

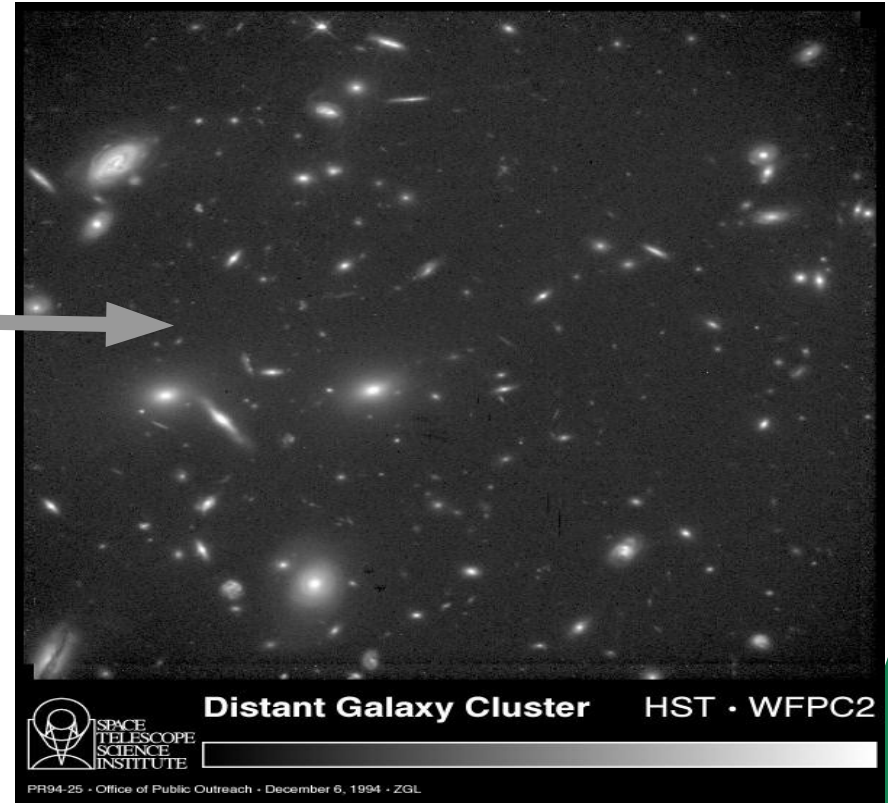
Función de Luminosidad / Masa

Las galaxias vienen en un rango amplio de luminosidades y masas:

- $M_B = -7.5$ to -22.5
- Masa = $10^7 - 10^{13} M_\odot$

Por ejemplo, si observan cualquier cúmulo de galaxias verán este amplio rango en Luminosidades

La función de masa, es una función que especifica el número de galaxias que existen como función la masa



Función de Luminosidad / Masa

Historia

1930: Edwin Hubble observa que la magnitud aparente de las galaxias se correlaciona bien con redshift (z), es decir las galaxias mas débiles tienden a estar a mayor z

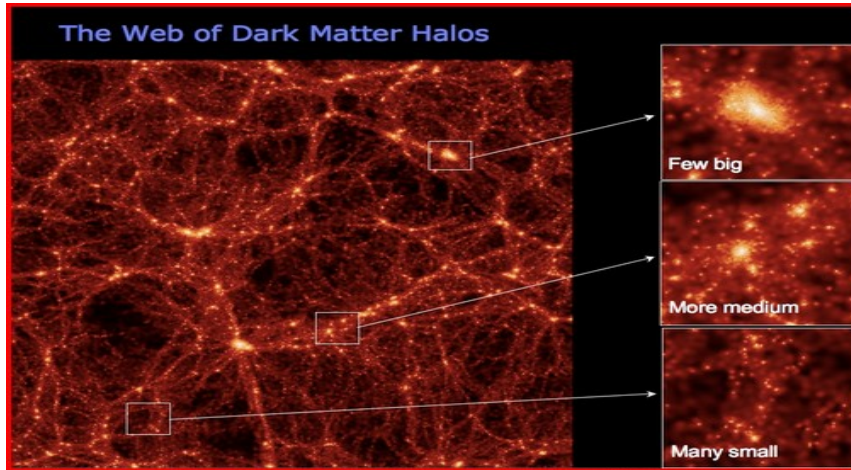
→ Concluye que las galaxias deben tener una distribución gaussiana no muy amplia de magnitudes absolutas.

1942: Fritz Zwicky se da cuenta de que el Grupo Local contiene muchas galaxias enanas de baja luminosidad.

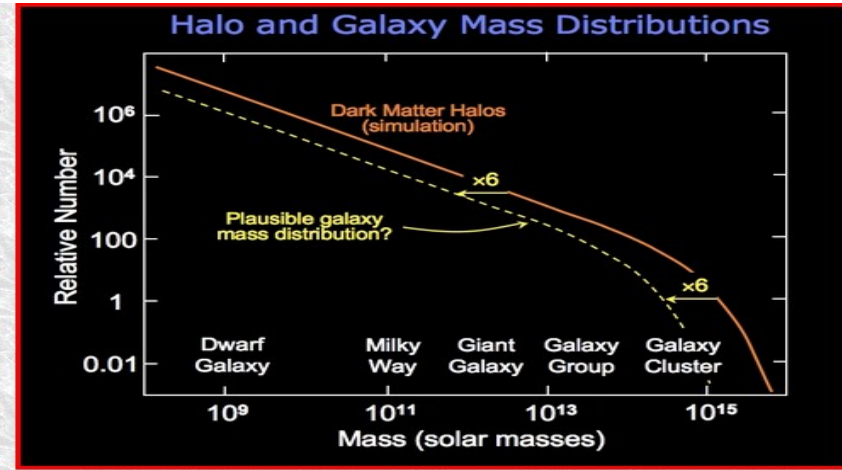
→ Propone una función de luminosidad que crece a bajas luminosidades.

Función de Luminosidad / Masa

En 1974 Press & Schechter calcularon la distribución de masa teórica a partir de una simulación cosmologica de materia oscura



Cosmological dark matter simulation (Virgo Consortium). The final distribution contains many dark matter halos: a few large ones, more medium sized ones, and many small ones.



Resulting mass function of halos (orange solid line). This has a Schechter form, with rising power law to low-mass halos and exponential cut off for high-mass halos.

A plausible guess for the galaxy mass function is simply one galaxy per halo with the cosmic mass ratio of roughly 1/6 (yellow dashed line).

Función de Luminosidad / Masa

- En 1974 Press & Schechter calcularon la distribución de masa teórica a partir de una simulación cosmologica de materia oscura

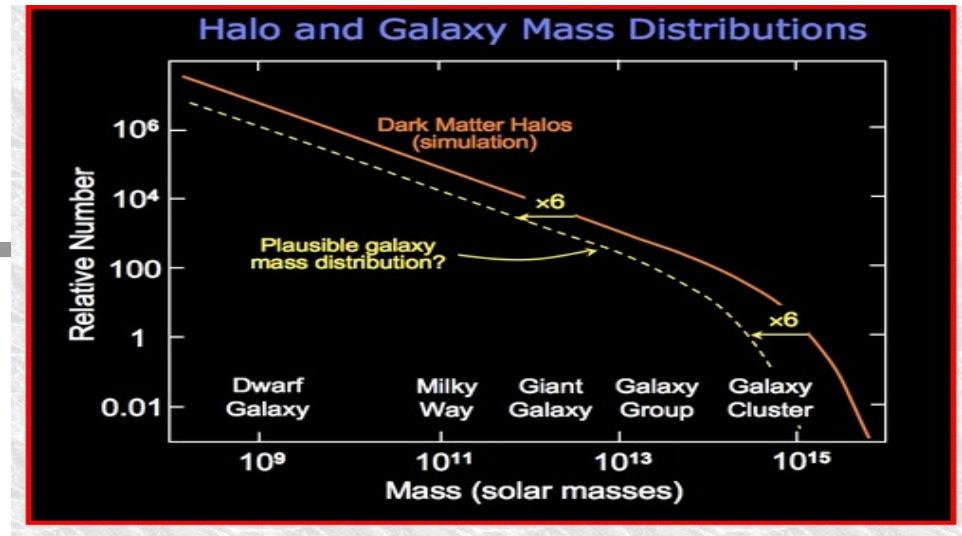
$$\phi(L)dL = \frac{dn(M)}{dM} \frac{dM}{dL} dL$$

Función de Luminosidad: $\Phi(L)$

Mass-to-Light ratio

La función de Schechter (para luminosidad)

$$\Phi(L) dL = n_* \left(\frac{L}{L_*} \right)^\alpha \exp \left(-\frac{L}{L_*} \right) d \left(\frac{L}{L_*} \right)$$



Función de Luminosidad / Masa

La función de Schechter (para luminosidad)

$$\Phi(L) dL = n_* \left(\frac{L}{L_*} \right)^\alpha \exp \left(-\frac{L}{L_*} \right) d \left(\frac{L}{L_*} \right)$$

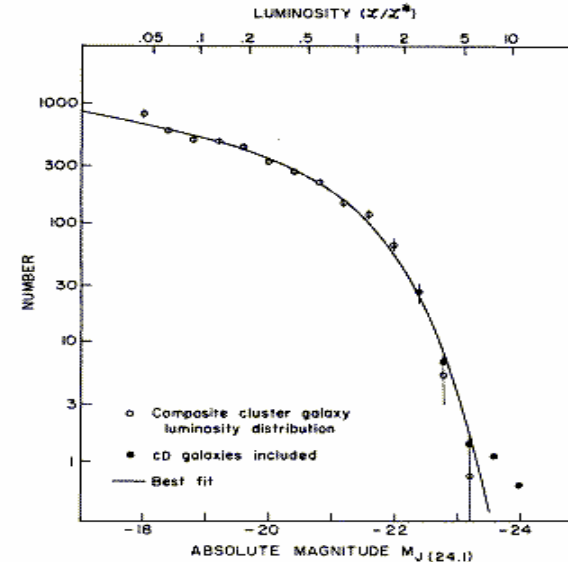
L^* → “the knee”: luminosidad que separa las partes brillantes y débiles

- $L^* \sim 10^{10} L_B h^{-2}$
- $M_B^* \sim -19.7 + 5 \log(h)$

A baja luminosidad ($L < L^*$): “power law” → ($\phi \propto L^\alpha$)
Las galaxias poco luminosas son más comunes

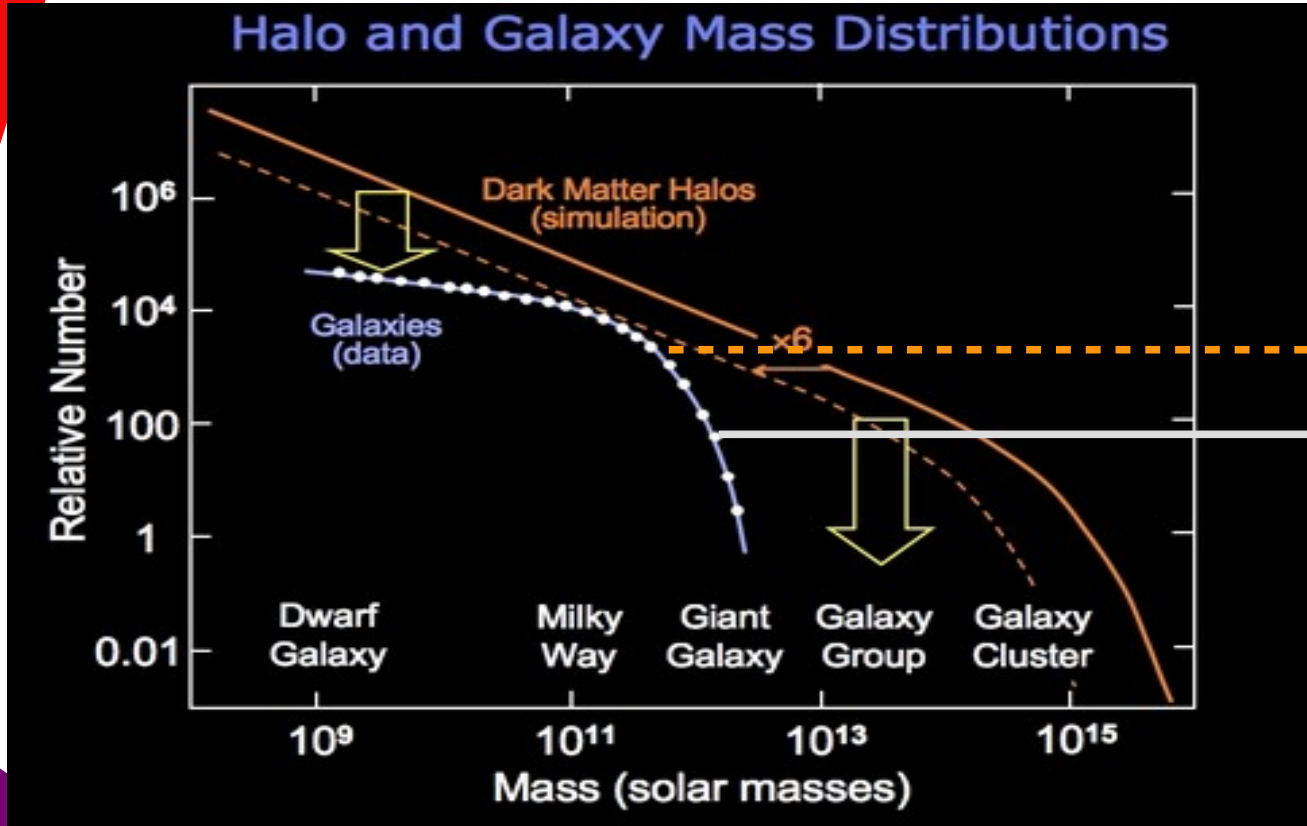
A alta luminosidad ($L > L^*$): “exponential cutoff” → ($\phi \propto e^{-L}$) Las galaxias muy luminosas son bastante raras

n^* → normalización definida para L^*



Schechter's original (1976) fit to 13 Abell clusters.

Función de Luminosidad / Masa

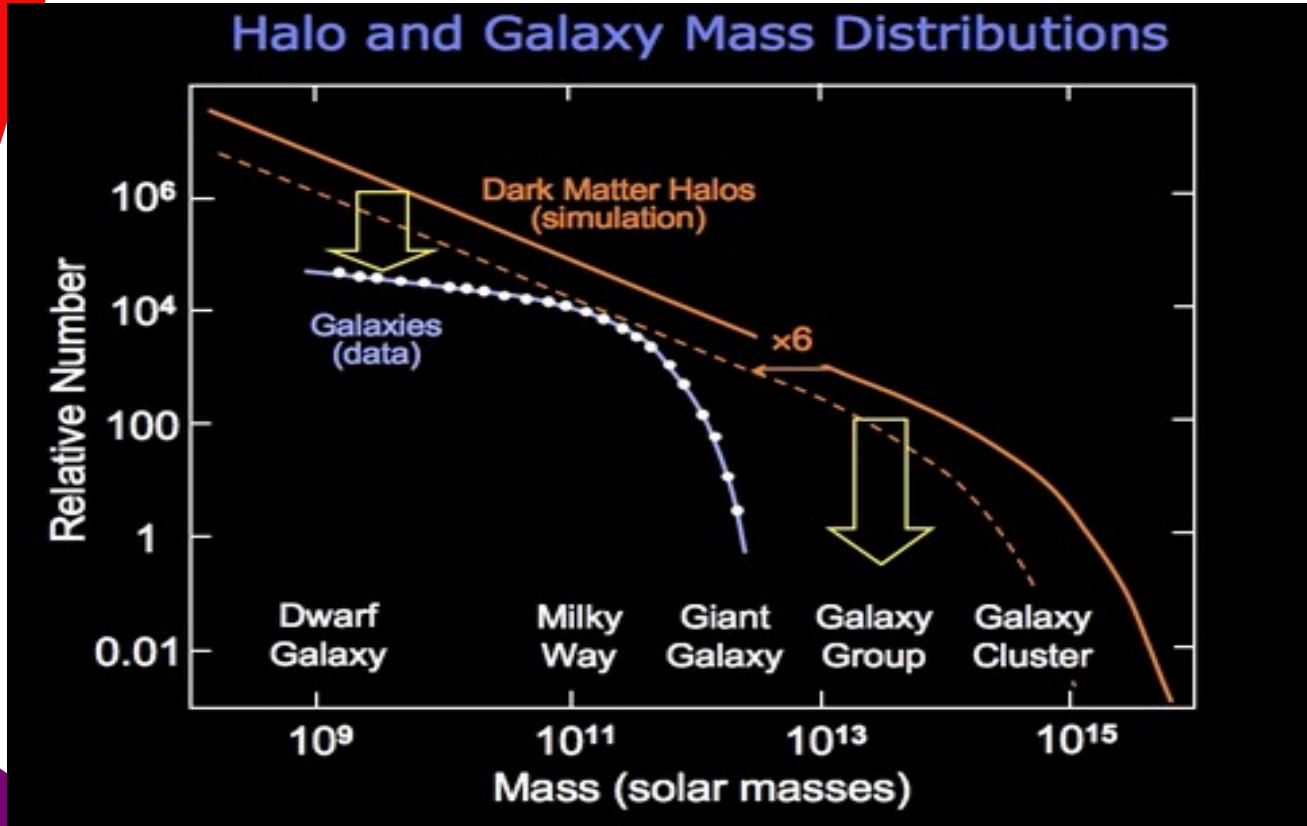


Teoría

Observaciones

¿Por qué la discrepancia?

Función de Luminosidad / Masa



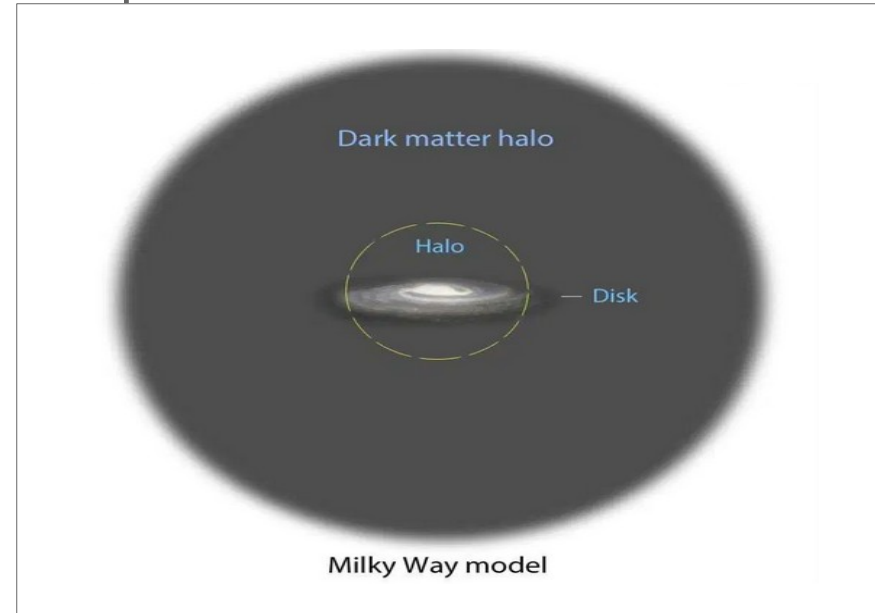
La discrepancia entre la teoría y las observaciones viene de la suposición (un tanto ingenua) de que la masa estelar (bariónica) sigue a la materia oscura, pero de forma diferenciada dependiendo de la masa de materia oscura en el halo.

Función de Luminosidad / Masa

Para hacer galaxias necesitamos al menos dos cosas:

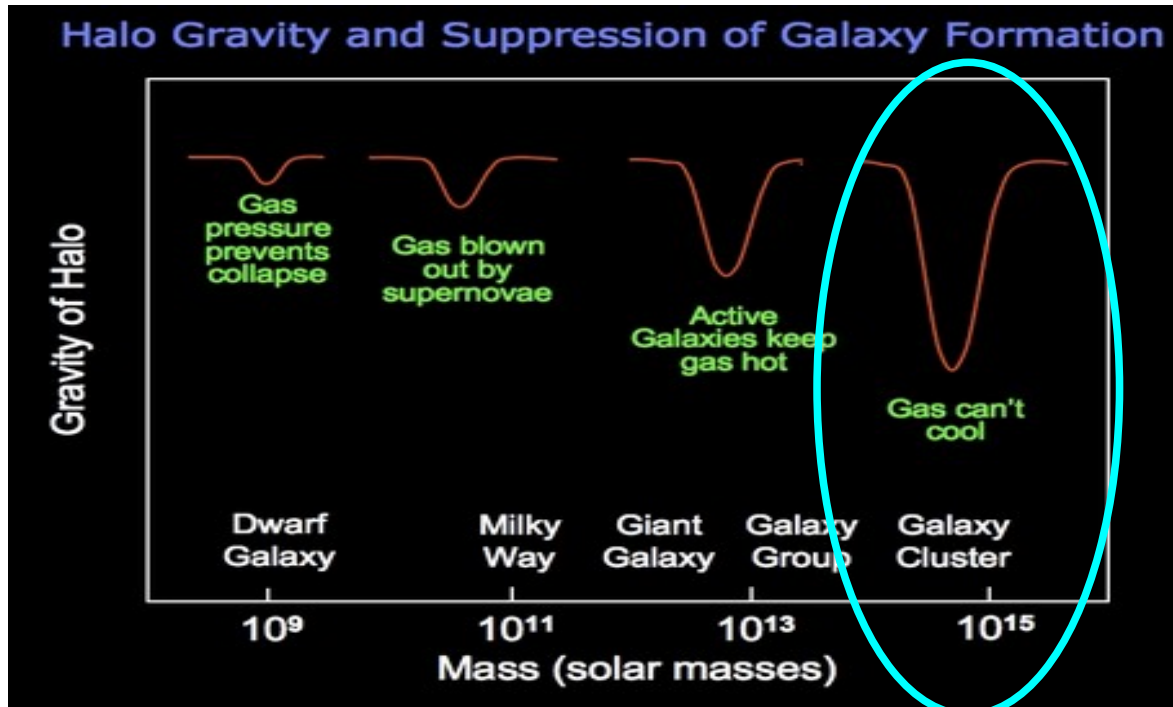
- 1) Formación de halos de materia oscura (relativamente sencillo)
- 2) Los bariones deben caer en estos halos y hacer estrellas (física más complicada)

→ Entonces debemos considerar el punto 2 a ver qué resulta.



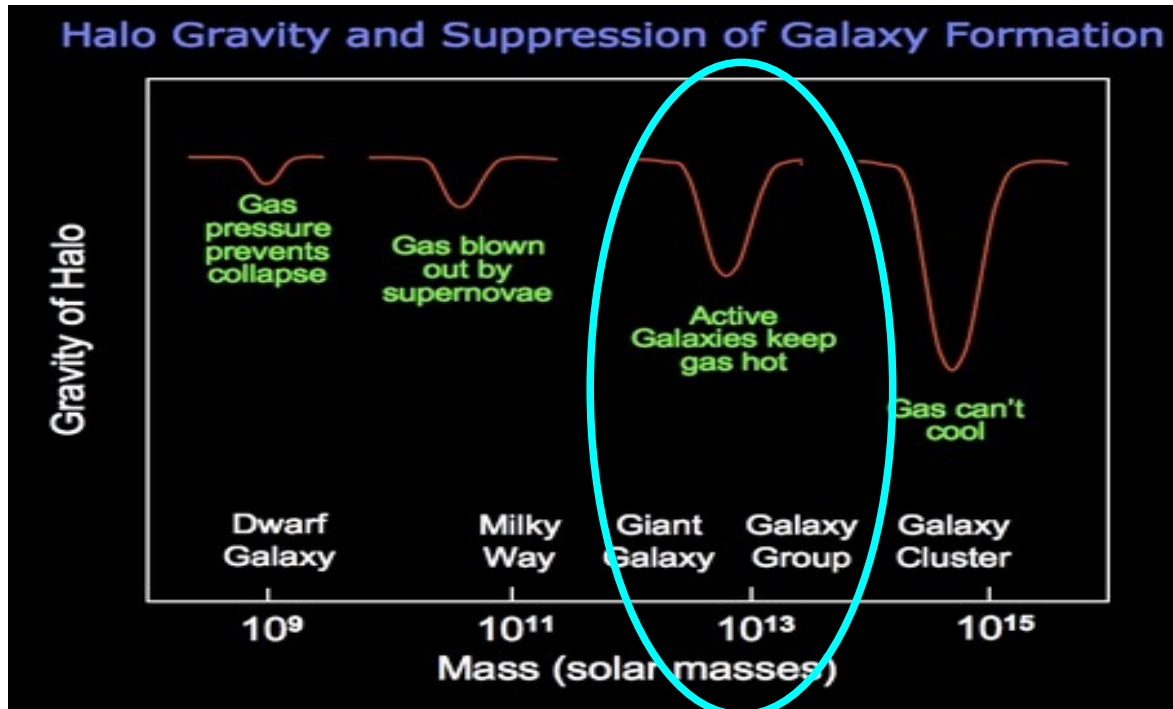
Función de Luminosidad / Masa

- El gas que cae en **halos muy masivos** está demasiado caliente para enfriarse. Éste se convierte en el medio intergaláctico o intercumular



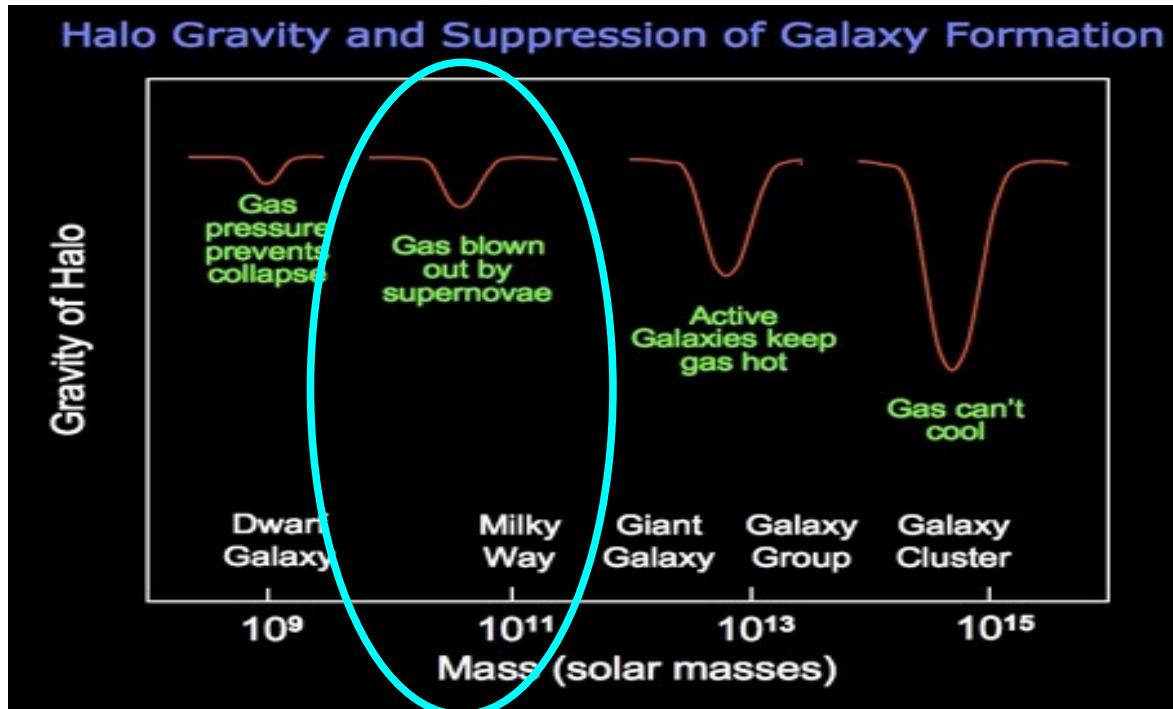
Función de Luminosidad / Masa

- El gas que cae en **halos menos masivos** se mantiene caliente debido a los jets que emiten los núcleos activos de galaxias (AGN)



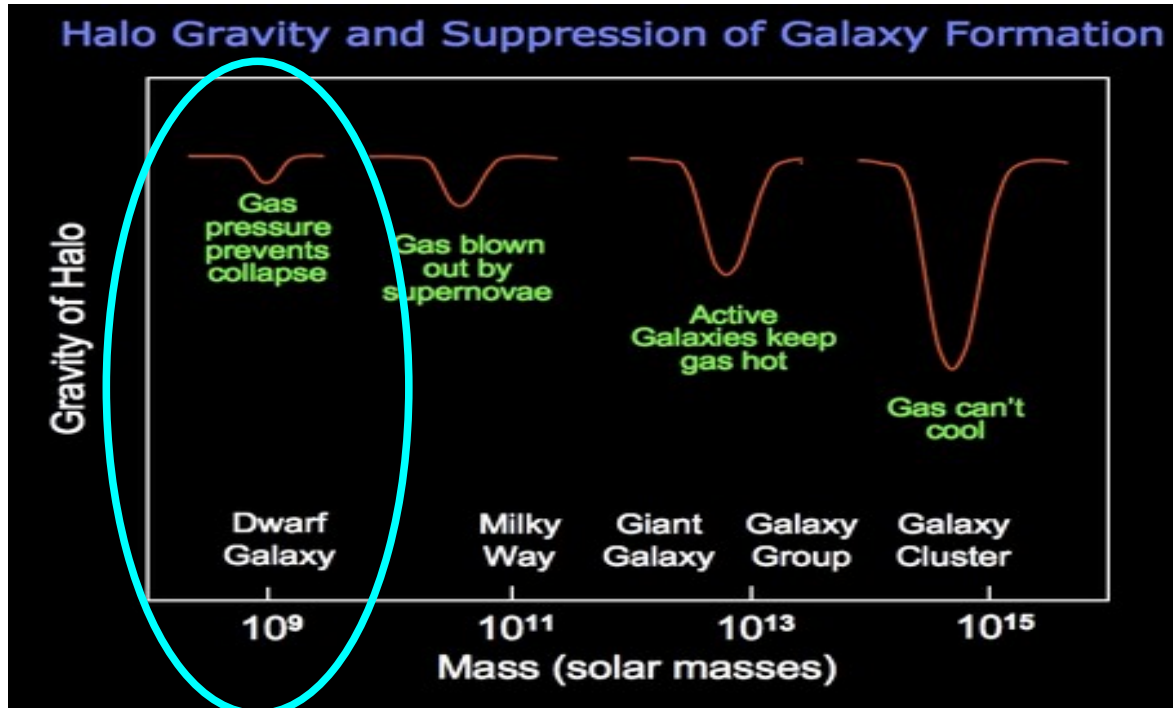
Función de Luminosidad / Masa

- El gas que cae en **halos de baja masa** puede ser fácilmente eyectado por vientos de supernova y vientos estelares



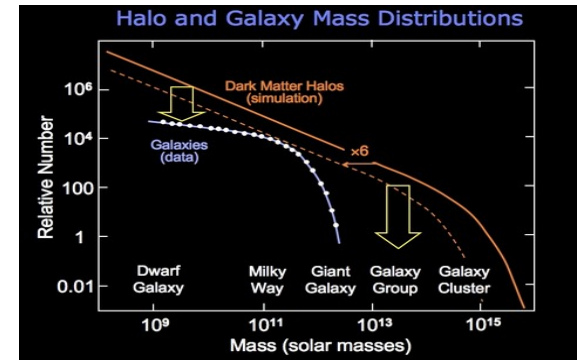
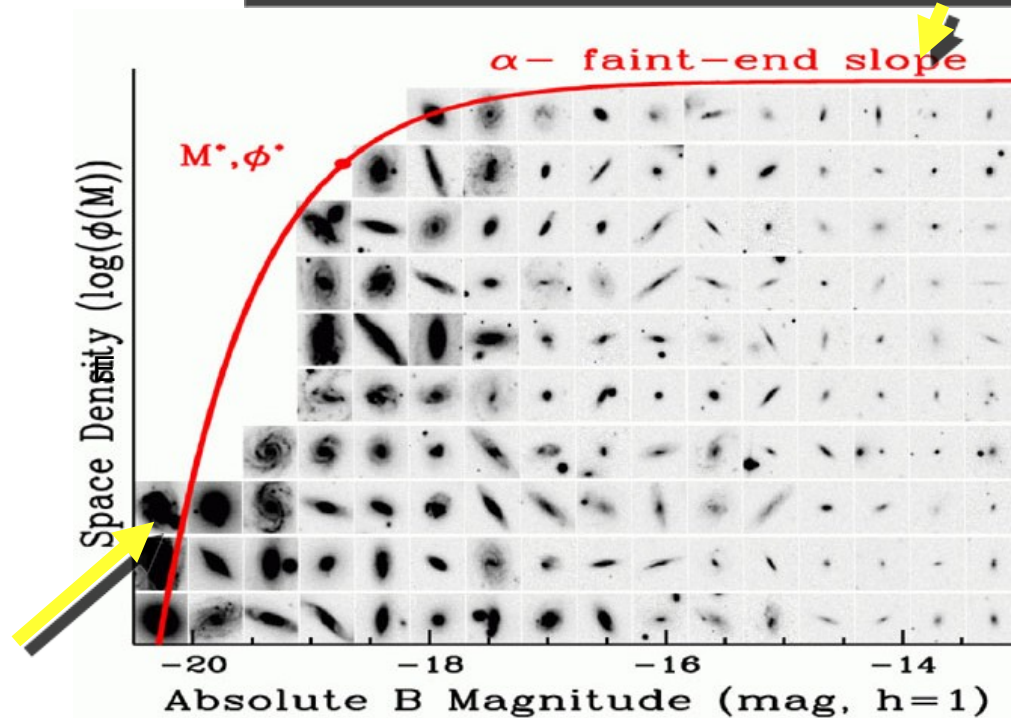
Función de Luminosidad / Masa

- Es difícil para el gas caer en **halos de muy baja masa** debido a su propia presión



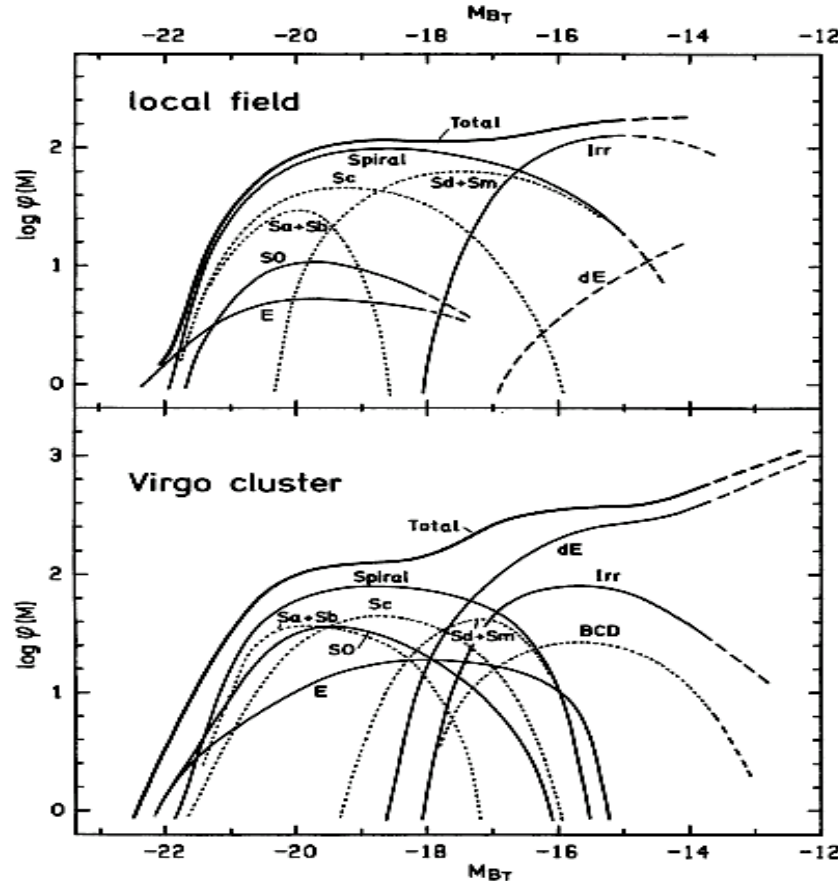
Función de Luminosidad / Masa

“SN feedback” es efectivo en galaxias de baja masa.
Regula la expulsión de gas y el cese de la formación estelar



“AGN feedback” es efectivo en galaxias de alta masa. Evita el enfriamiento del gas por lo que regula la formación de estrellas.

Función de Luminosidad / Masa vs. entorno



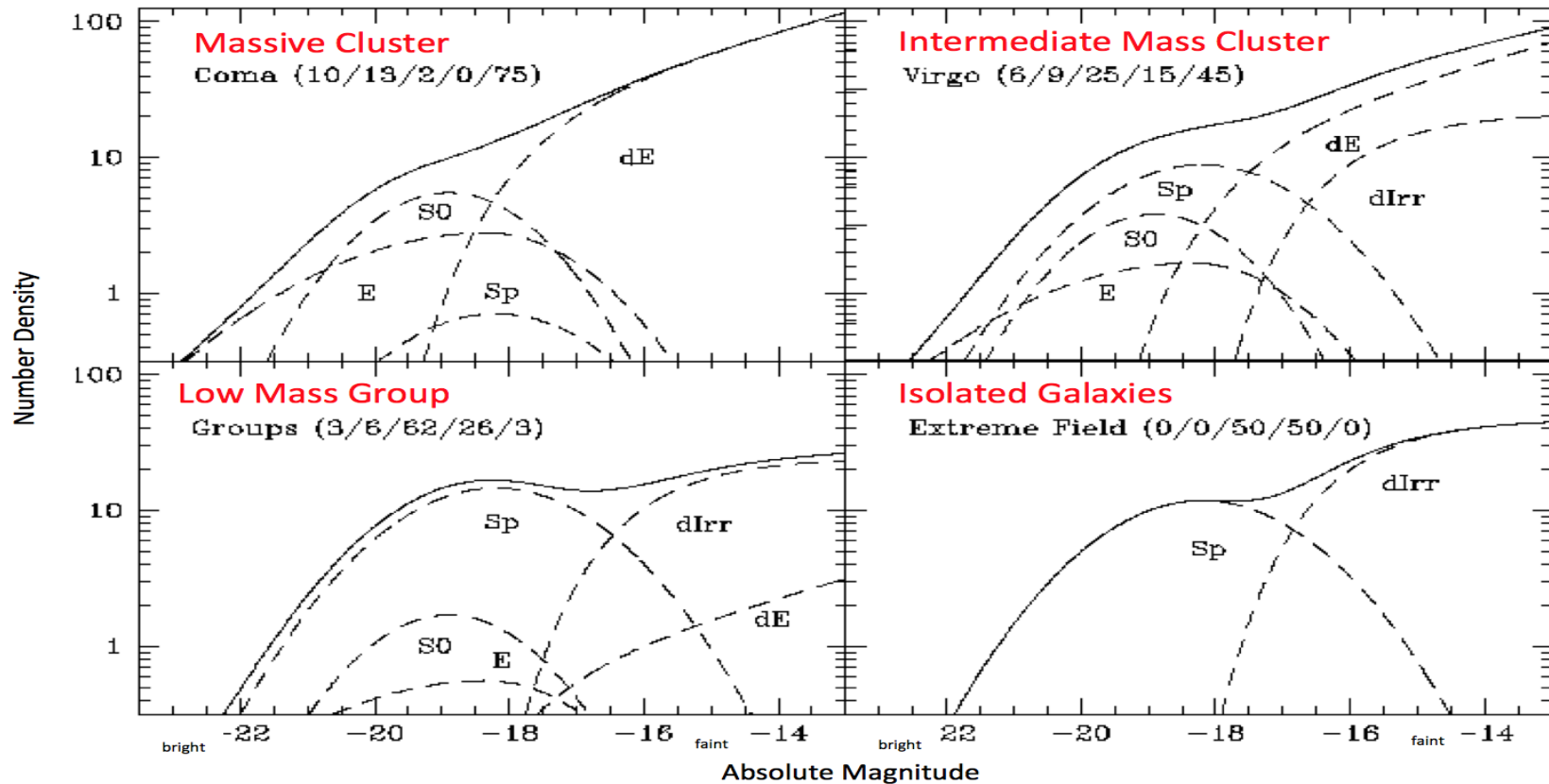
La función de luminosidad para tipos individuales de galaxias no cambia tanto en distintos entornos.

Lo que cambia es la mezcla relativa de cada tipo con el entorno.

La suma de éstas da la FL integrada.

→ Esto refleja la relación morfología densidad

Función de Luminosidad / Masa vs. entorno



La importancia de los “mergers” para galaxias E y cD

- Más del 50% de las **galaxias cD** conocidas presentan múltiples núcleos que se mueven de forma distinta (a $\sim 1000\text{km/s}$) que la galaxia entera ($\sim 300\text{km/s}$)
- Esto se interpreta como el resultado de fusión entre galaxias ya que al estar en el centro de cúmulos de galaxias, la probabilidad de interacción con otras galaxias es alta

56% de las galaxias elípticas (y 32% de las S0) muestran “cáscaras” de baja luminosidad.

Las simulaciones numéricas muestran que éstas resultan de colisión con otras galaxias más chicas



Evolución de galaxias

Observaciones de galaxias han revelado que las galaxias no son sistemas realmente sistemas aislados (“universos islas”) ya que rara vez evolucionan de forma aislada

Casi todas las galaxias pertenecen a **agrupaciones de galaxias**

La distancia entre las galaxias es ~ 100 veces mayor al tamaño de las galaxias.

Cúmulos densamente poblados tienen mayor proporción de galaxias E \rightarrow relacion densidad-morfología



Cúmulo de Coma: uno de los cúmulos más densos conocidos. Contiene miles de galaxias que a su vez contienen miles de millones de estrellas

Evolución de galaxias – Interacciones

Observaciones en radio del gas de las galaxias (HI) han revelado que muchas galaxias tienen discos “doblados” y que muchas tienen “conchas” o “cascaras” de estrellas.

Los discos doblados indican interacción con galaxias más chicas



Fusión de galaxias



Modelando interacción entre galaxias con simulaciones de N-cuerpos

Cuáles son los ingredientes a considerar?

- Materia oscura
- Interacción gravitacional entre estrellas/gas
- Dinámica de la galaxia
- Parámetros de impacto entre las dos galaxias

<https://science.nasa.gov/asset/hubble/galactic-collision-simulation/>

Credit: Summers, Mihos & Hernquist

Evolución de galaxias – colisión de galaxias

Cuando dos galaxias chocan, ¡sus estrellas no se tocan! La probabilidad de colisión entre las estrellas es muy bajo

(TAREA: problema 26.1 del Carroll)

pero la interacción entre estrellas será por medio de la gravedad.

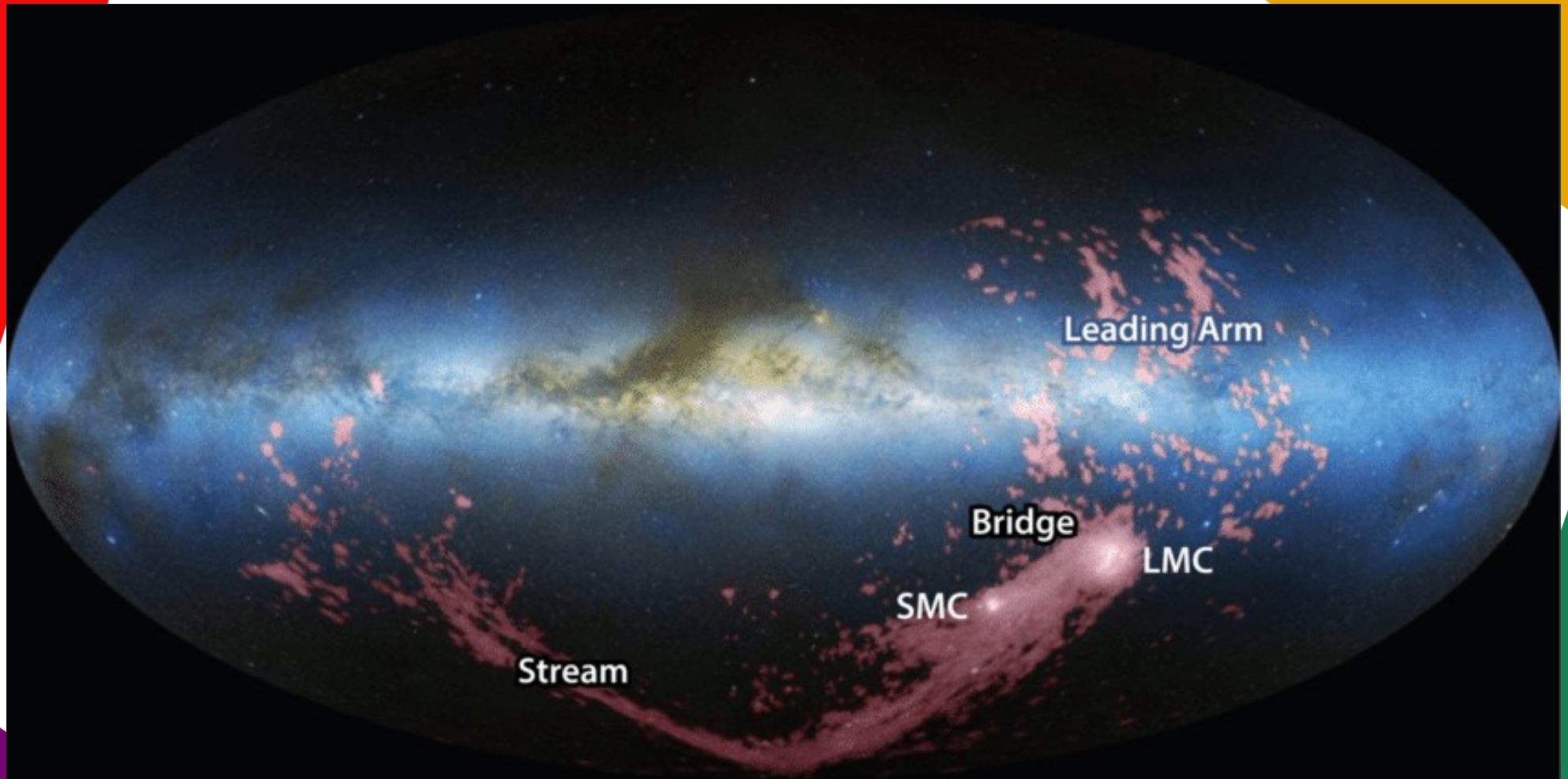
De hecho, lo que choca es el medio interestelar, el cual pierde el momentum angular, cayendo a las regiones más internas, facilitando su compresión y posterior gran formación estelar en una región compacta.



Se aprecian tres galaxias espirales cercanas



Observaciones del gas atómico (HI), revelan una rica interacción entre estas tres galaxias



Observaciones del gas atómico (HI), revelan una rica interacción entre las Nubes de Magallanes y la Vía Láctea



Observaciones del gas atómico (HI), revelan una rica interacción entre las Nubes de Magallanes y la Vía Láctea

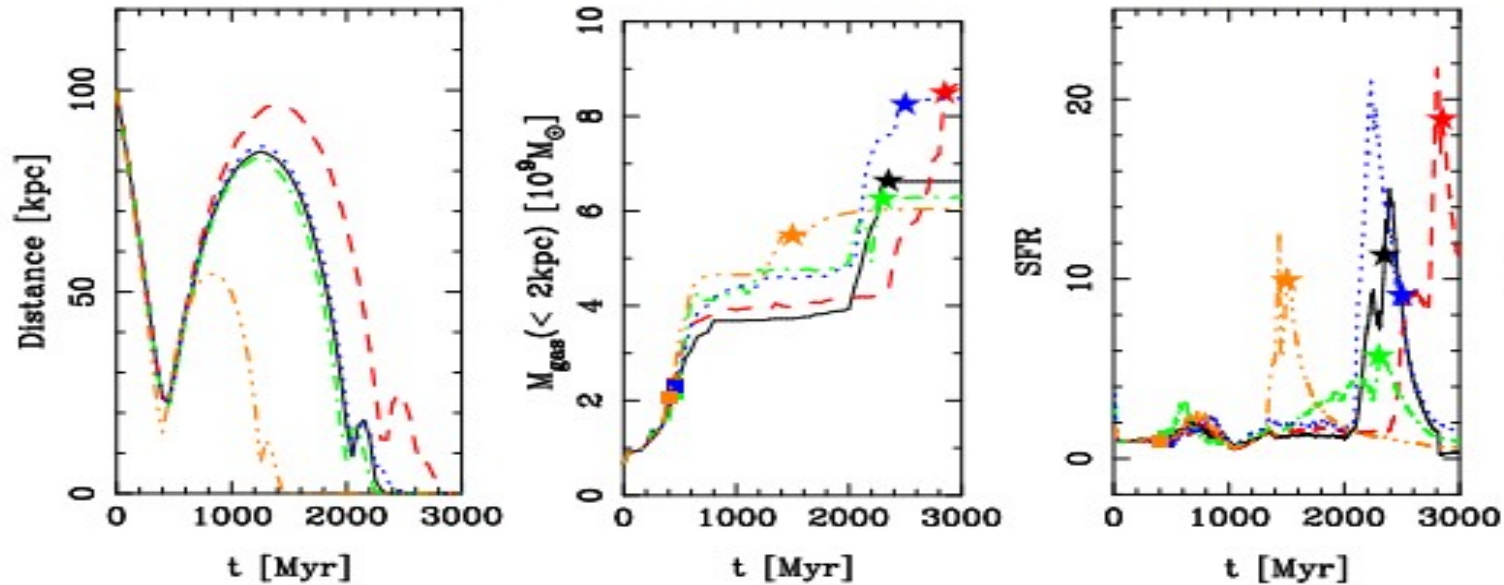
Andrómeda y la Vía Láctea



Evolución de galaxias – consumo de gas

Aunque solo una pequeña porción de gas se pierde en una colisión entre galaxias, mucho del gas se consume formando estrellas. Durante los episodios de formación estelar se pierde masa estelar y supernovas, que generan pérdida de gas por medio de supervientos

Evolución (de una simulación) del gas en un merger rico en gas. Colores=órbitas diferentes (Montuori+2010)

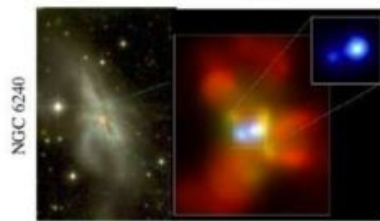


(c) Interaction/"Merger"



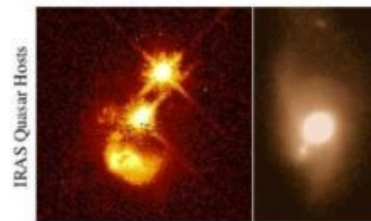
- now within one halo, galaxies interact & lose angular momentum
- SFR starts to increase
- stellar winds dominate feedback
- rarely excite QSOs (only special orbits)

(d) Coalescence/(U)LIRG



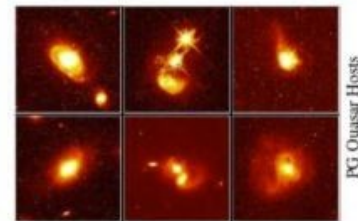
- galaxies coalesce: violent relaxation in core
- gas inflows to center: starburst & buried (X-ray) AGN
- starburst dominates luminosity/feedback, but, total stellar mass formed is small

(e) "Blowout"



- BH grows rapidly: briefly dominates luminosity/feedback
- remaining dust/gas expelled
- get reddened (but not Type II) QSO: recent/ongoing SF in host
- high Eddington ratios
- merger signatures still visible

(f) Quasar



- dust removed: now a "traditional" QSO
- host morphology difficult to observe: tidal features fade rapidly
- characteristically blue/young spheroid

(b) "Small Group"

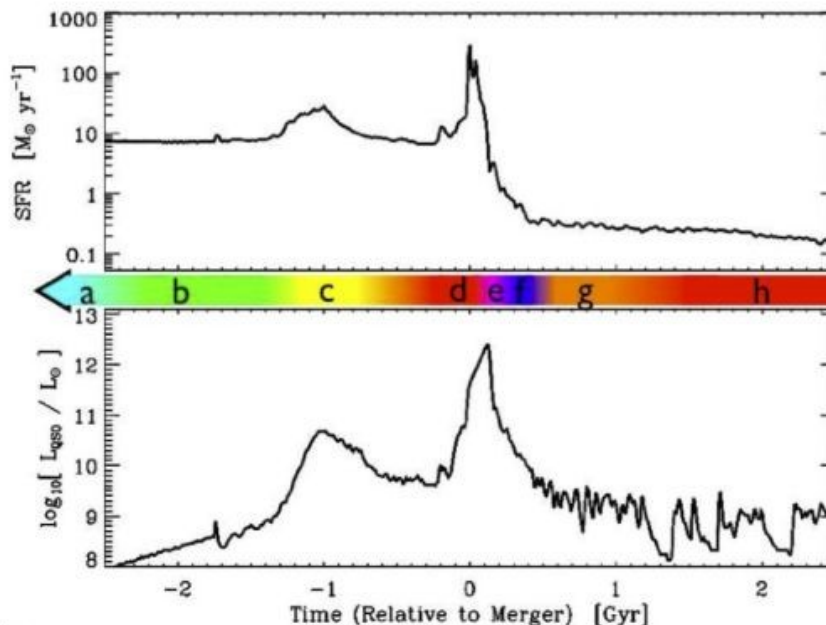


- halo accretes similar-mass companion(s)
- can occur over a wide mass range
- M_{halo} still similar to before: dynamical friction merges the subhalos efficiently

(a) Isolated Disk



- halo & disk grow, most stars formed
- secular growth builds bars & pseudobulges
- "Seyfert" fueling (AGN with $M_{\text{B}} > -23$)
- cannot redden to the red sequence



(g) Decay/K+A



- QSO luminosity fades rapidly
- tidal features visible only with very deep observations
- remnant reddens rapidly (E+A/K+A)
- "hot halo" from feedback
- sets up quasi-static cooling

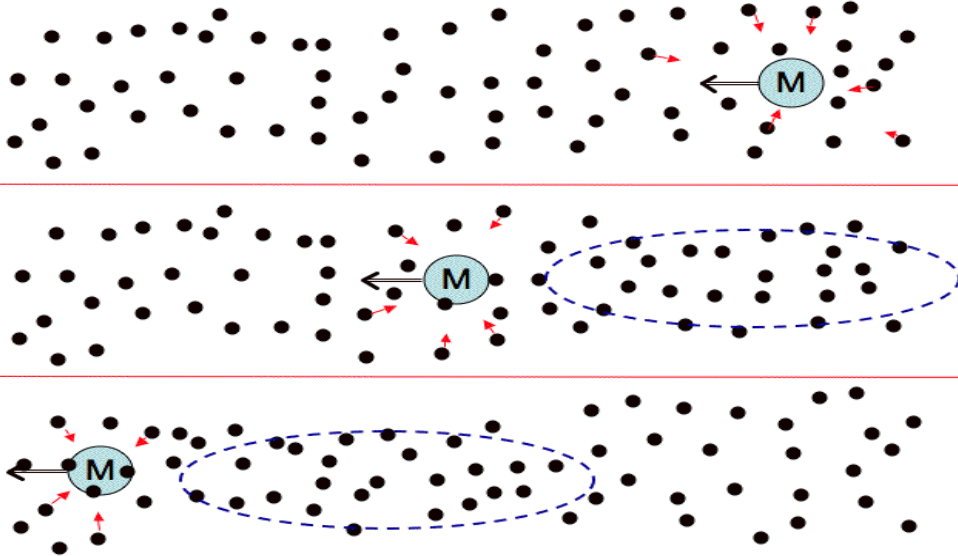
(h) "Dead" Elliptical



- star formation terminated
- large BH/spheroid - efficient feedback
- halo grows to "large group" scales: mergers become inefficient
- growth by "dry" mergers

Fricción Dinámica

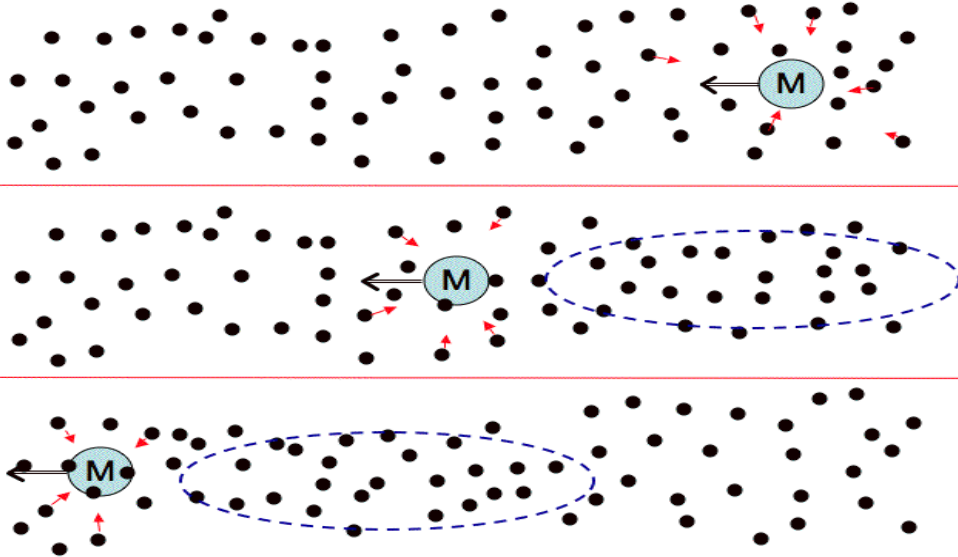
Dynamical Friction I



La fricción dinámica es la pérdida de momentum y energía cinética de cuerpos que se desplazan por medio de interacciones gravitacionales con otros objetos en su entorno.

Fricción Dinámica

Dynamical Friction I



Imaginemos un cúmulo globular de masa M viajando por la galaxia (una distribución dada de estrellas, gas y materia oscura).

Asumamos que la densidad de la galaxia es constante y que la masa de cada objeto en la distribución es $\ll M$, de tal modo que el cúmulo continúa moviéndose en línea recta sin ser desviado.

En ausencia de una colisión el cúmulo globular continuaria moviéndose sin impedimento. Sin embargo, a medida que el cúmulo avanza, otros objetos (ceranos) son atraídos a él

Fricción Dinámica

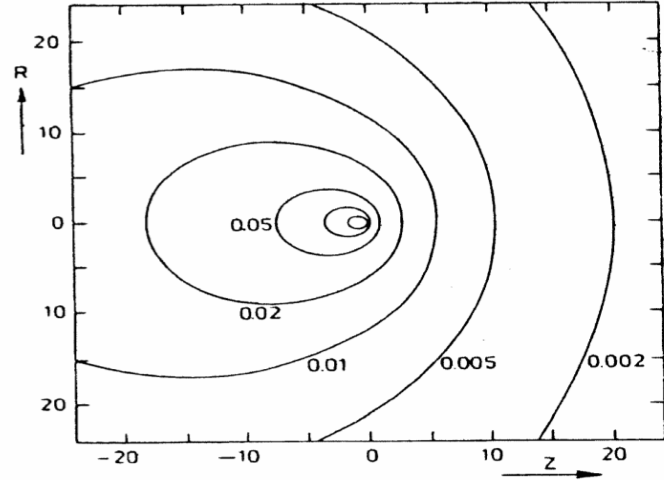


Figure 7-3. A mass travels from left to right at speed v through a homogeneous Maxwellian distribution of stars with one-dimensional dispersion $\sigma = v$. Deflection of the stars by the mass enhances the stellar density downstream more than upstream. Contours of equal stellar density are labeled with the corresponding fractional density enhancement. (From Mulder 1983.)

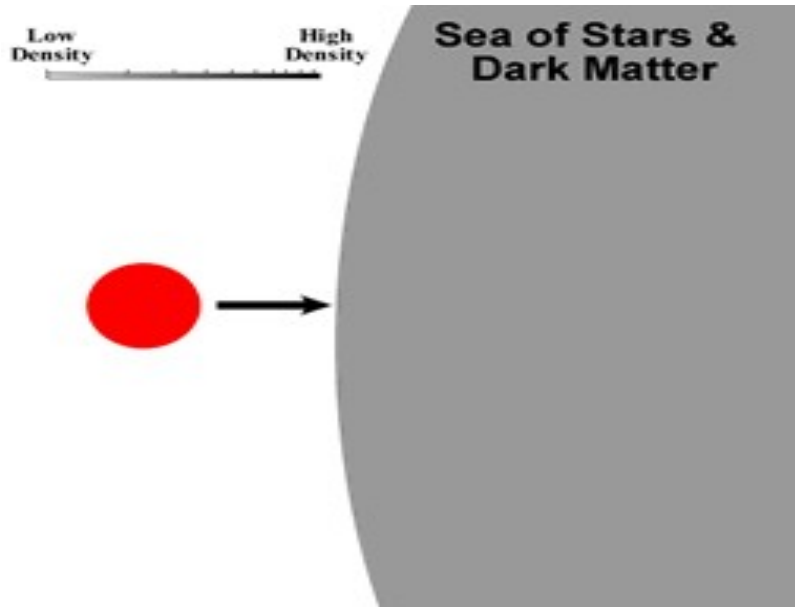
Esto produce una region de mayor densidad en la direccion del movimiento

→ **Fricción dinámica:** fuerza gravitacional neta que se opone al movimiento donde la energía cinética se transfiere de M al material que lo rodea

$$f_d \simeq C \frac{G^2 M^2 \rho}{v_M^2},$$

C es un parámetro que depende de cómo v_M se compara con la velocidad de dispersión del medio que la rodea.

Fricción Dinámica



La fricción dinámica entonces depende de:

- La masa
- La densidad
- La velocidad

Otra forma intuitiva de verlo: la gravedad hará que las partículas más livianas se aceleren y ganen momentum y energía cinética al tratar de acercarse a M. Por conservación de la energía y momentum, el objeto más pesado se desacelerará para compensar.

Fricción Dinámica

Apliquemos esto a una galaxia como la nuestra donde, de acuerdo con las curvas de rotación planas, la densidad viene dada por (c.f. Eq 24.50 del Carrol & Ostlie):

$$\rho(r) = \frac{v_M^2}{4\pi G r^2}.$$

Si ahora insertamos esta expresión en la ecuación de fricción dinámica obtenemos:

$$f_d = C \frac{G^2 M^2 \rho(r)}{v_M^2} = C \frac{G M^2}{4\pi r^2}.$$

Ver Ejemplo 26.1.1

Fricción Dinámica

También afecta a las galaxias satélites

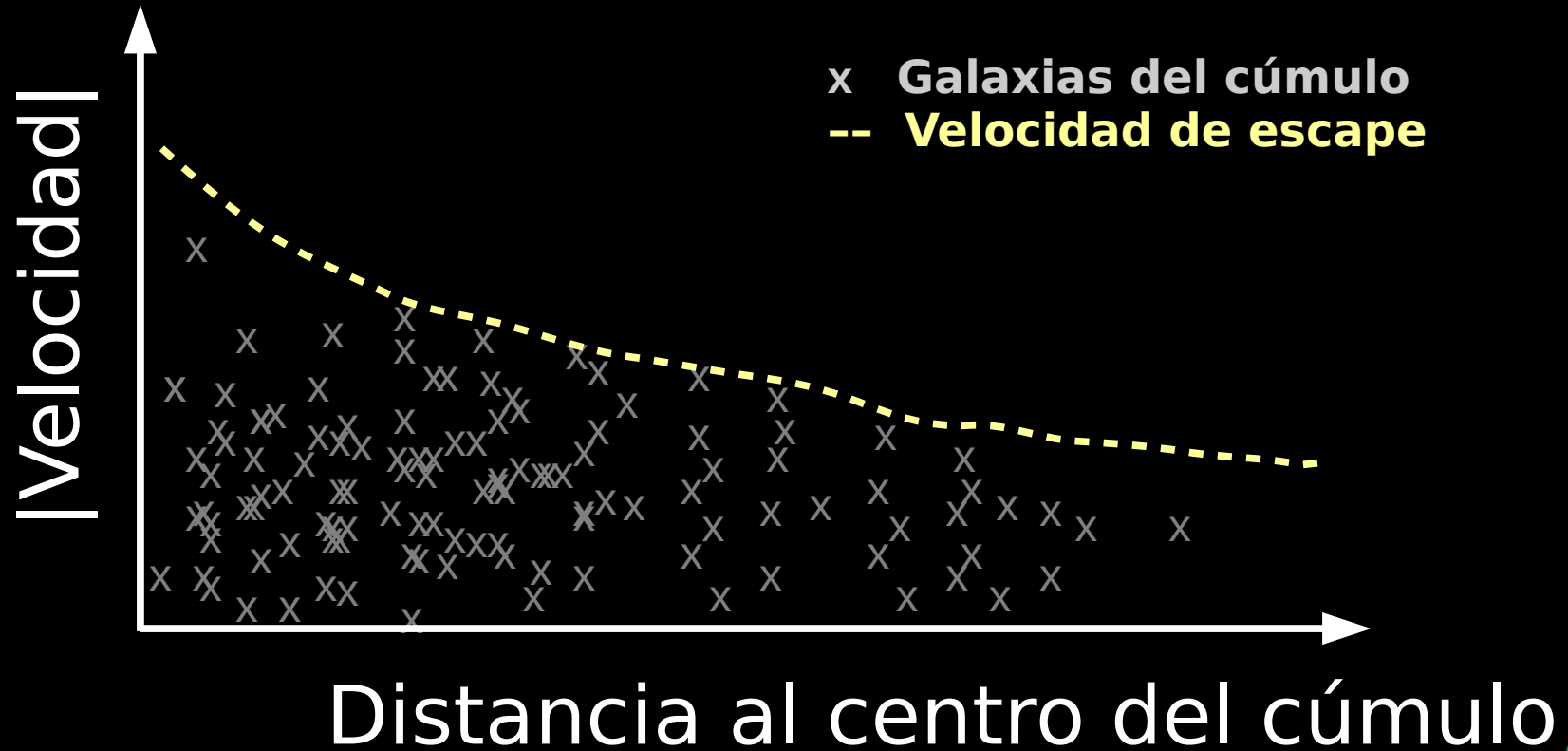
De hecho al parecer las nubes de Magallanes terminarán tragadas por la Vía Láctea gracias a la fricción dinámica (dentro de 14×10^9 yr).

Esto ya le está ocurriendo a la galaxia enana de Sagitario.

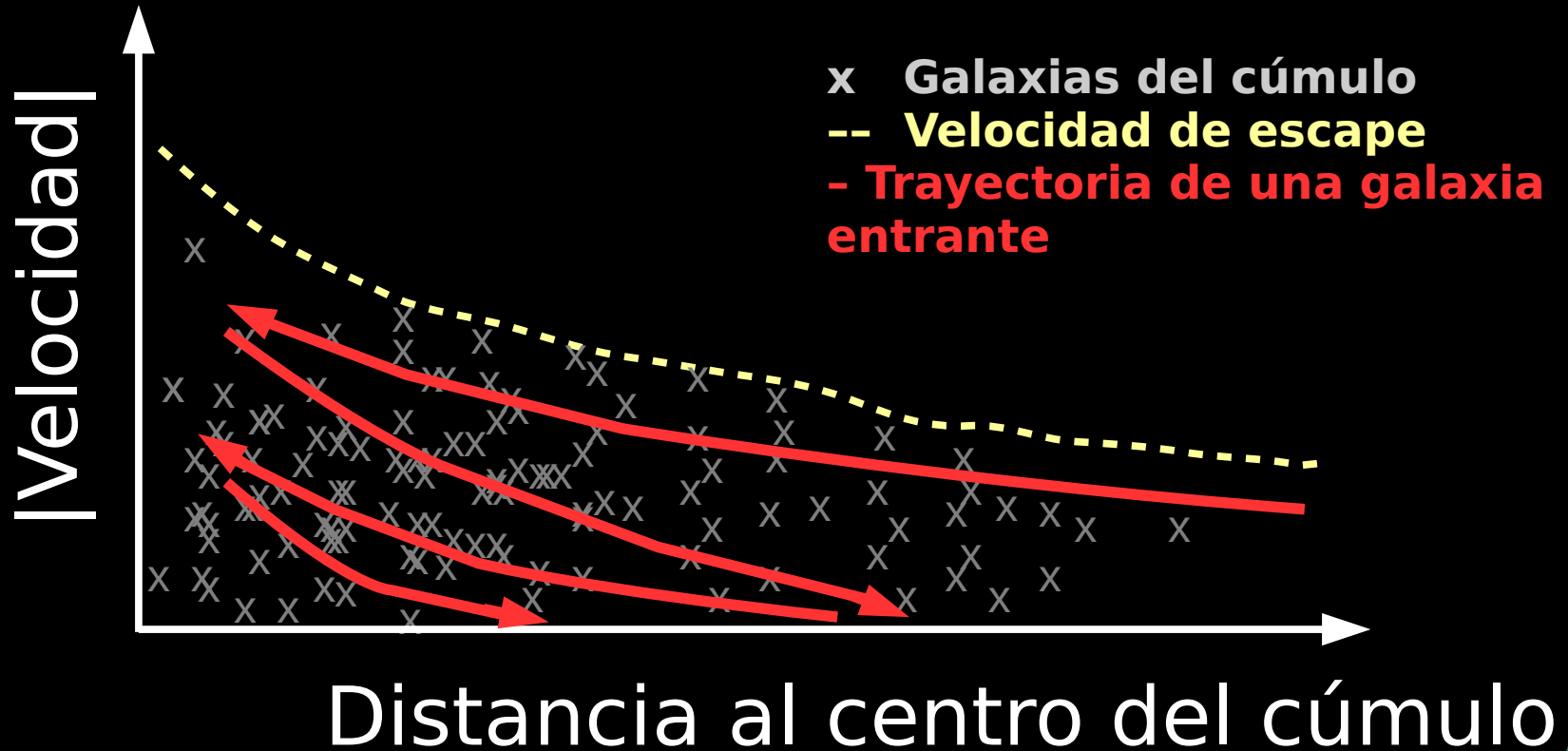
La acreción de satélites y fusión entre galaxias puede tener varias consecuencias:

- * Presencia de núcleos que contra-rotan (se observa en Es)
- * Deformaciones en la morfología de las galaxias (Irr)
- * Calentamiento cinemático de las galaxias (discos más gruesos)

Diagramas Espacio-Fase



Diagramas Espacio-Fase



Encuentros rápidos

Cuando dos galaxias se cruzan muy rápido las estrellas no tienen tiempo de reaccionar. No se da el efecto de fricción dinámica.

Mientras que la energía potencial interna de cada galaxia no cambia, su energía cinética interna incrementa de una forma desordenada

Para volver a su estado de equilibrio la galaxia puede expandirse.

Otra forma de perder energía cinética es en forma de una colas de marea ("tidal tails")



La "Antennae Galaxies"



La galaxia "Rueda de Carro" se formó a partir de una interacción cercana a alta velocidad entre dos galaxias

Interacción de galaxias



Galaxias normales (tipicamente E/S0) que tienen orbitando un anillo de gas, polvo y estrellas que fueron removidos de otra(s) galaxia(s) mientras pasaba(n) cerca o se fusionaban.

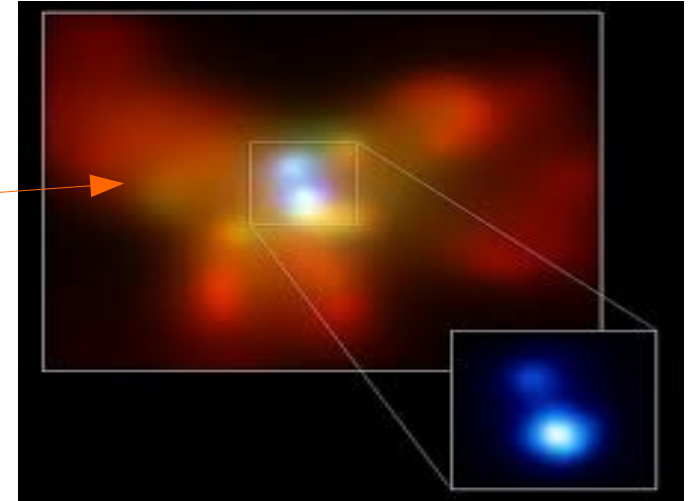
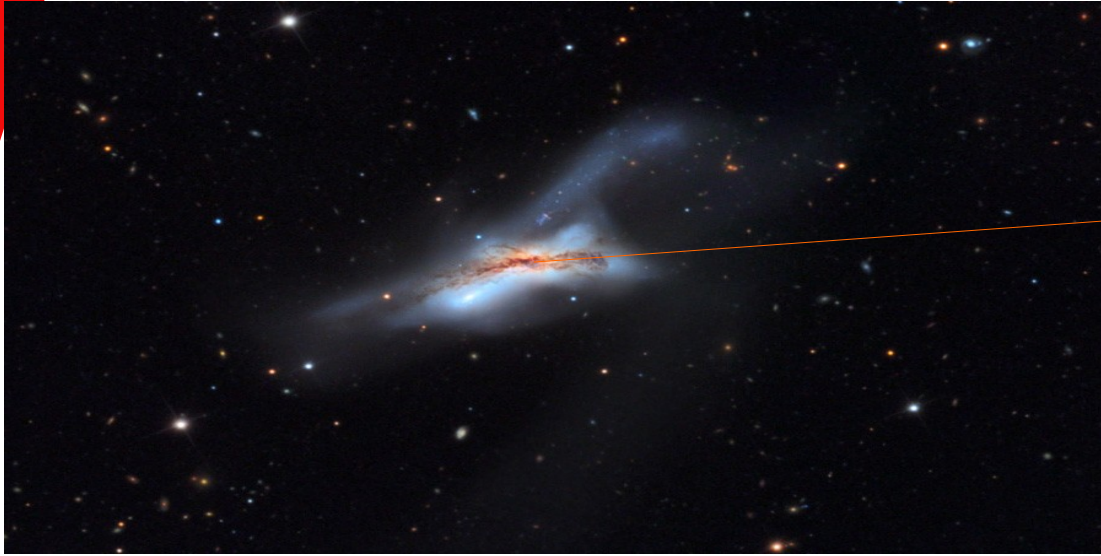
Interacción de galaxias



Agujeros negros supermasivos

- Si dos galaxias que tienen agujeros negros supermasivos chocan, los agujeros migrarán hacia el centro por fricción dinámica
- Dependiendo de sus trayectorias entrarán en un sistema binario
- A medida que se acercan irán perdiendo momentum angular
- Antes de fusionarse producen grandes cantidades de ondas gravitacionales
- Este podría ser un mecanismo mediante el cual los agujeros negros supermasivos crecen acorde con las galaxias anfitrionas

Agujeros negros supermasivos



Chandra (Rayos X)