(r)}{r}}$$

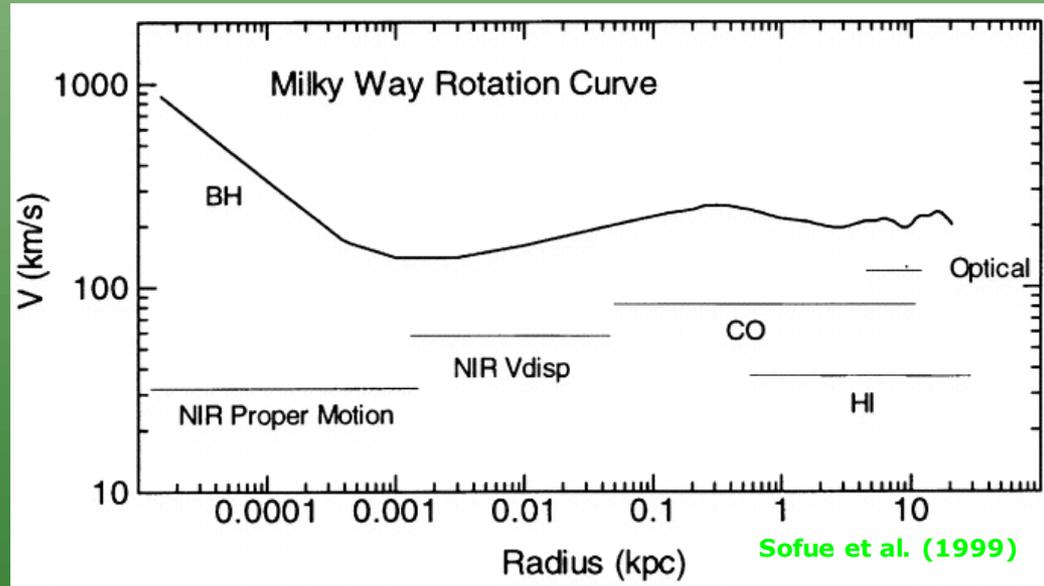
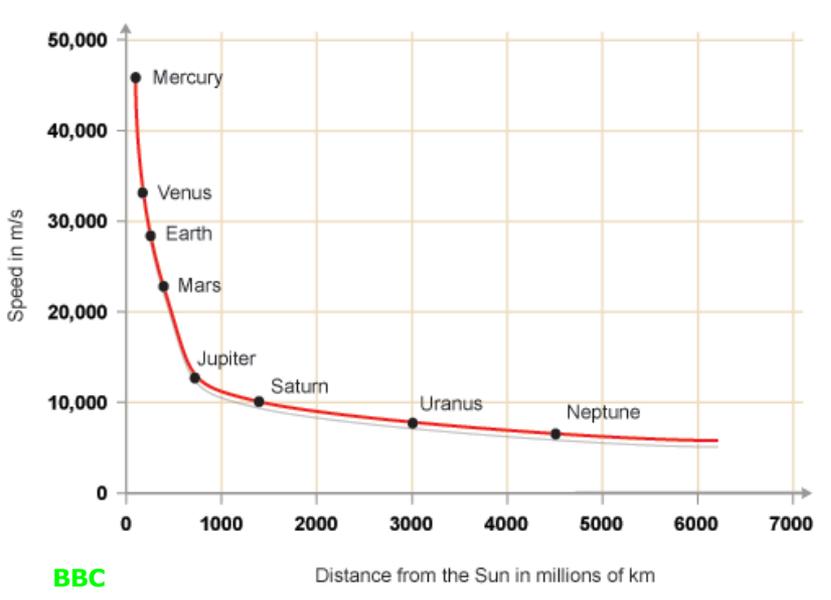


2.1. Componentes de la Vía Láctea: materia oscura

$\dot{M}(r)$?

Caso 1-Masa puntual, p.e., el Sistema Solar (órbitas de Kepler)

$$v(r) = \sqrt{\frac{GM_{\odot}}{r}} \propto r^{-1/2}$$



BBC

2.1. Componentes de la Vía Láctea: materia oscura

¿ $M(r)$?

Caso 2-Densidad constante con simetría esférica

$$\rho = \frac{M_{\odot}}{\frac{4}{3}\pi r^3} \Rightarrow v(r) = \sqrt{\frac{G \frac{4}{3}\pi r^3 \rho}{r}} \Rightarrow v(r) \propto r$$



2.1. Componentes de la Vía Láctea: materia oscura

¿ $M(r)$?

Caso 3-Velocidad $v(r)$ para órbitas en un disco de tamaño R_d y densidad constante σ .

$$\frac{v^2}{r} = G \frac{M(r)}{r^2} \Rightarrow v^2 = \frac{GM(r)}{r}$$

La densidad de un disco se relaciona con su masa:

$$\begin{aligned} M(r) &= \sigma \pi r^2 & r < R_d \\ M(r) &= \sigma \pi R_d^2 & r > R_d \end{aligned} \quad v^2 = \frac{G\sigma\pi r^2}{r}$$

$$v^2 = G\sigma\pi r \Rightarrow v \propto r^{1/2} \text{ para } r < R_d$$

$$v^2 = \frac{G\sigma\pi R_d^2}{r} \Rightarrow v \propto r^{-1/2} \text{ para } r \geq R_d$$



2.1. Componentes de la Vía Láctea: materia oscura

¿ $M(r)$?

Caso 4-¿Cómo debe ser la distribución de densidad para que la velocidad de las órbitas sea constante?.

$$v(r) = \sqrt{\frac{GM(r)}{r}} = \sqrt{\frac{G\rho \frac{4}{3}\pi r^3}{r}} = \sqrt{G\rho \frac{4}{3}\pi r^2}$$

$$v(r) = \text{CTE} \Rightarrow \rho(r) \propto r^{-2}$$

$$\rho(r) = \frac{\rho_0}{1 + (r/a)^2}$$



2.1. Componentes de la Vía Láctea: materia oscura

THE STRUCTURE OF COLD DARK MATTER HALOS

JULIO F. NAVARRO¹

Steward Observatory, The University of Arizona, Tucson, AZ 85721

CARLOS S. FRENK

Physics Department, University of Durham, Durham DH1 3LE, England

AND

SIMON D. M. WHITE

Max-Planck-Institut für Astrophysik, Karl-Schwarzschild Strasse 1, D-85740, Garching, Germany

Received 1995 August 1; accepted 1995 December 4

ABSTRACT

We use N -body simulations to investigate the structure of dark halos in the standard cold dark matter cosmogony. Halos are excised from simulations of cosmologically representative regions and are resimulated individually at high resolution. We study objects with masses ranging from those of dwarf galaxy halos to those of rich galaxy clusters. The spherically averaged density profiles of all our halos can be fitted over two decades in radius by scaling a simple “universal” profile. The characteristic overdensity of a halo, or equivalently its concentration, correlates strongly with halo mass in a way that reflects the mass dependence of the epoch of halo formation. Halo profiles are approximately isothermal over a large range in radii but are significantly shallower than r^{-2} near the center and steeper than r^{-2} near the virial radius. Matching the observed rotation curves of disk galaxies requires disk mass-to-light ratios to increase systematically with luminosity. Further, it suggests that the halos of bright galaxies depend only weakly on galaxy luminosity and have circular velocities significantly lower than the disk rotation speed. This may explain why luminosity and dynamics are uncorrelated in observed samples of binary galaxies and of satellite/spiral systems. For galaxy clusters, our halo models are consistent both with the presence of giant arcs and with the observed structure of the intracluster medium, and they suggest a simple explanation for the disparate estimates of cluster core radii found by previous authors. Our results also highlight two shortcomings of the CDM model. CDM halos are too concentrated to be consistent with the halo parameters inferred for dwarf irregulars, and the predicted abundance of galaxy halos is larger than the observed abundance of galaxies. The first problem may imply that the core structure of dwarf galaxies was altered by the galaxy formation process, and the second problem may imply that galaxies failed to form (or remain undetected) in many dark halos.

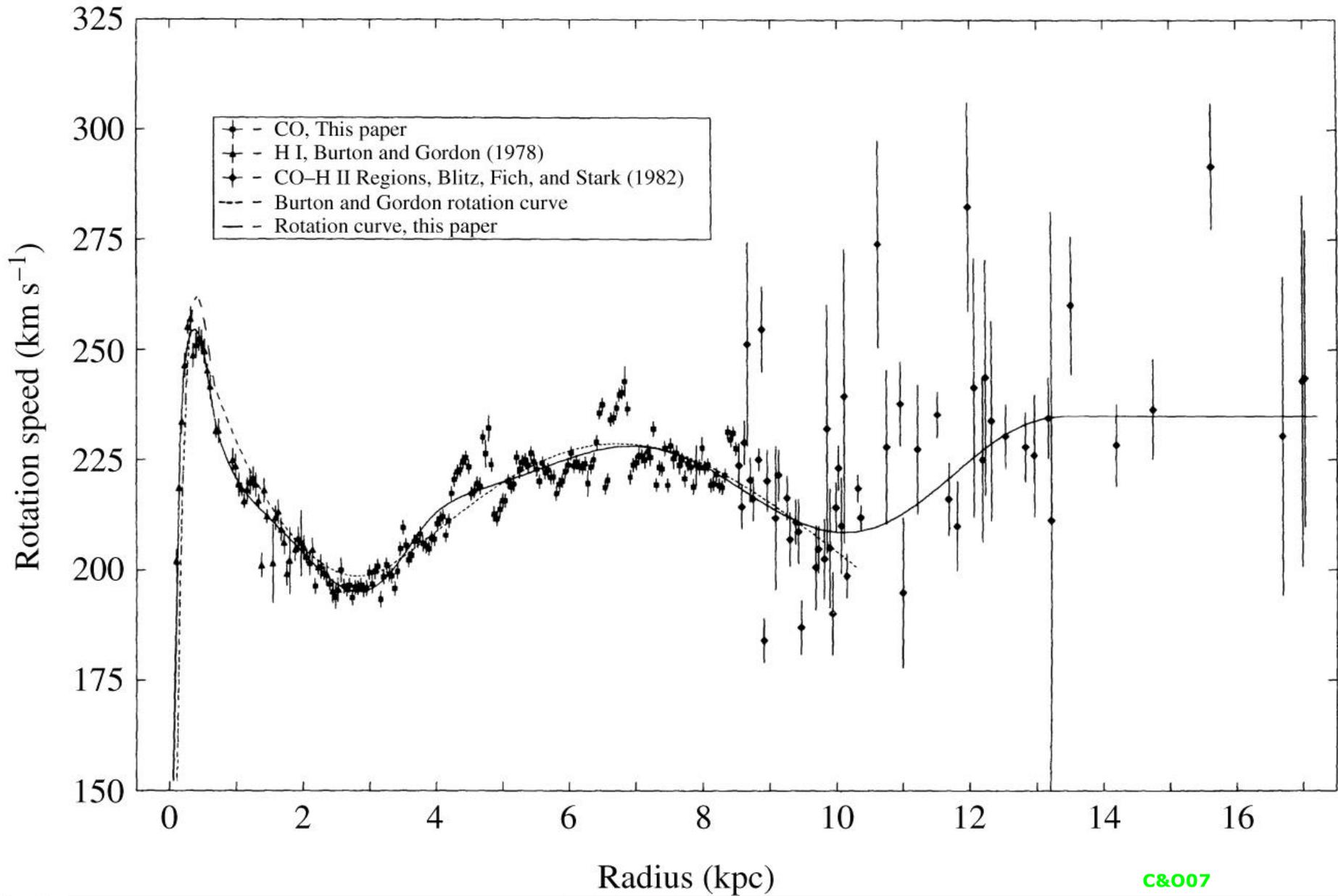
$$\rho(r) = \frac{\rho_0}{(r/a)(1+r/a)^2}$$

Para más información, véase MvdBW10 (buscar NFW profile)

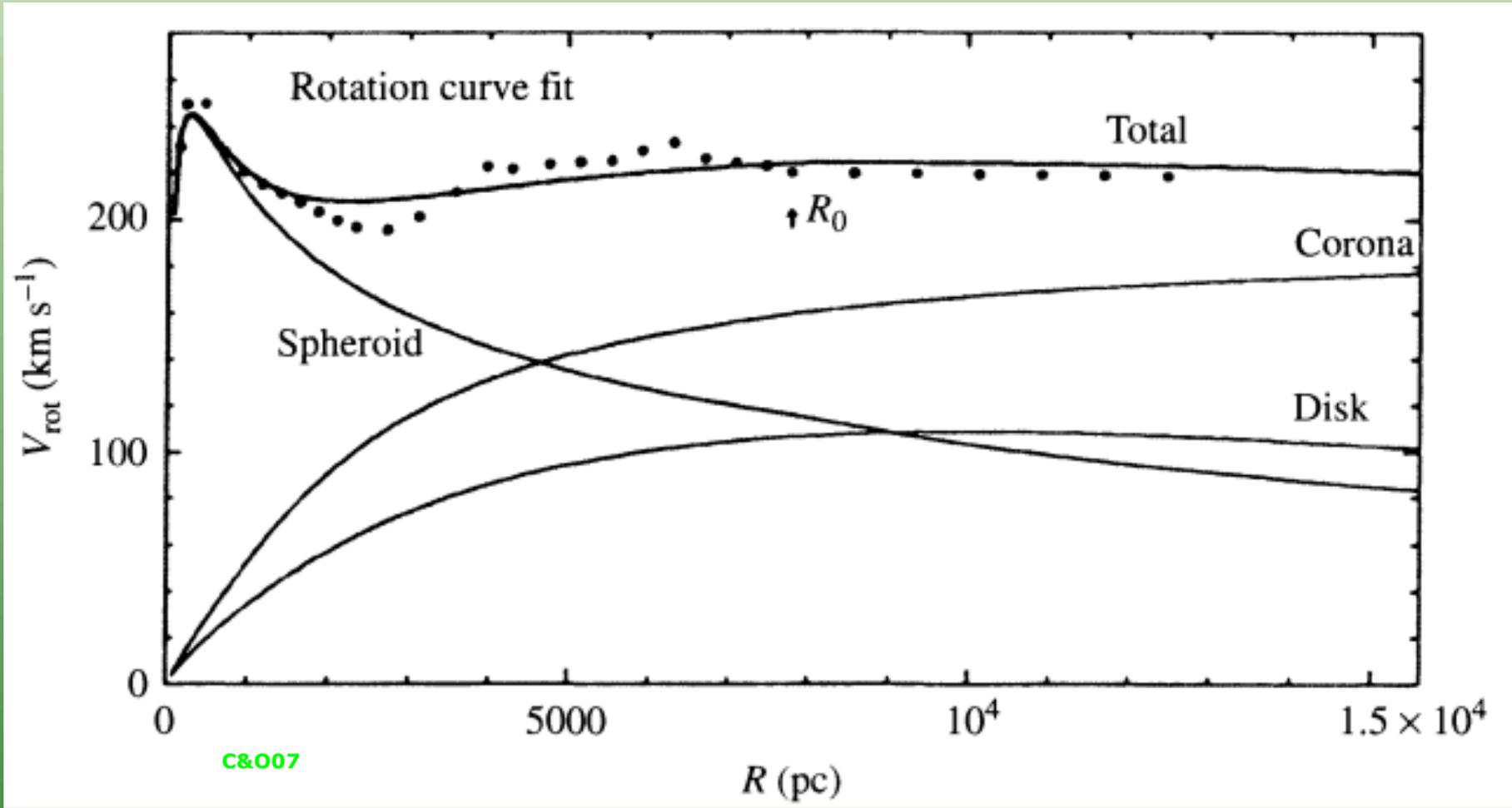
Astrofísica Extragaláctica



2.1. Componentes de la Vía Láctea: materia oscura



2.1. Componentes de la Vía Láctea: materia oscura



2.1. Componentes de la Vía Láctea: materia oscura

La curva de rotación de la Vía Láctea y otras galaxias indica que existe una gran cantidad de masa que no logramos ver en ninguna parte del espectro electromagnético. Esta es la definición de **materia oscura**.

La masa de materia oscura en la MW debe ser del orden de $\sim 5 \times 10^{11} M_{\odot}$ hasta una distancia galactocéntrica de 50 kpc, y $\sim 2 \times 10^{12} M_{\odot}$ hasta 230 kpc. Esto indica que la materia visible es tan solo de un 10% de la masa total en Nuestra Galaxia (¿y en el Universo?: esperar a Cosmología).

¿Qué es la materia oscura? No se sabe!!! No es polvo, ni gas, pues afectaría a nuestras observaciones ópticas, NIR, MIR, radio,...

Posibles candidatos:

-Bariónica: MACHOS (Massive compact Halo Object), BH primordiales. No parece suficiente.

-No bariónica: CDM como WIMPs (Weakly interacting massive particle, como neutralino), HDM como neutrino, WDM como neutrinos estériles o gravitinos,...

-No hay materia oscura: MOND (Modified Newton Dynamics, ver, p.e., Sanders & McGaugh 2002, Browstein & Moffat 2006).



2.1. Componentes de la Vía Láctea: MOND?

MOND utiliza una modificación de la ley de Newton:

$$F = \frac{GMm}{r^2} \rightarrow \rightarrow \rightarrow F = m\mu\left(\frac{a}{a_0}\right)a$$

con "a" la aceleración que sufre el objeto y $\mu(a/a_0)$ una función que se acerca a "1" para $a \gg a_0$ (Newton) y a " a/a_0 " para $a \ll a_0$ (MW).

$$\frac{GM}{r^2} = \mu\left(\frac{a}{a_0}\right)a$$

Se suele usar la expresión:

$$\mu\left(\frac{a}{a_0}\right) = \frac{a/a_0}{\sqrt{1 + (a/a_0)^2}}$$

Para radios grandes y relacionando la aceleración con la velocidad de una órbita en la MW (u otra galaxia):

$$\frac{GM}{r^2} \sim \left(\frac{a^2}{a_0}\right) = \frac{v^4}{a_0 r^2} \Rightarrow v = \sqrt[4]{GMa_0}$$



2.1. Componentes de la Vía Láctea: MOND?

Para una curva de rotación como la de la MW $v(\infty)=225$ km/s (asumiendo una masa $1.6 \times 10^{11} M_{\odot}$):

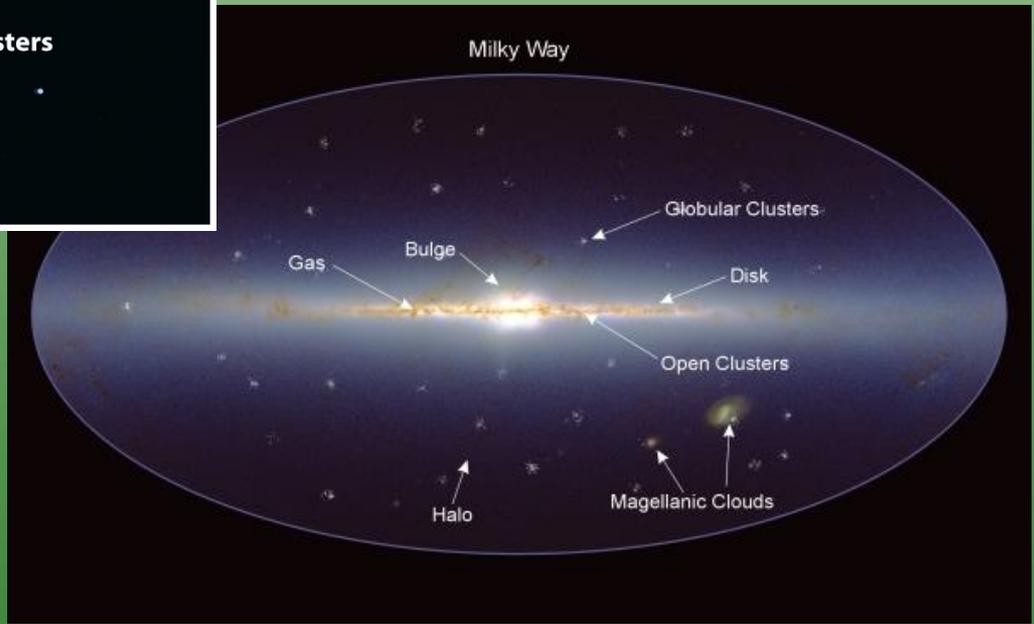
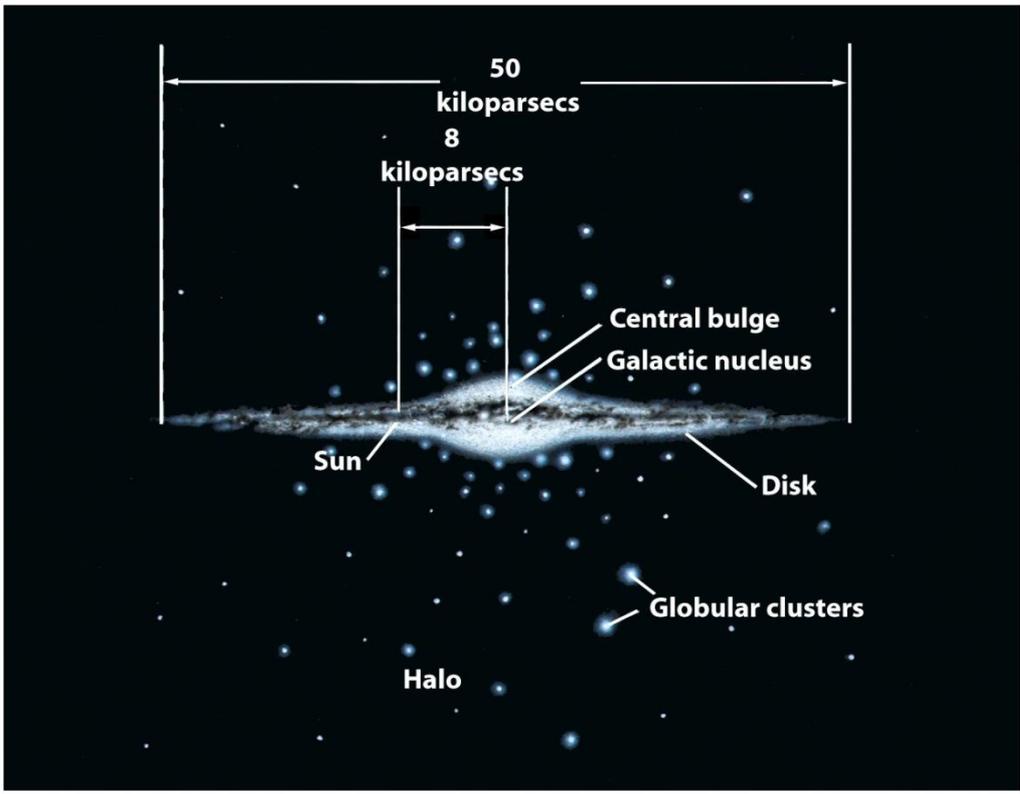
$$v = \sqrt[4]{GMa_0} \Rightarrow$$

$$a_0 = \frac{v^4}{GM} \sim 1.2 \times 10^{-10} \text{ m s}^{-2}$$

En todo caso, la teoría MOND tiene problemas con el comportamiento de los cúmulos, en los que el centro gravitatorio no parece coincidir con el centro de la materia visible (p.e, en el Bullet cluster). Por ello hay teorías híbridas que utilizan MOND y alguna partícula de materia oscura como los neutrinos.



2.2.Morfología de la Vía Láctea

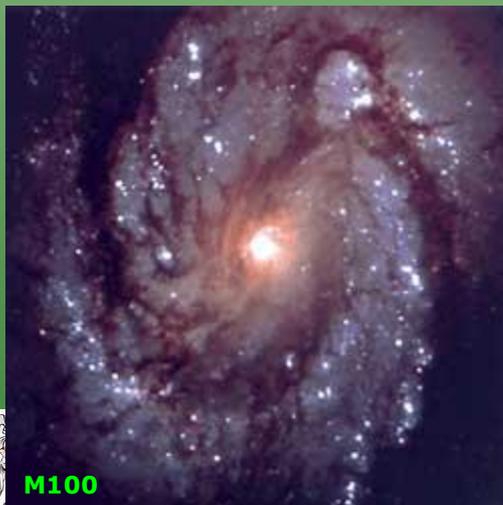


2.2. Morfología de la Vía Láctea: bulbo

El **bulbo** es la parte central de la Vía Láctea ($r=3$ kpc), $\sim 2 \times 10^{10} M_{\odot}$ de estrellas con una morfología más abultada que el disco ($h=0.5$ kpc), ligeramente elongada, con una barra interna (SBb).

Las estrellas del bulbo son viejas (y rojas), denominadas de población II, las más viejas en la Galaxia junto con algunas del halo (12-15 Gyr). Son típicamente estrellas parecidas al sol: enanas con metalicidades en torno a la solar. También hay gigantes rojas y remanentes estelares, es decir, estrellas evolucionadas. Aparecen claramente en una imagen NIR de la Vía Láctea.

El movimiento de las estrellas en el bulbo no sigue la rotación del disco. Sus órbitas son excéntricas, algunas distanciándose varios kpc de la parte central de la galaxia. Algunas estrellas tienen órbitas retrógradas y otras tienen altas velocidades.



El estudio del bulbo, sobre todo el más interno, es difícil dada la extinción por polvo del disco (hay ventanas como la de Baade). En el bulbo o hay mucho gas ni polvo.

El brillo superficial (L_{\odot}/pc^2) sigue la llamada ley de de Vaucoleurs (1918-1995), con $r_e=0.7$ kpc:

$$\ln I(r) = \ln I_e + 7.67 \left[1 - \left(\frac{r}{R_e} \right)^{1/4} \right]$$

2.2. Morfología de la Vía Láctea: barra

La Vía Láctea parece tener una barra de una longitud de unos 6-9 kpc orientado con unos 44° de la línea de observación al bulbo. Esta afirmación se basa en una mayor densidad de estrellas (tipo AGB).

Las barras son estructuras comunes entre espirales y pueden ser el motor necesario para migrar materia (estrellas, gas, polvo) de regiones exteriores hacia el centro de las galaxias.



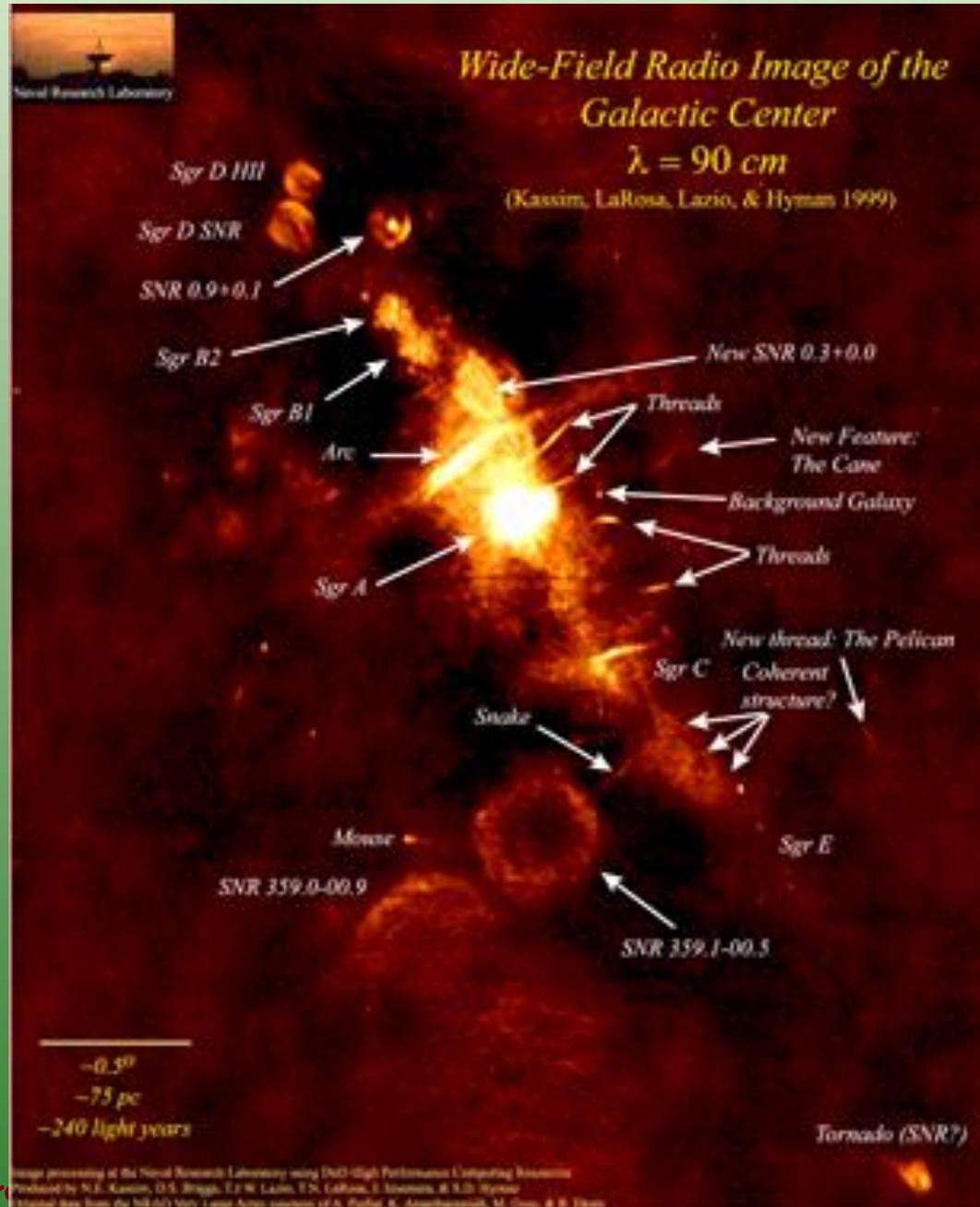
wikipedia



2.2.Morfología de la Vía Láctea: núcleo

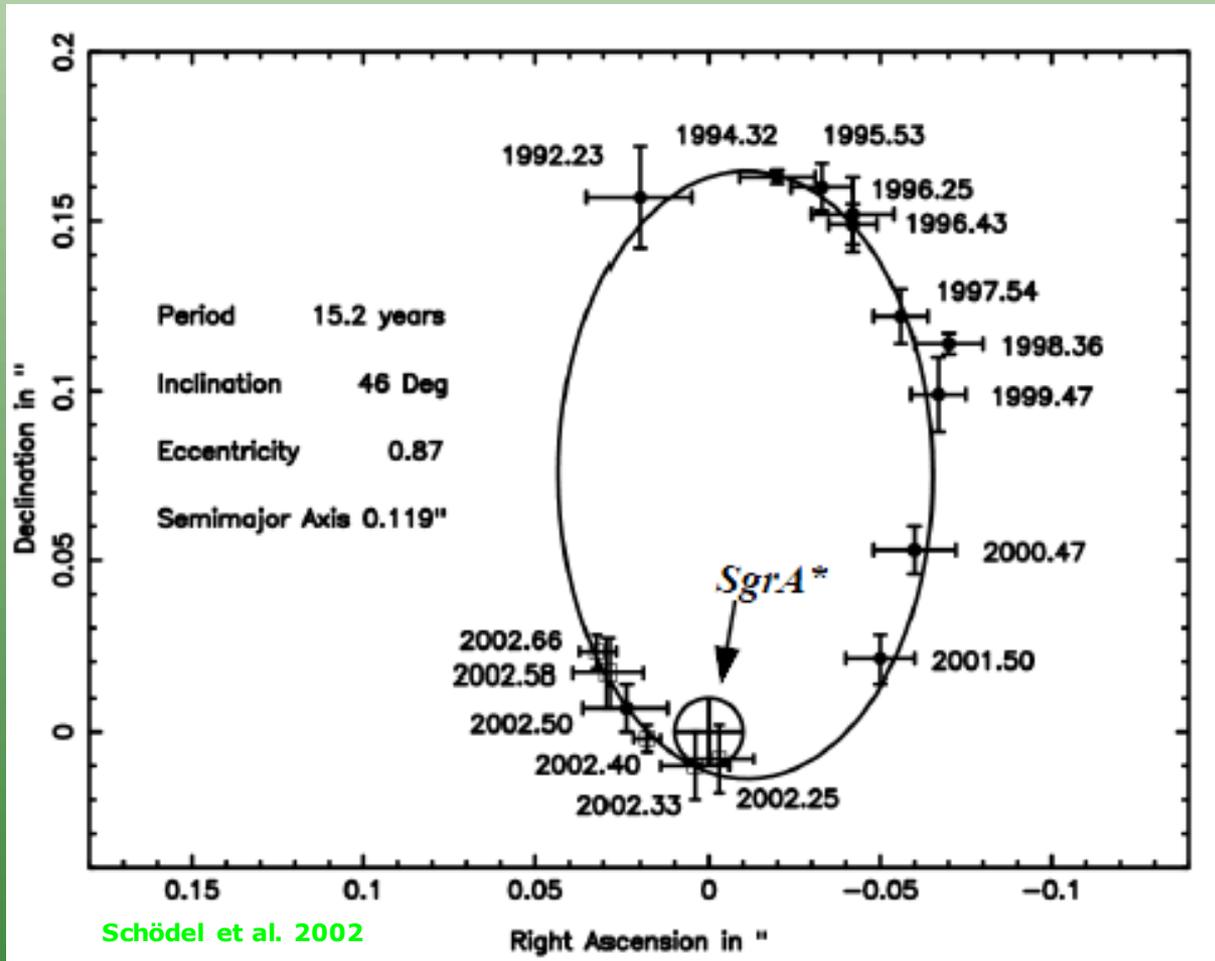
El **núcleo o centro Galáctico** es la parte más interna del bulbo. Es imposible de observar en el óptico debido a la absorción del polvo interestelar (de hasta 30^{mag}). Sin embargo, se puede estudiar en el IR y el radio.

En mapas de radio continuo hay dos regiones muy prominentes en el centro de la Vía Láctea: Sagitario A y Sagitario B2. Ésta última zona es una región HII. En Sgr A hay una fuente radio muy intensa y no resuelta, que se denomina Sgr A*, y marca el centro de Nuestra Galaxia. A 0.04 pc de esta fuente (1") hay un cúmulo estelar joven (<10 Myr).



2.2. Morfología de la Vía Láctea: núcleo

La observación en el IR cercano y medio de estrellas durante los últimos 10 años en la zona de Sgr A* revela órbitas Keplerianas consistentes con una masa muy concentrada del orden de $4 \times 10^6 M_{\odot}$.



Schödel et al. 2002

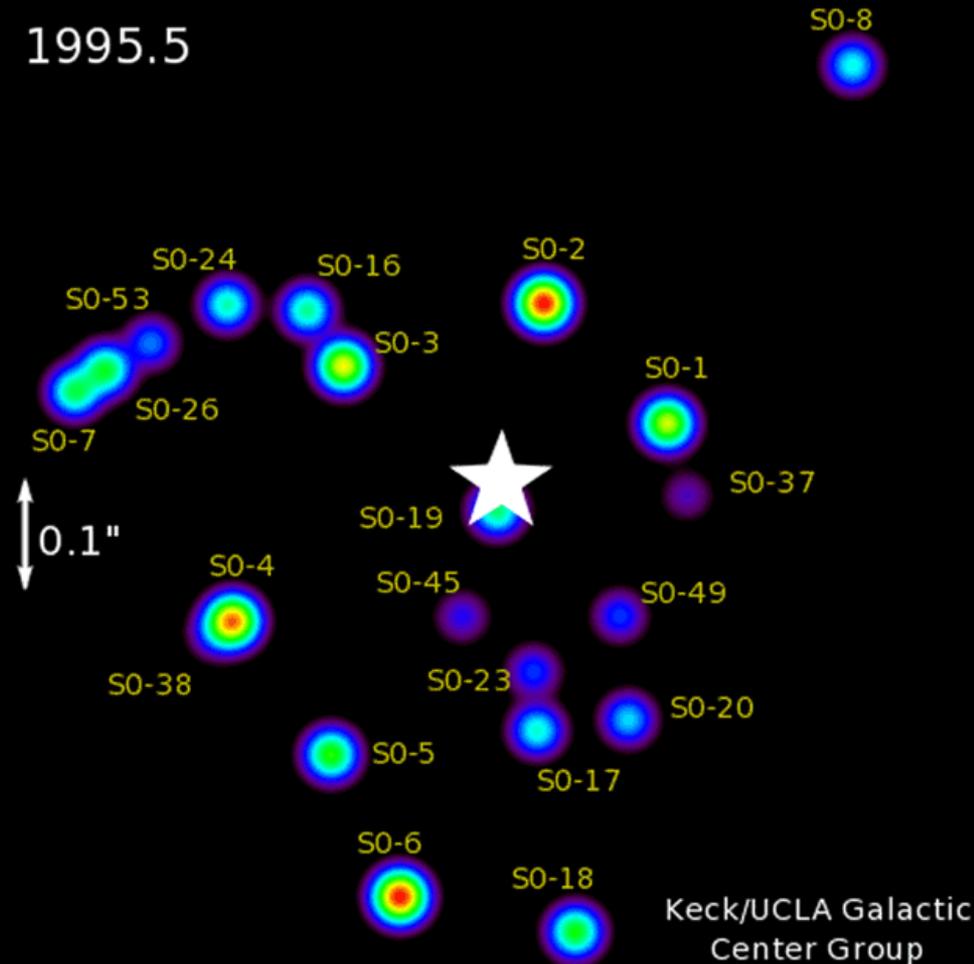


2.2. Morfología de la Vía Láctea: núcleo

Actualmente se cree que Sgr A* podría albergar un cúmulo de estrellas jóvenes (muy extinguido) y/o un agujero negro supermasivo, aunque la presencia de ese agujero negro es cada vez menos discutida.

0.1" ~ 0.004 pc

1995.5



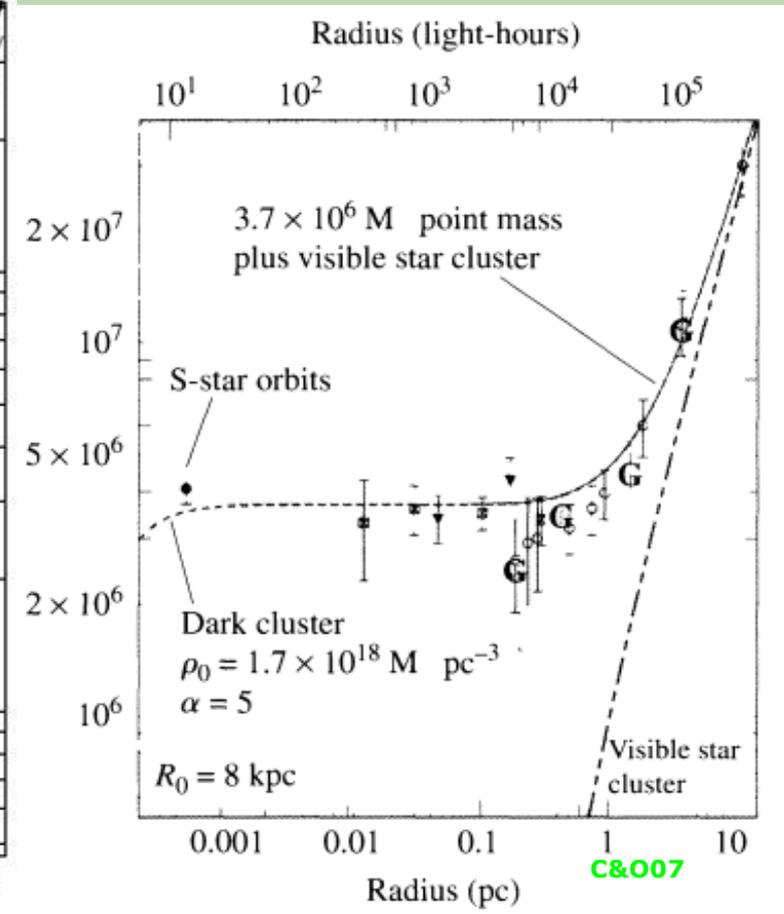
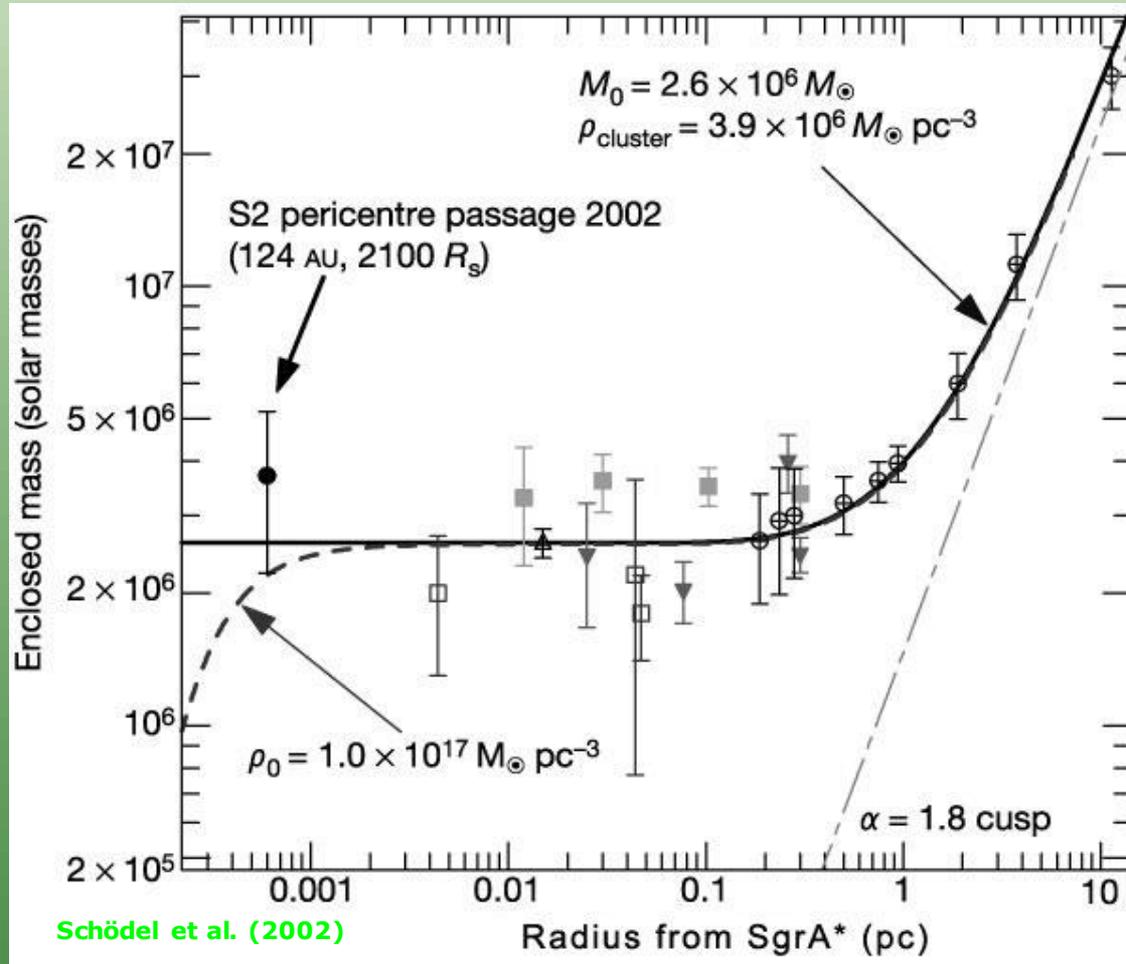
Ver Ghez et al. 1999

2.2.Morfología de la Vía Láctea: núcleo



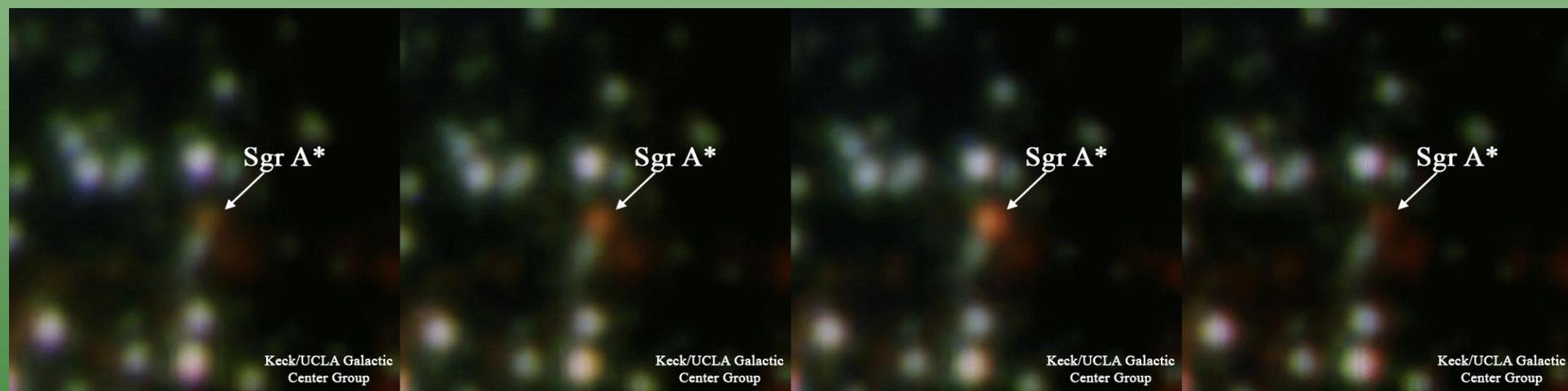
http://www.astro.ucla.edu/~ghezgroup/gc/images/media/ghezGC_comp3-18_H264_864.mov

2.2. Morfología de la Vía Láctea: núcleo



2.2. Morfología de la Vía Láctea: núcleo

El objeto central en Sgr A* tendría una masa de millones de masas solares y un radio menor que 0.001 pc. La densidad sería tan alta que se debe tratar de un agujero negro supermasivo. Además se detecta variación en la emisión MIR, lo que indicaría que el agujero negro está acreutando materia (también se observan nubes moleculares densas en la zona) que emite al ser calentada en las órbitas más cercanas al objeto supermasivo.



2.2.Morfología de la Vía Láctea: núcleo

La acreción de materia también tiene pruebas observacionales:

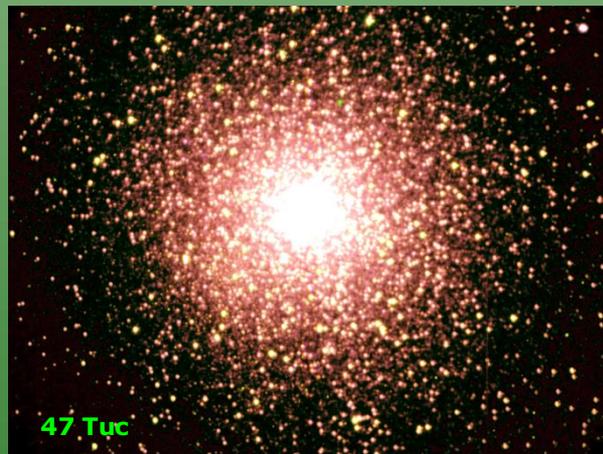
- ◆ Observaciones en HI muestran un disco de gas a una distancia de entre unos pocos centenares de pc y 1 kpc. El plano que lo contiene no coincide con el de la Galaxia y los movimientos son muy excéntricos.
- ◆ También se han observado lóbulos dentro del kpc central con tamaños de 10 a 200 pc. Podría ser material eyectado o material que cae.
- ◆ Se observan filamentos curvados que sugieren la presencia de un campo magnético muy intenso.
- ◆ Observaciones de alta resolución en radio (VLA) revelan un disco circumnuclear de $r_i=2$ y $r_o=8$ pc, desalineado con el plano galáctico, más fino en el interior (0.5 pc) que en el exterior (2 pc), con decenas de miles de M_\odot , temperaturas de 300-400 K y densidades de $1.5-5.0 \times 10^{10} \text{ m}^{-3}$ (lejos de los típicos valores de 15 K y 10^8 m^{-3} en nubes del disco).
- ◆ Sgr A West muestra emisión rayos-X.



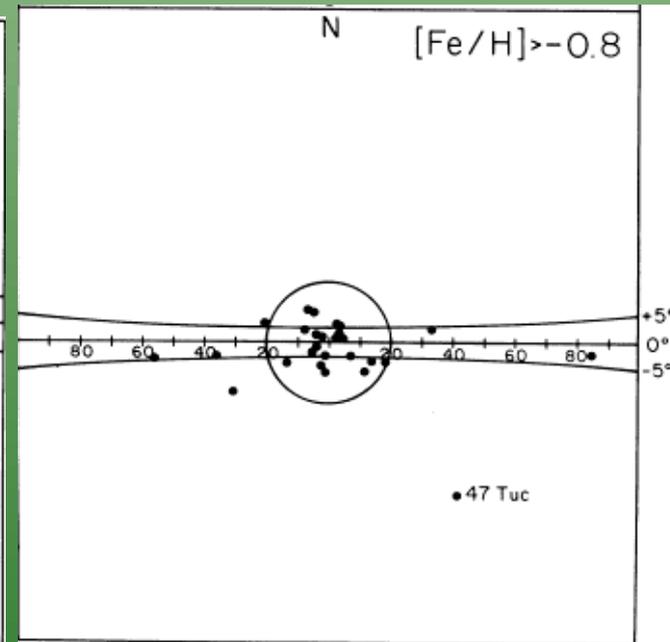
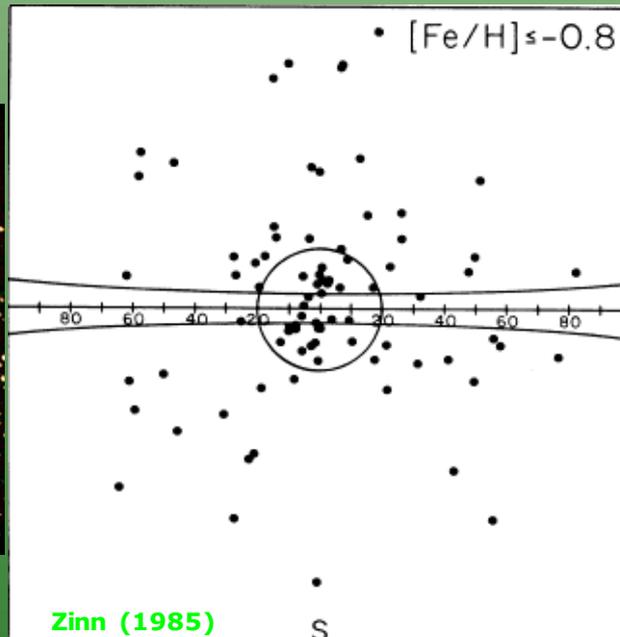
2.2.Morfología de la Vía Láctea: halo

El **halo (o halo estelar)** es una componente muy extensa ($r=25$ kpc) donde se encuentran cúmulos globulares (población II) con estrellas viejas y metalicidades bajas. La masa está en torno a $10^9 M_{\odot}$. La geometría es esferoidal (también se conoce al halo+bulbo como la componente esferoidal de una galaxia). Las órbitas de las estrellas son muy excéntricas y fuera del plano de la Galaxia.

El halo tiene poco gas, el que hay no es muy denso y es una zona muy influenciada por la interacción con satélites de la Vía Láctea. Esto implica que algunas de las nubes gaseosas y cúmulos globulares no "pertenecen" a la Galaxia, sino a galaxias cercanas en interacción con la Nuestra.



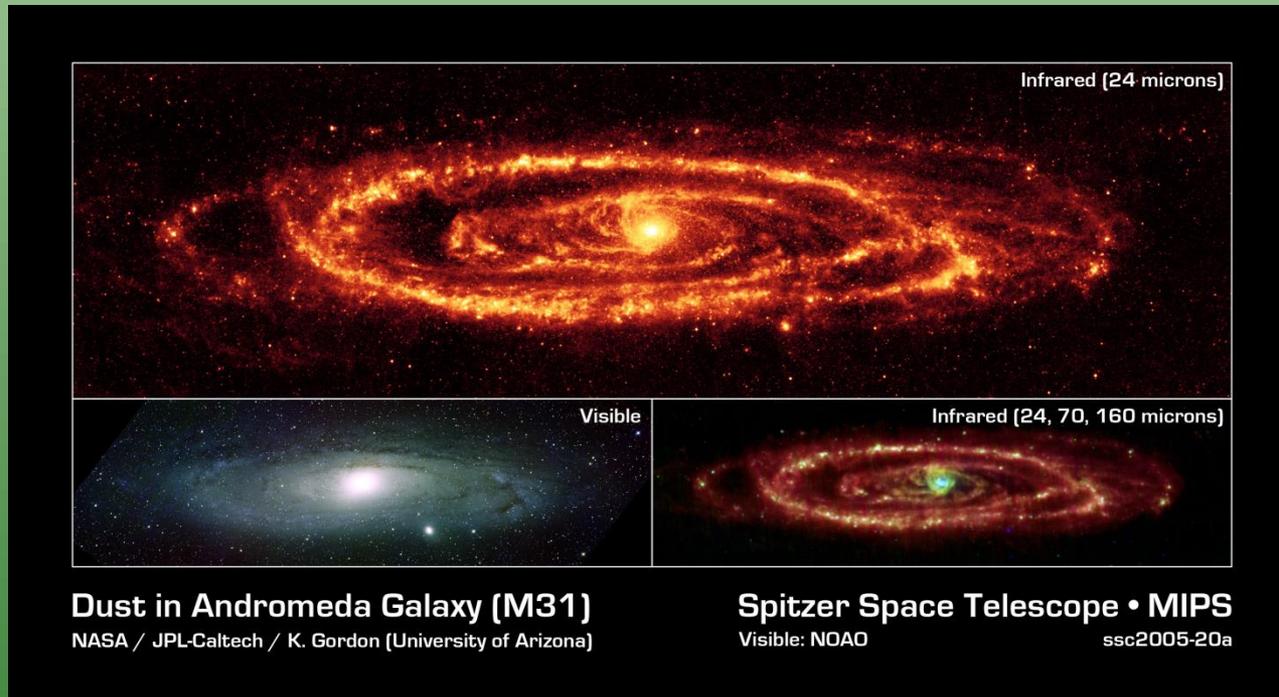
47 Tuc



2.2. Morfología de la Vía Láctea: disco

El **disco** de la Vía Láctea es una estructura aplanada de unos 15 kpc de radio, que contiene gran cantidad de estrellas ($10^{11} M_{\odot}$), gas molecular y atómico ($10^{10} M_{\odot}$) y polvo ($10^8 M_{\odot}$), caliente y frío.

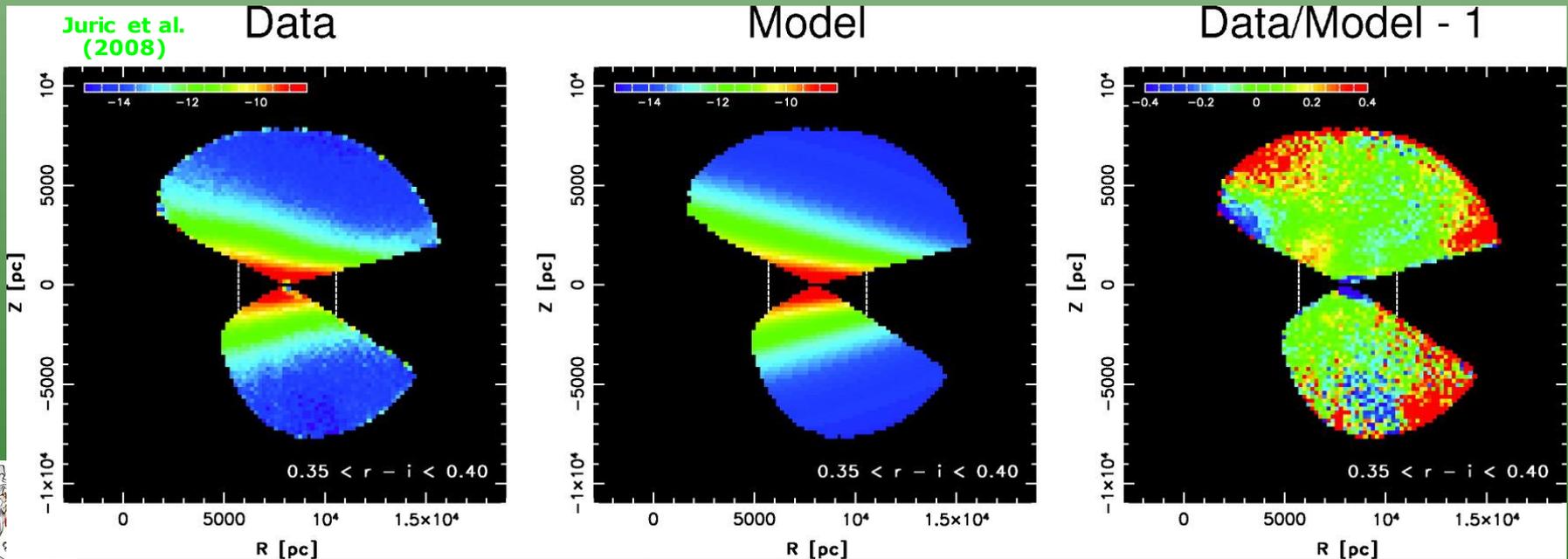
El disco se divide en una componente fina (1 kpc de grosor) y otra gruesa (2 kpc de grosor). La densidad de estrellas se suele parametrizar con la función: $n(z) = n_0 e^{-|z|/h}$.



2.2. Morfología de la Vía Láctea: disco

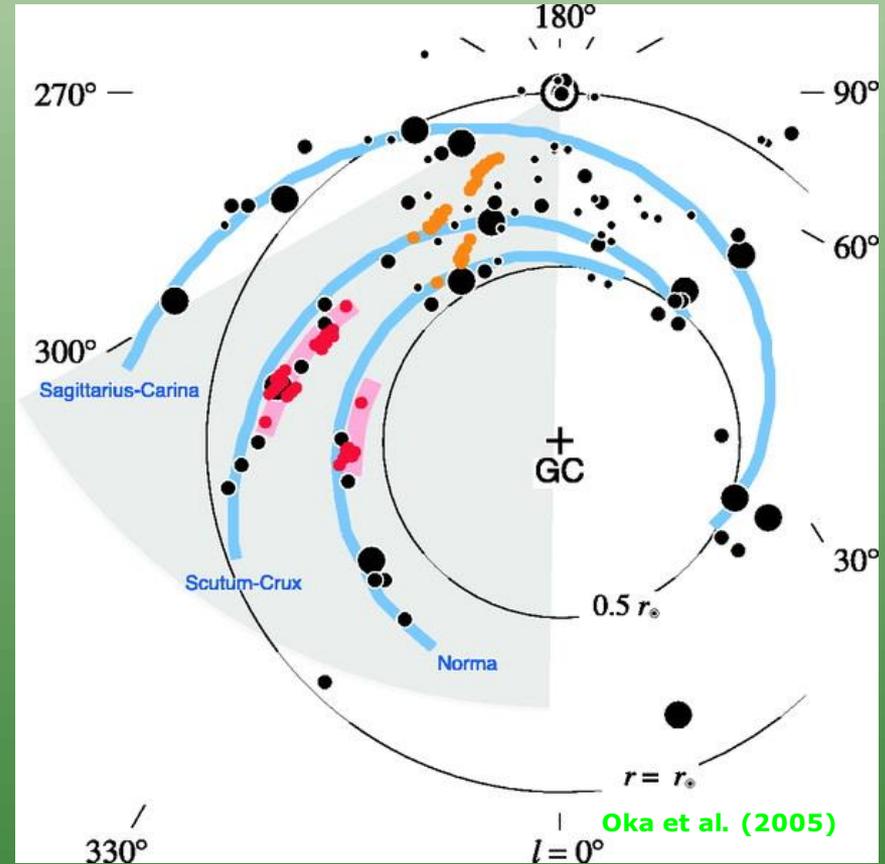
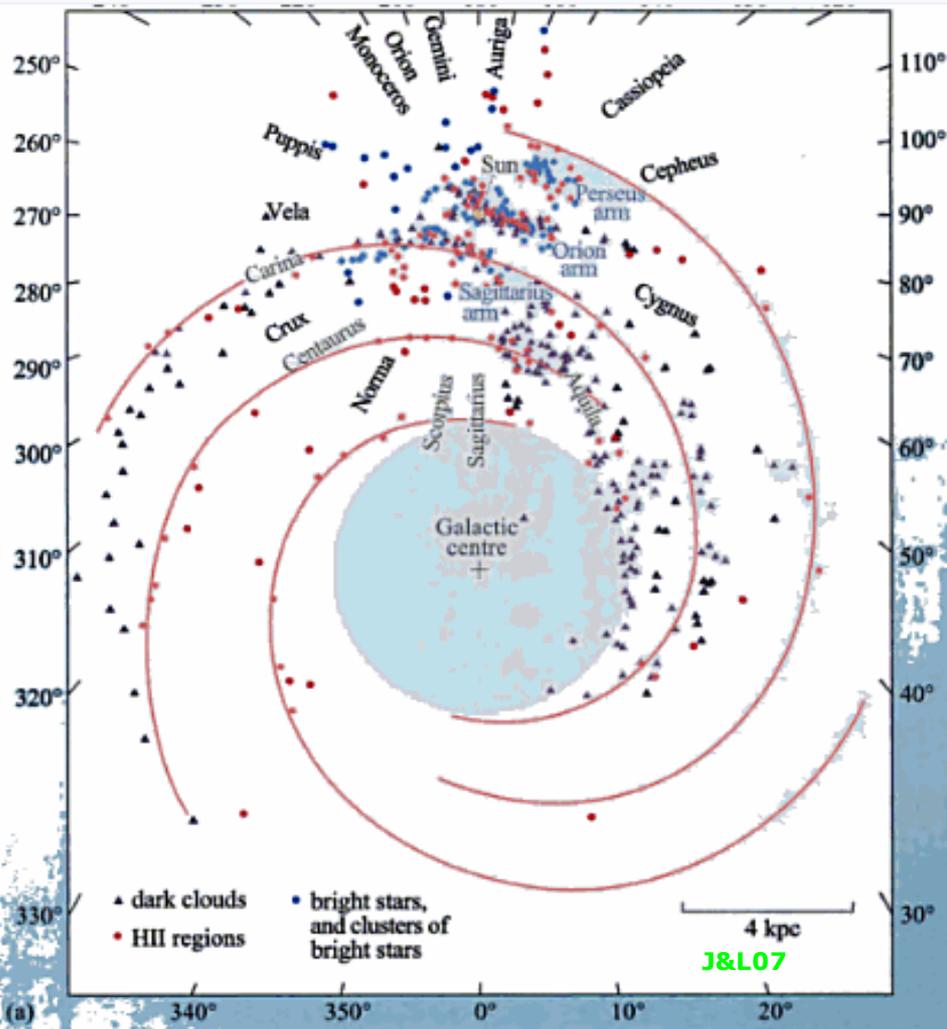
El **disco fino** alberga estrellas de tipos GKM como el sol en una escala de unos $h \sim 300$ pc y estrellas OB con una escala de $h = 50-60$ pc. Se cree que las estrellas se forman en el centro del disco y emigran hacia zonas más altas. El disco fino tiene también una gran cantidad de gas ($h \sim 150$ pc). El **disco grueso** tiene estrellas GK con $h = 1.0-1.3$ kpc, con una densidad más baja que la del disco fino (menos de un 10%). La edad media de las estrellas del disco fino es menor que las del disco grueso, y su metalicidad media es mayor.

El Sol está a una distancia galactocéntrica de 8.0-8.5 kpc (Eisenhauer 2003), $z = 30$ pc.

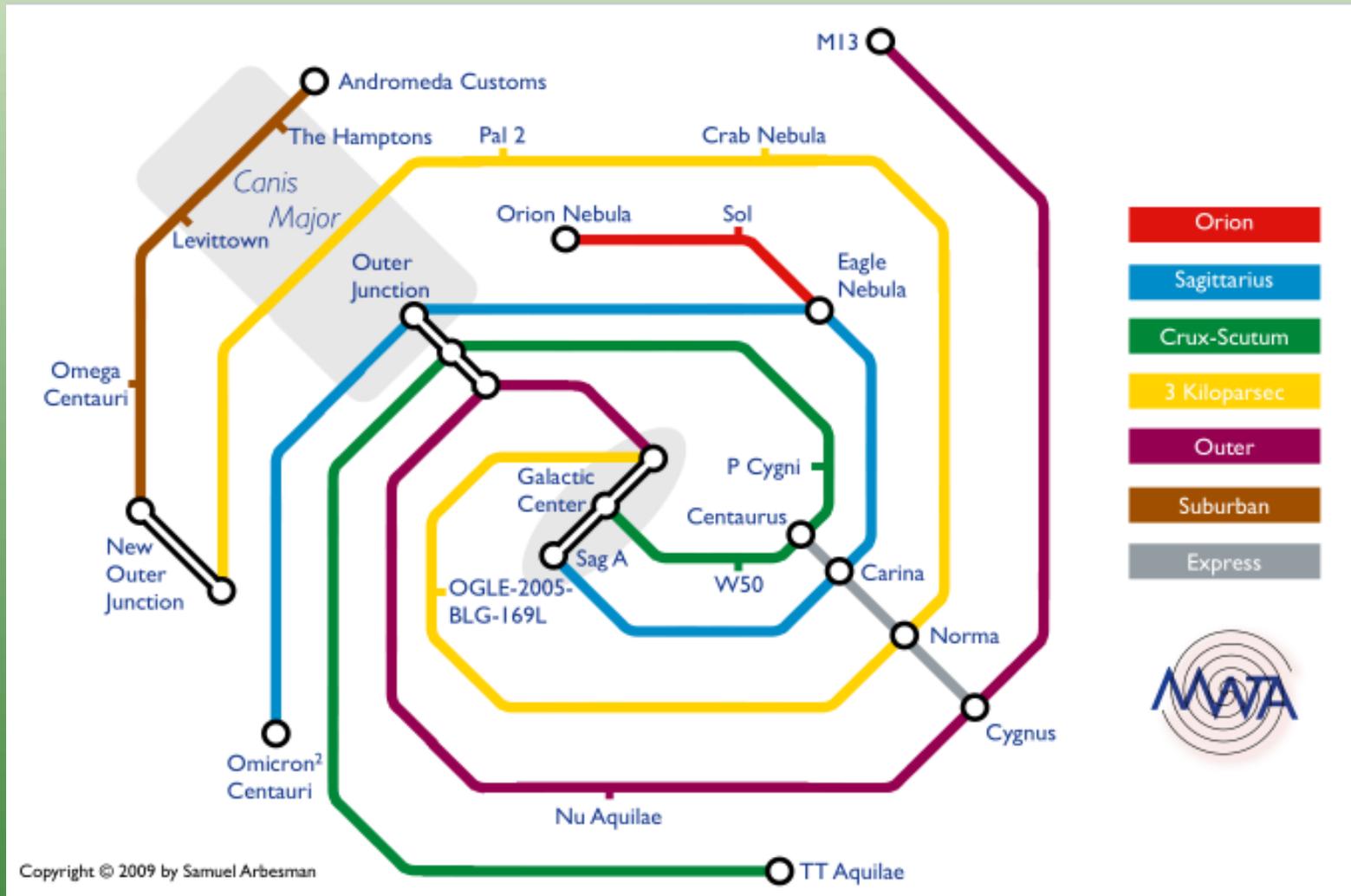


2.2.Morfología de la Vía Láctea: brazos

El disco en sí tiene estructura interna, predominado los brazos espirales, que contienen nubes de gas, regiones HII, asociaciones OB, bandas de polvo, alabeo externo,...



2.2.Morfología de la Vía Láctea: brazos



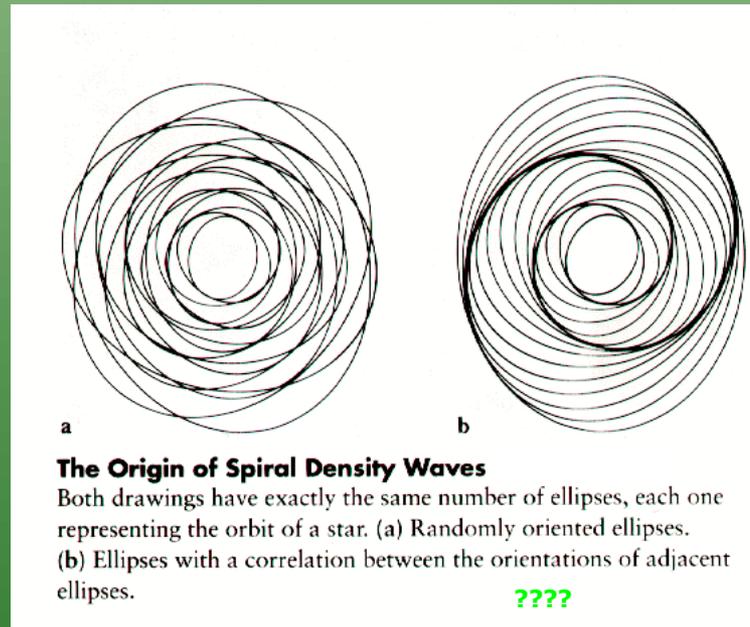
- Orion
- Sagittarius
- Crux-Scutum
- 3 Kiloparsec
- Outer
- Suburban
- Express



2.2.Morfología de la Vía Láctea: brazos

La **estructura espiral** del disco se observa a través de asociaciones de estrellas brillantes (OB), regiones HII, y, de manera más fiable, con mapas de HI (no afectados de extinción). Se suele hablar de 3-4 brazos espirales: Sagitario-Carina, Orión-Cygnus y Perseo. El Sol estaría en el de Orión, que podría no ser un brazo sino una extensión de otro.

La teoría más aceptada para explicar la presencia de brazos espirales es la denominada de ondas de densidad. Los brazos espirales se formarían en un disco con una rotación diferencial en la que algunas zonas tendrían densidades superiores a la de regiones adyacentes. Estos patrones de movimiento podrían subsistir en determinadas condiciones.



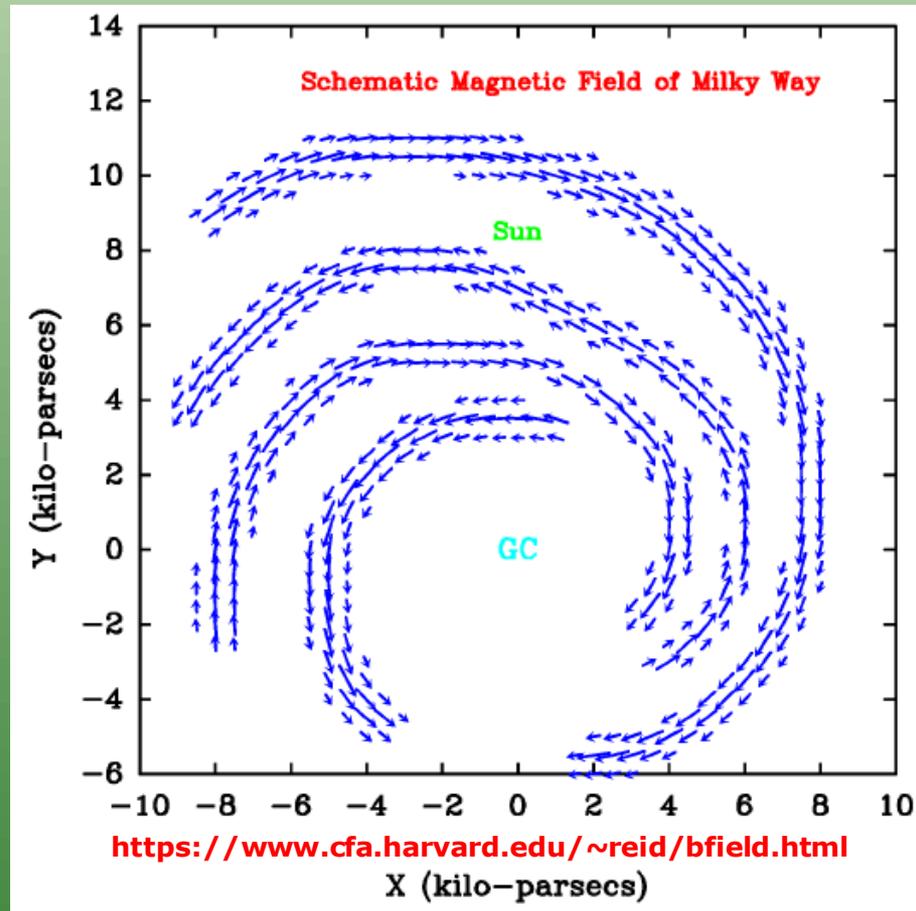
2.3. Parámetros físicos de la Vía Láctea

La Vía Láctea tiene un potente campo magnético. Éste se puede medir por el efecto Zeeman (división de línea espectral por el campo) o por la polarización de la radiación visible y radio resultado de la reflexión por parte de granos de polvo alineados con el campo.

En el disco, el campo parece seguir los brazos espirales y tiene una intensidad de unos 0.4 nT.

El campo en el halo puede ser un orden de magnitud más débil, mientras que en el centro de la Galaxia puede llegar a 1 μ T.

Aunque estos valores del campo magnético no son muy altos comparado con la superficie terrestre (50 μ T), puede tener un efecto importante en la formación de la MW. Esto se puede comprobar calculando la densidad de energía del campo, que es comparable a la energía térmica del gas en el disco.



2.3. Parámetros físicos de la Vía Láctea

Densidad de energía térmica del gas en el disco de la MW (grosor 160 pc, tamaño 8 kpc, temperatura del gas 15 K).

El número de átomos de hidrógeno en el disco es:

$$N_H = \frac{M_{gas}}{m_H} = \frac{0.5 \times 10^{10} M_{\odot} \times 1.99 \times 10^{30} \text{ kg}}{1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}} \sim 6 \times 10^{66} \text{ átomos}$$

Asumiendo que cada átomo tiene una energía:

$$E(1H) = \frac{3}{2} kT; E_T = \frac{3}{2} N_H kT$$

$$u_T = \frac{E_T}{V} = \frac{E_T}{\pi R_d^2 h} = \frac{\frac{3}{2} \times 6 \times 10^{66} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 15}{\pi (8 \text{ kpc})^2 \times 160 \text{ pc}}$$

$$u_T = 2 \times 10^{-15} \text{ Jm}^{-3}$$

Densidad de energía del campo magnético en los brazos espirales, con $B=0.4$ nT:

$$u_m = \frac{B^2}{2\mu_0} \Rightarrow u_m = 6.3 \times 10^{-14} \text{ Jm}^{-3} \quad \frac{u_m}{u_T} \sim 30 \text{ !!!!}$$



2.3. Parámetros físicos de la Vía Láctea

Component	Shape	Dimensions	Baryonic matter		Mass/ M_{\odot}	Motion
			Stellar	Gaseous		
Dark-matter halo	oblate spheroid?	>50 kpc?	?	?	$\sim 10^{12}$?
disc	flat disc	radius ~ 15 kpc				
thin disc	spiral arms	thickness ~ 1 kpc	Pop. I > ~ 0.0005 to 0.04 ; O, B, stars in spiral arms	dense & diffuse clouds; intercloud medium, HII regions	stars $\sim 10^{11}$ gas $\sim 10^{10}$ dust $\sim 10^8$	circular differential rotation; confined to plane of disc
thick disc		thickness ~ 2 kpc	old; intermediate Pop; $Z \sim 0.004$	little or no gas	stars $\sim 10^{10}$	almost circular, scale height ~ 1 kpc
Spheroid			Pop. II			
stellar halo	oblate spheroid $c/a \sim 0.8$	radius > 20 kpc	$Z < 0.002$	very little gas; high- velocity clouds?	stars $\sim 10^9$ gas negligible	elliptical orbits, often highly inclined to Galactic plane
Bulge	triaxial ellipsoid (bar)	radius 3 kpc	$Z \sim 0.02$, $2.6 \times 10^6 M_{\odot}$ BH at centre		stars+gas $\sim 10^{10}$	
hot corona				tenuous hot gas		

J&L07



2.3. Parámetros físicos de la Vía Láctea

C&O07

	Disks		
	Neutral Gas	Thin Disk	Thick Disk
M ($10^{10} M_{\odot}$)	0.5^a	6	0.2 to 0.4
L_B ($10^{10} L_{\odot}$) ^b	—	1.8	0.02
M/L_B (M_{\odot}/L_{\odot})	—	3	—
Radius (kpc)	25	25	25
Form	e^{-z/h_z}	e^{-z/h_z}	e^{-z/h_z}
Scale height (kpc)	< 0.1	0.35	1
σ_w (km s^{-1})	5	16	35
[Fe/H]	$> +0.1$	-0.5 to $+0.3$	-2.2 to -0.5
Age (Gyr)	$\lesssim 10$	8^c	10^d



2.3. Parámetros físicos de la Vía Láctea

C&O07

Spheroids			
	Central Bulge ^e	Stellar Halo	Dark-Matter Halo
M ($10^{10} M_{\odot}$)	1	0.3	190_{-170}^{+360f}
L_B ($10^{10} L_{\odot}$) ^b	0.3	0.1	0
M/L_B (M_{\odot}/L_{\odot})	3	~ 1	—
Radius (kpc)	4	> 100	> 230
Form	boxy with bar	$r^{-3.5}$	$(r/a)^{-1} (1 + r/a)^{-2}$
Scale height (kpc)	0.1 to 0.5 ^g	3	170
σ_w (km s^{-1})	55 to 130 ^h	95	—
[Fe/H]	-2 to 0.5	< -5.4 to -0.5	—
Age (Gyr)	< 0.2 to 10	11 to 13	~ 13.5



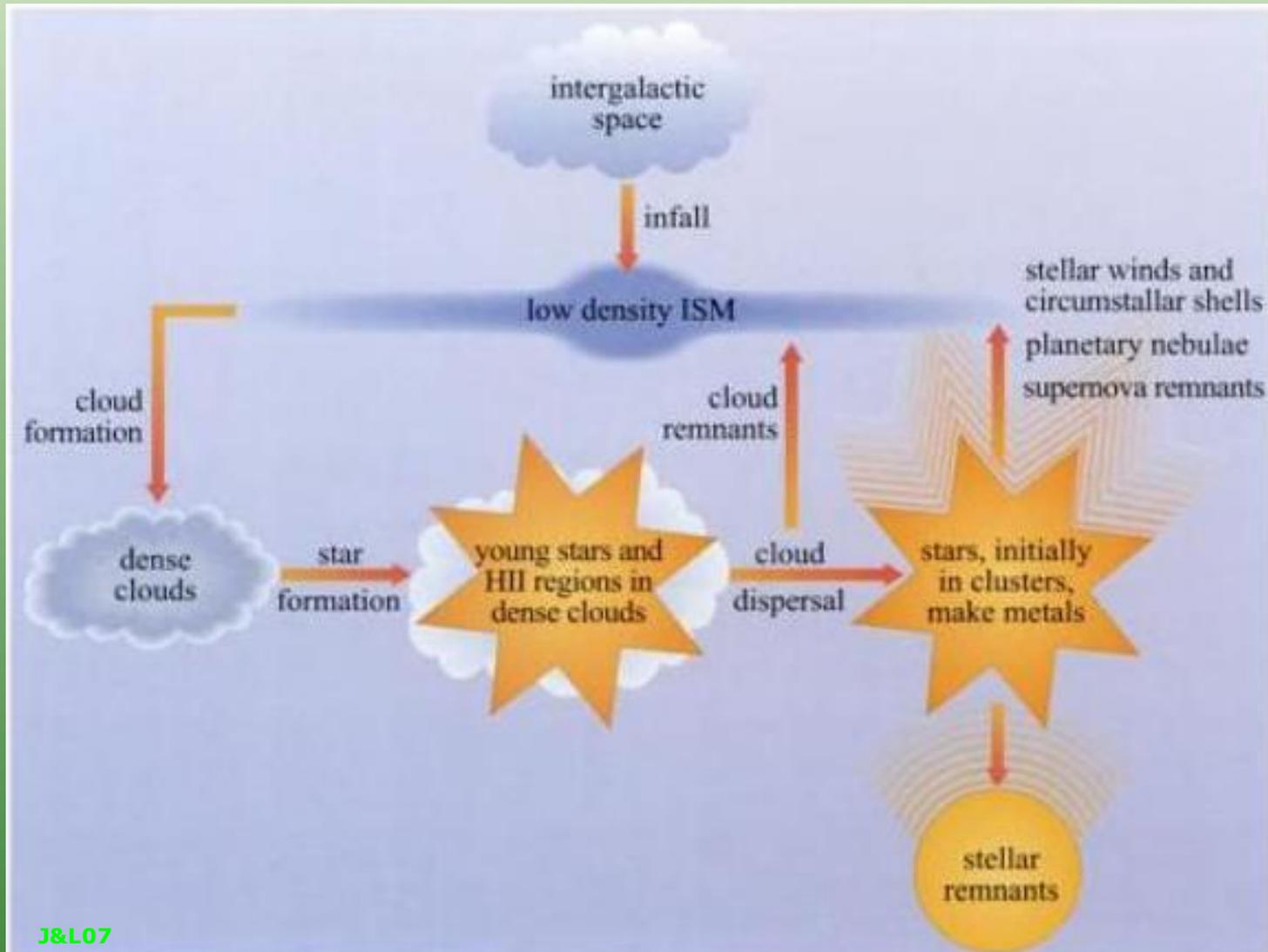
2.3. Parámetros físicos de la Vía Láctea

C&O07

- a* $M_{\text{dust}}/M_{\text{gas}} \simeq 0.007$.
- b* The total luminosity of the Galaxy is $L_{B,\text{tot}} = 2.3 \pm 0.6 \times 10^{10} L_{\odot}$,
 $L_{\text{bol,tot}} = 3.6 \times 10^{10} L_{\odot}$ ($\sim 30\%$ in IR).
- c* Some open clusters associated with the thin disk may exceed 10 Gyr.
- d* Major star formation in the thick disk may have occurred 7–8 Gyr ago.
- e* The mass of the black hole in Sgr A* is $M_{\text{bh}} = 3.7 \pm 0.2 \times 10^6 M_{\odot}$.
- f* $M = 5.4_{-3}^{+0.2} \times 10^{11} M_{\odot}$ within 50 kpc of the center.
- g* Bulge scale heights depend on age of stars: 100 pc for young stars, 500 pc for old stars.
- h* Dispersions increase from 55 km s^{-1} at 5 pc to 130 km s^{-1} at 200 pc.



2.4. Formación y evolución de la Vía Láctea



Resumen

- **Componentes de una galaxia: estrellas, gas, polvo, materia oscura.**
- **Propiedades básicas de una galaxia y sus componentes: tamaño, forma, masa, luminosidad, edad, metalicidad, composición,...**
- **Los distintos componentes se encuentran en distintas estructuras dinámicas: bulbo, disco, brazos, barra, núcleo. Cada estructura cuenta con subestructuras.**
- **Las componentes dinámicas tienen poblaciones estelares diferentes, lo que revela su importancia en la evolución Galáctica.**
- **Nuestro conocimiento sobre las galaxias se basa en observaciones de distinta naturaleza (fotométricas, espectroscópicas, dinámicas) tomadas a distintas longitudes de onda, según la componente galáctica que nos interese y efectos como la extinción por polvo interestelar.**
- **La propia Vía Láctea revela que hay materia que se escapa a la detección en el espectro electromagnético (materia oscura), o tenemos todavía dificultades serias en entender la física a gran escala.**
- **El análisis de los datos puede ser tan fácil como contar estrellas o aplicar la ley de Newton, pero la interpretación global y la pregunta sobre el origen de las galaxias es extremadamente difícil.**