

Galaxias Tempranas

Alfredo J. Mejía^{1,2}

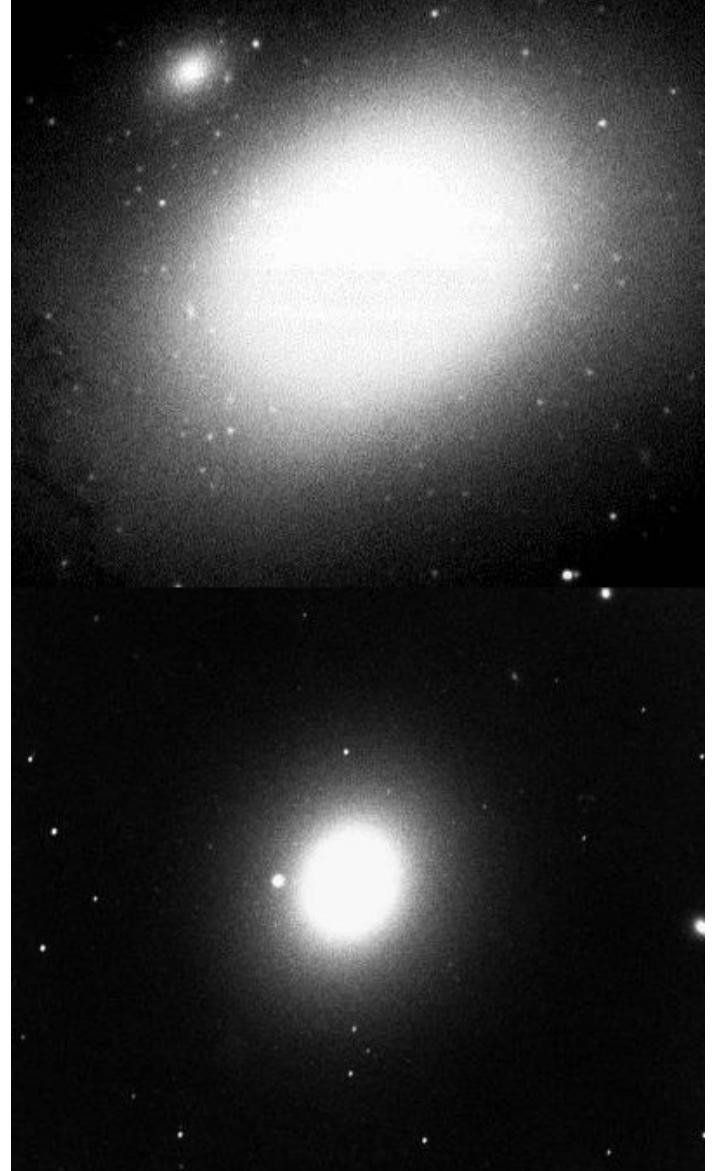
¹Posgrado de Física Fundamental
Universidad de Los Andes

²Centro de Investigaciones de Astronomía

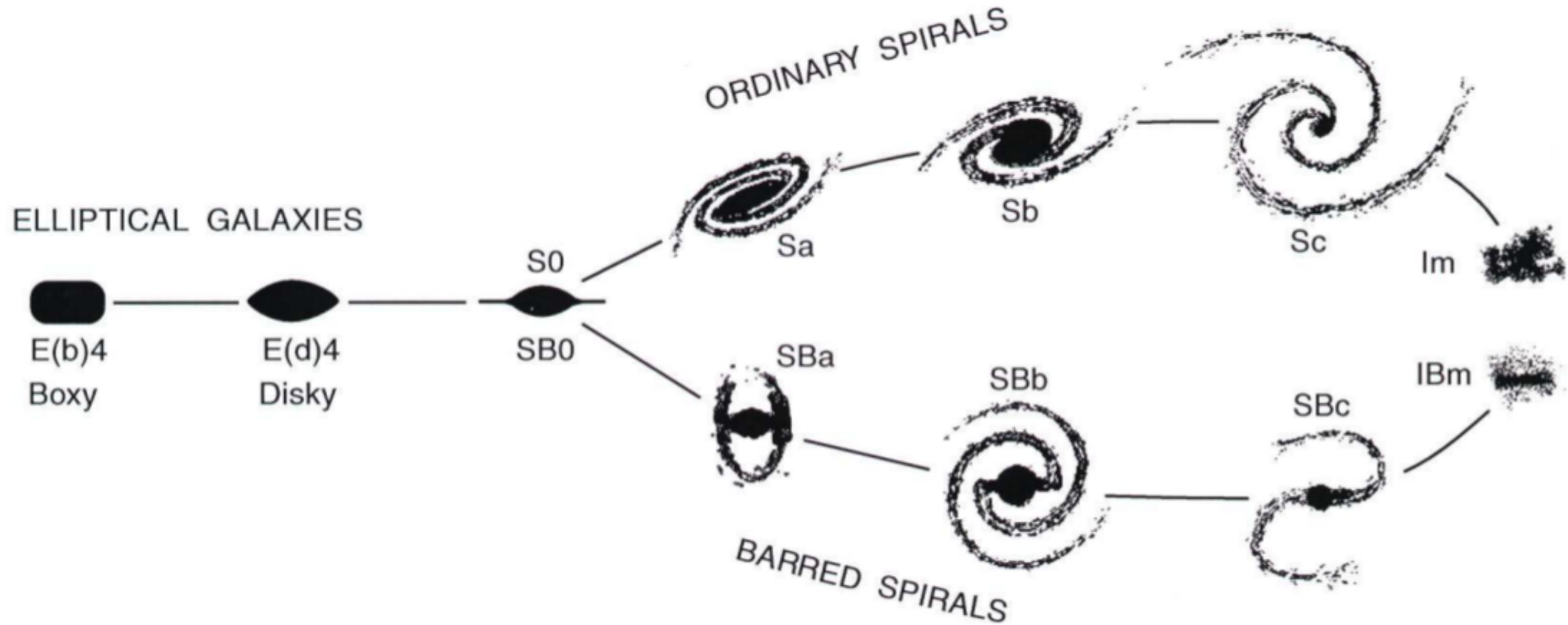
16 de diciembre de 2016

¿Qué son galaxias tempranas?

De la clasificación morfológica original de Hubble, se llama Galaxia Temprana (ETG en inglés) a aquellas que no poseen brazos espirales y que tienen una apariencia elíptica o circular en imágenes astronómicas.



Clasificación morfológica de Hubble



Perfil de brillo

$$\Sigma(R) = \Sigma_b \left(\frac{R_b}{R} \right)^\gamma \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \left(\frac{R}{R_b} \right)^\alpha \right]^{(\gamma-\beta)/\alpha}$$

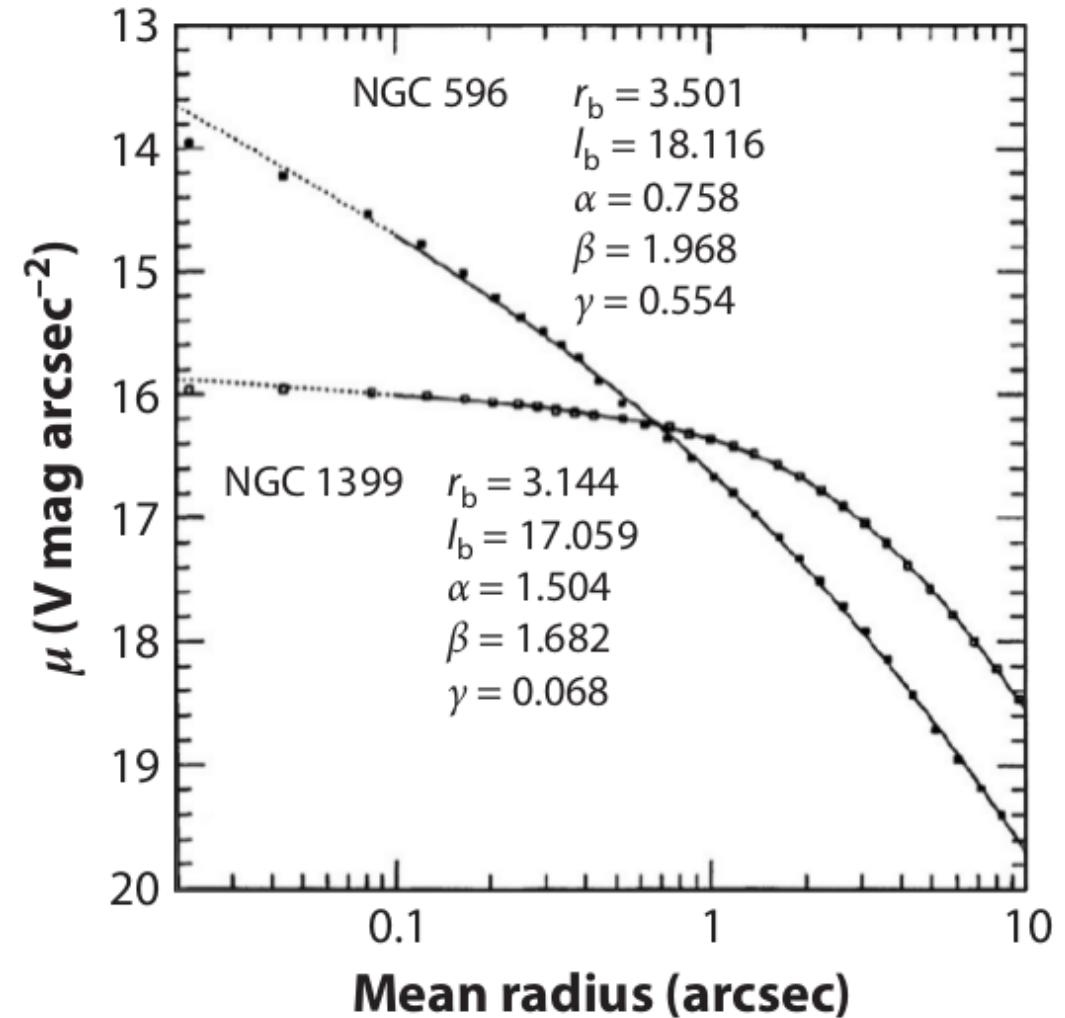
R_b : es el radio de corte.

Σ_b : es el brillo superficial en R_b .

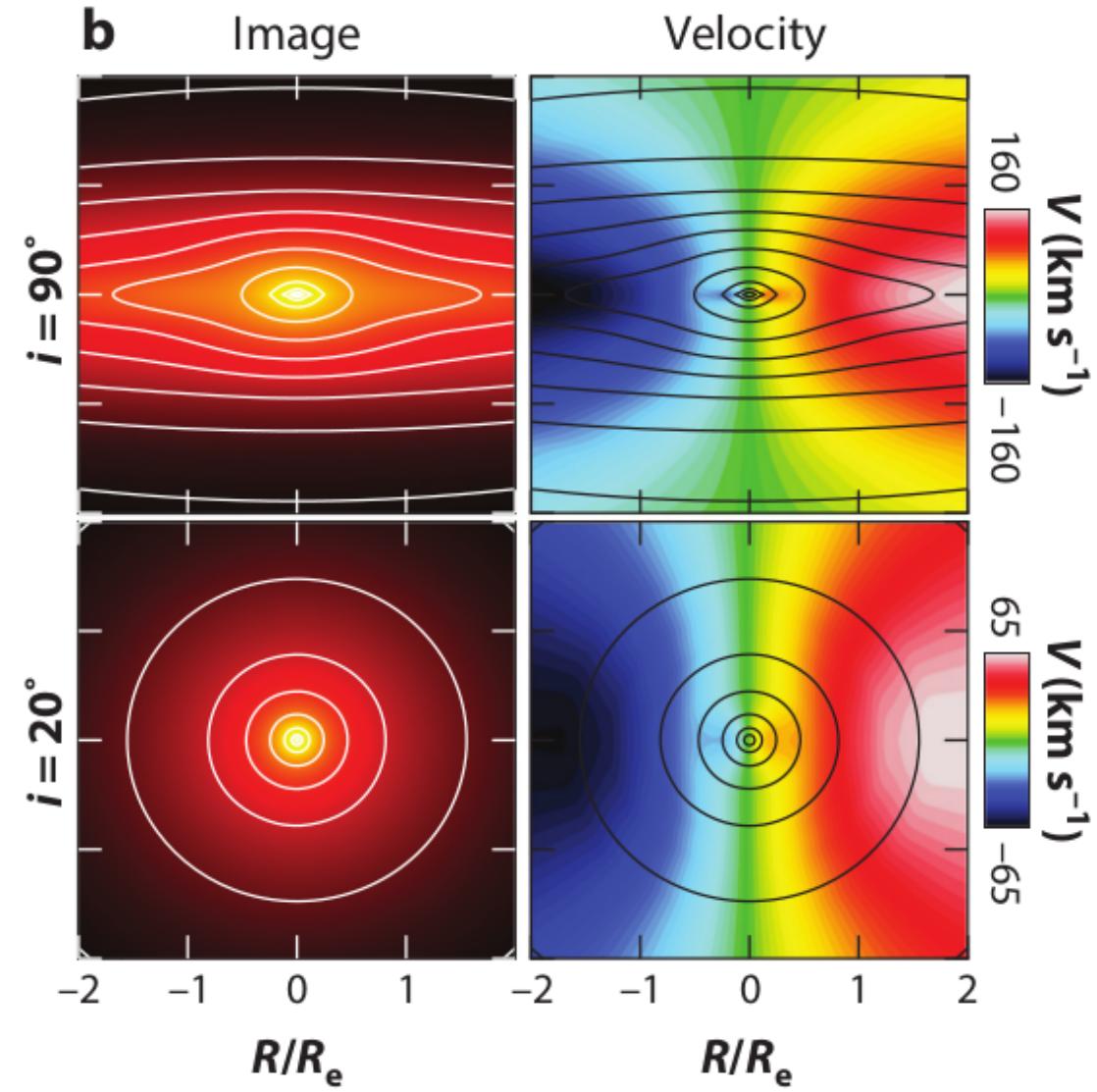
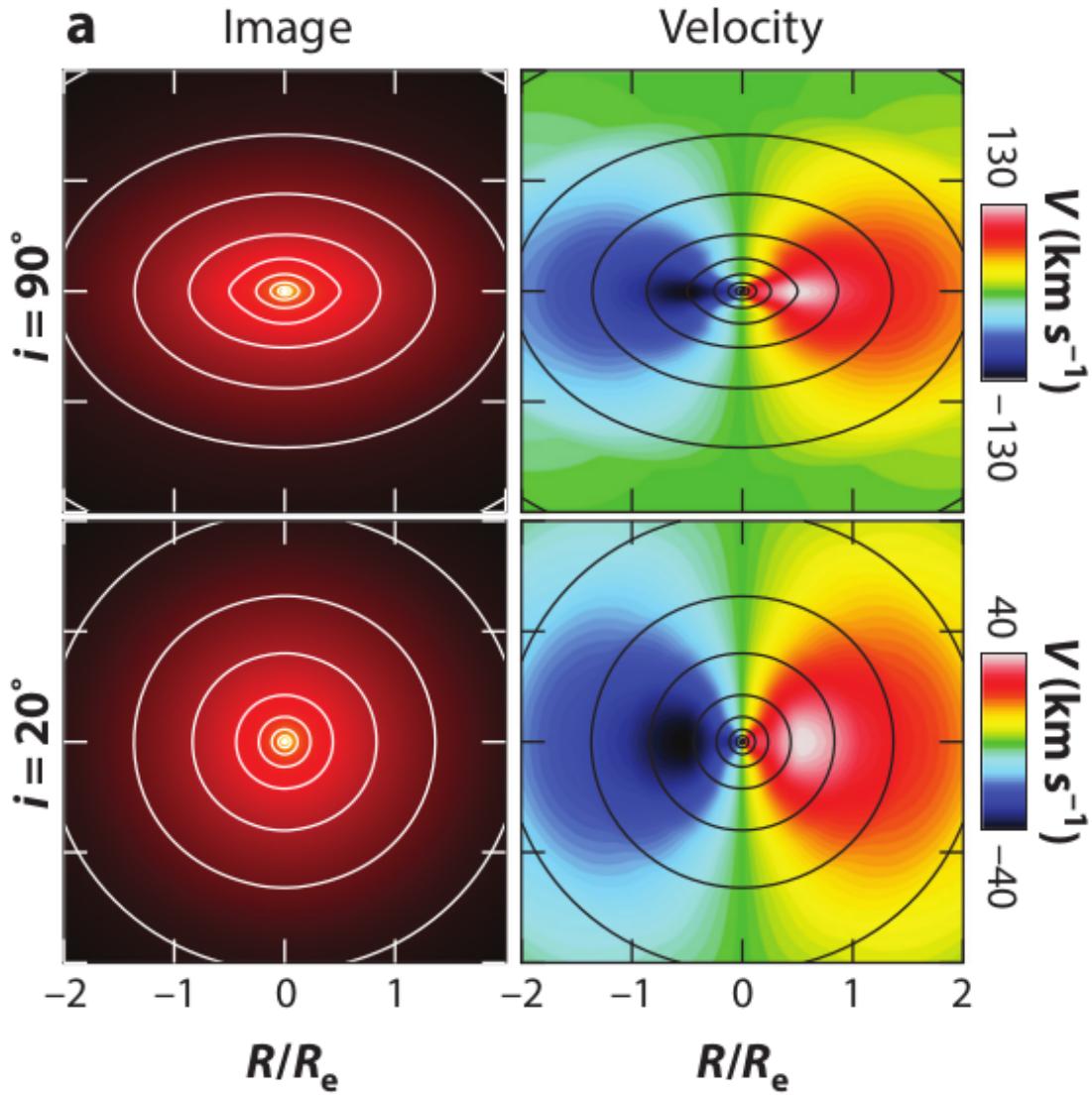
α : es la suavidad del corte.

β : la pendiente asintótica para $R < R_b$.

γ : la pendiente asintótica para $R > R_b$.



Fotometría vs. cinemática



Fotometría vs. cinemática

Fotometría

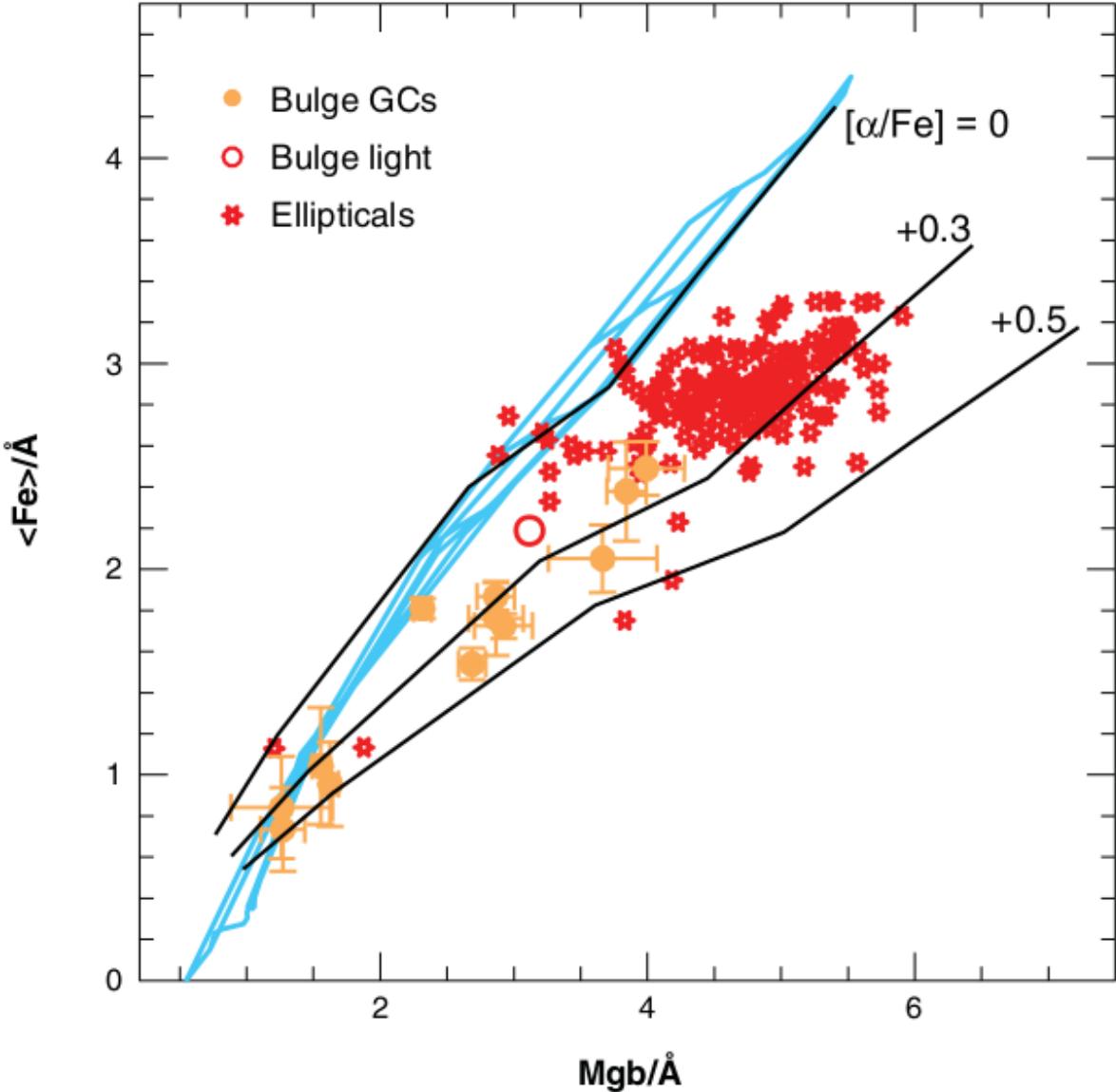
- Perfil de brillo.
- Clasificación visual.
- Contenido estelar.

Cinemática

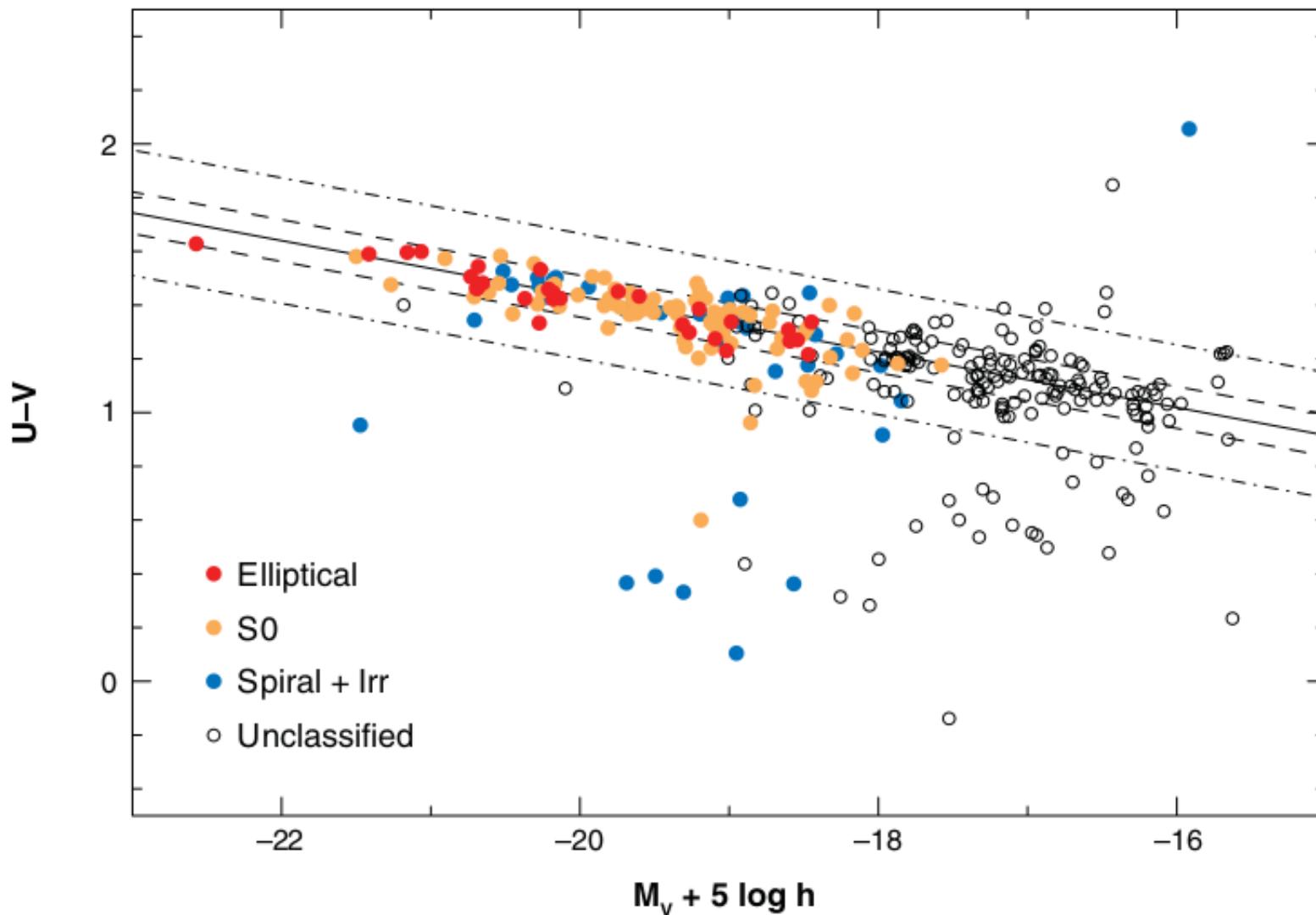
- Perfil de velocidad.
- Clasificación estructural.
- Función de distribución.

Contenido estelar de las ETGs

La *sobre-abundancia* de elementos α es un claro indicador de formación en una escala de tiempo corta, ~ 1 Gaño.



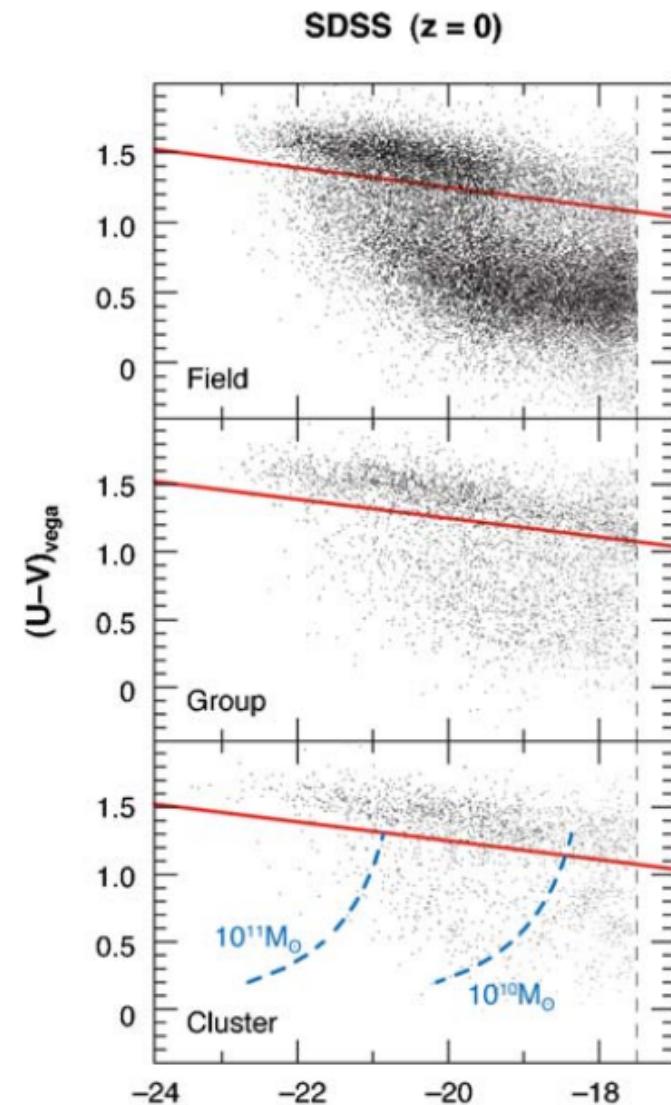
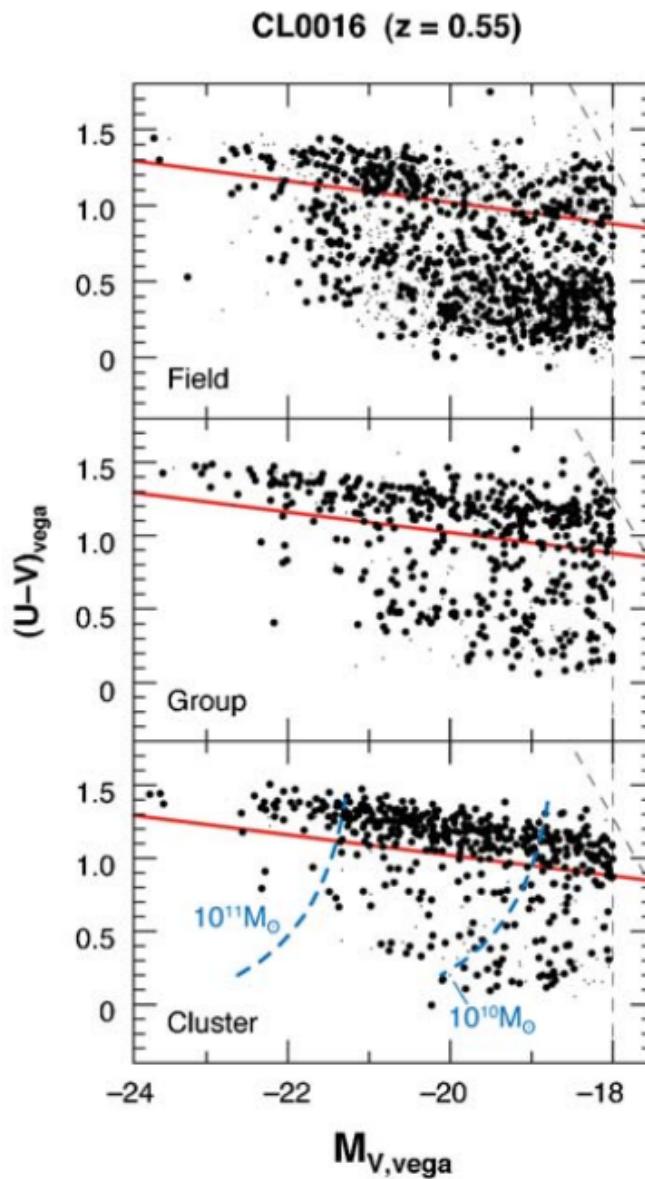
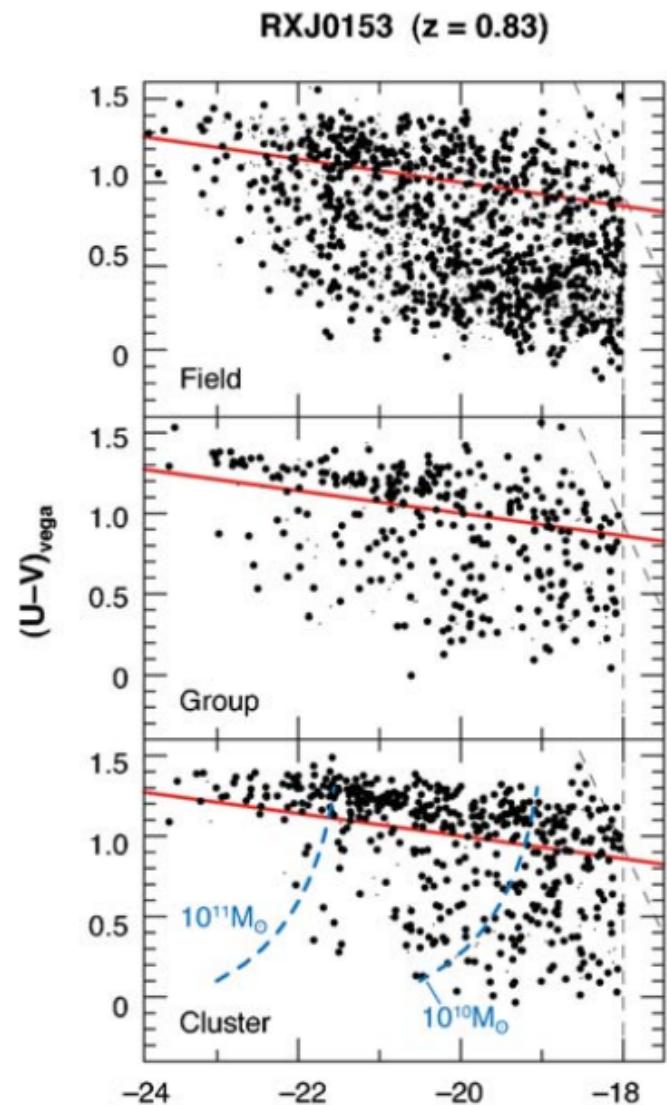
Contenido estelar de las ETGs



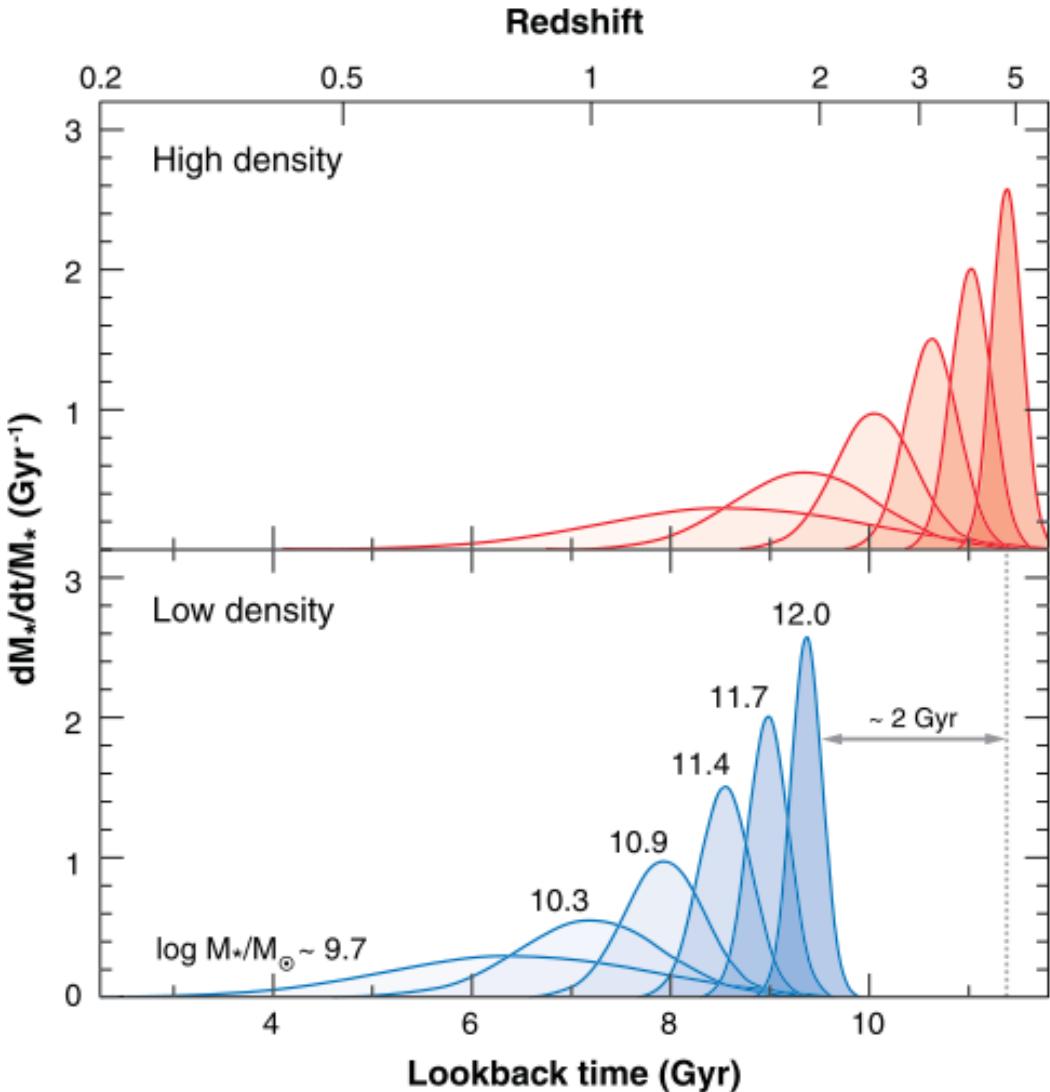
Las ETGs forman una secuencia en el diagrama color-magnitud, llamada *secuencia roja*.

El color $U - V$ no deja ver distinción entre la población estelar en las galaxias S0 y las Elípticas.

Contenido estelar de las ETGs



Contenido estelar de las ETGs



Formación rápida. La sobre-abundancia α determina la escala temporal de formación de ETGs, i.e., el ancho de la tasa de formación estelar.

Evolución pasiva. La independencia de la secuencia roja con z hasta $z \sim 1$, sugiere que estas galaxias ya estaban ensambladas cuando el universo tenía la mitad de su edad actual.

Contenido estelar de las ETGs

Resumen

- El estudio de las poblaciones estelares en ETGs no permite una separación clara entre las S0 y las E.
- El hecho de que hasta $z \sim 1$ la evolución haya sido pasiva dificulta los diagnósticos que podemos hacer usando información fósil.
- Las observaciones de galaxias $z > 2$ sufren del sesgo del progenitor y a $z > 3$ están limitadas por nuestra tecnología actual.

Cinemática y estructura de las ETGs

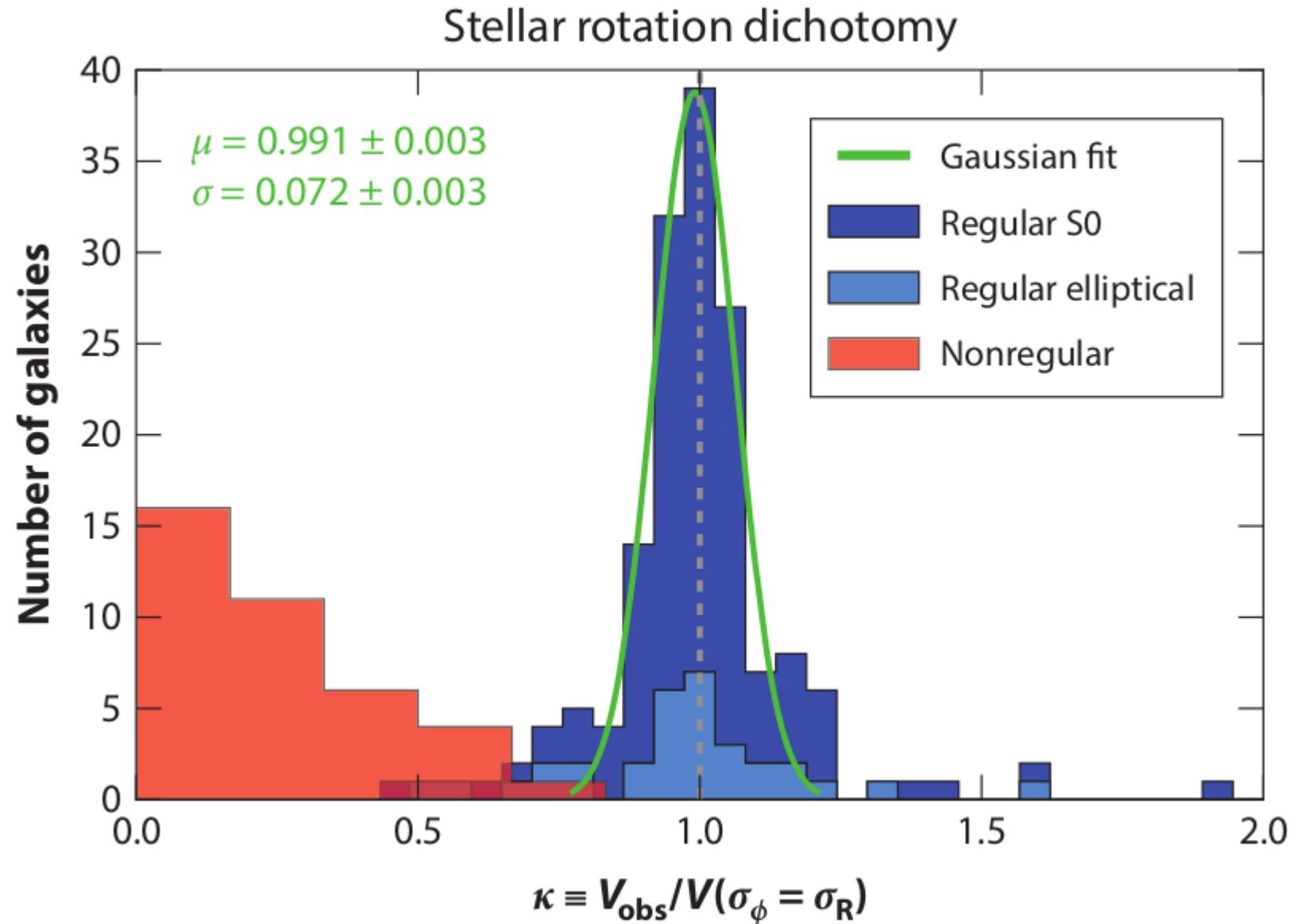
El modelado de la dinámica permite...

- *virtualmente* obtener la distribución orbital,
- reconstruir la estructura de la galaxia, y
- obtener la distribución de masa *total*.

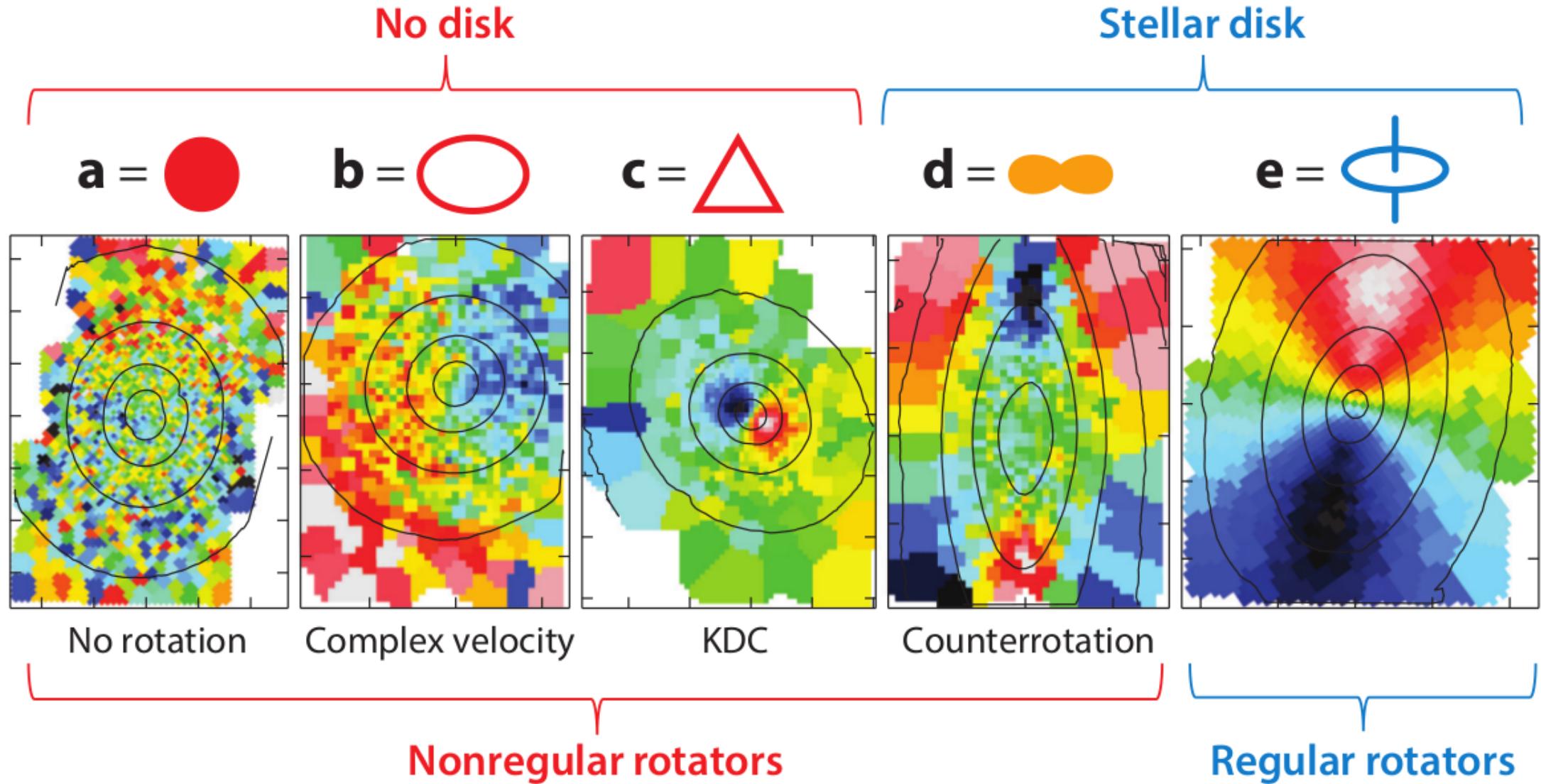
Sin embargo...

- son necesarios datos cinemáticos de muy buena calidad y
- existen degeneraciones.

Dicotomía cinemática



Cinemática y estructura de las ETGs



El Plano Fundamental

El teorema del virial implica que

$$M \langle v^2 \rangle + W = 0,$$

luego

$$\langle v^2 \rangle = \frac{|W|}{M},$$

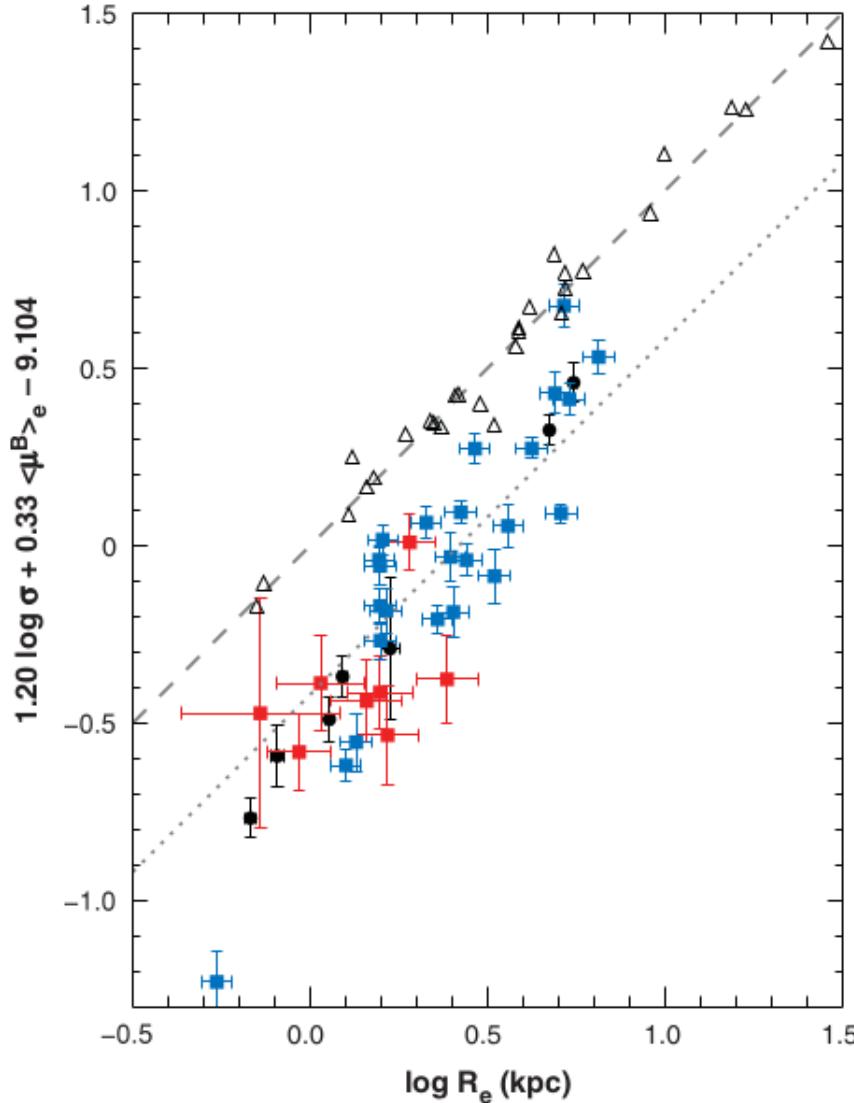
que se puede reescribir como

$$\sigma^2 \approx \frac{GM}{R_e} \approx \frac{G\Upsilon_e L}{2R_e} = \pi G \Upsilon_e / R_e.$$

En escala logarítmica queda

$$\log R_e = 2 \log \sigma + 0,4 \langle \mu \rangle - \log \Upsilon_e + \text{cons.}$$

El Plano Fundamental



La versión empírica del PF es

$$\log R_e = 1,20 \log \sigma + 0,33 \langle \mu \rangle + \text{cons.}$$

mientras que la versión teórica es

$$\log R_e = 2 \log \sigma + 0,4 \langle \mu \rangle - \log Y_e + \text{cons.}$$

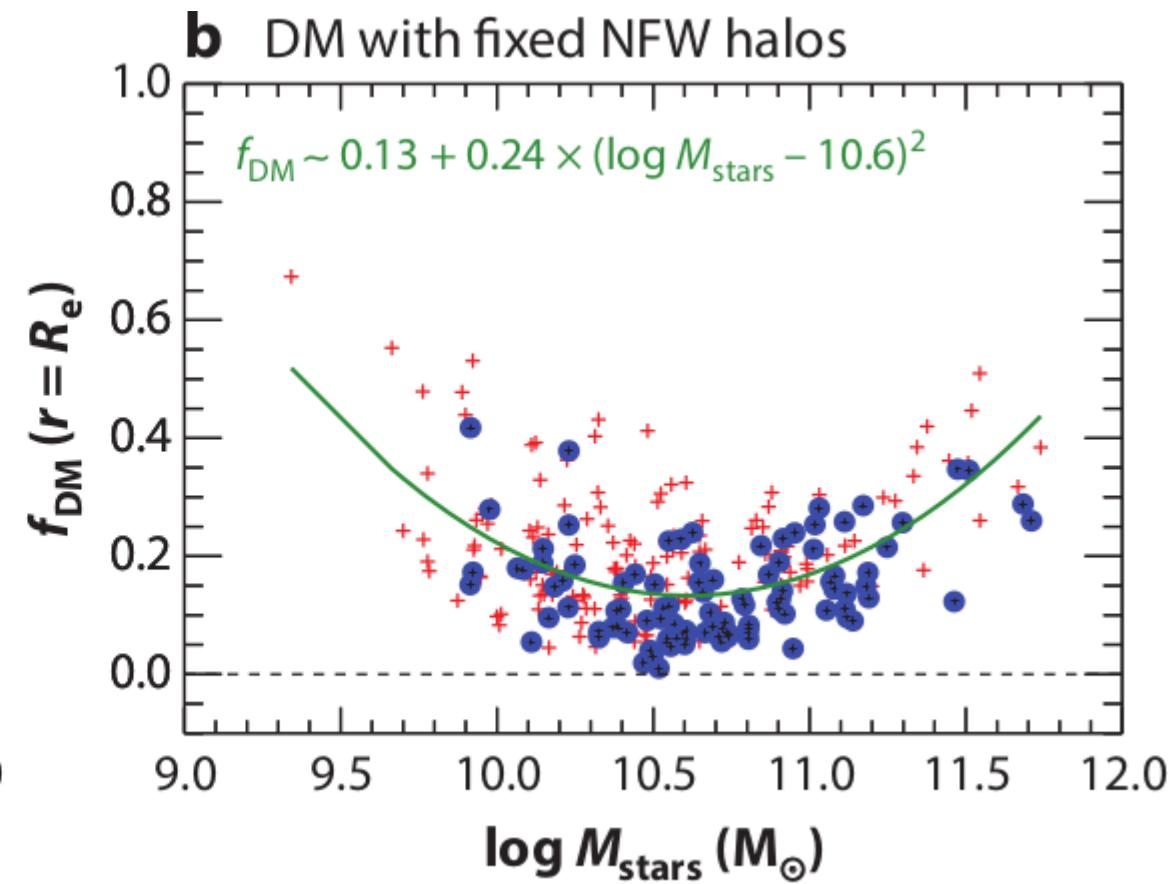
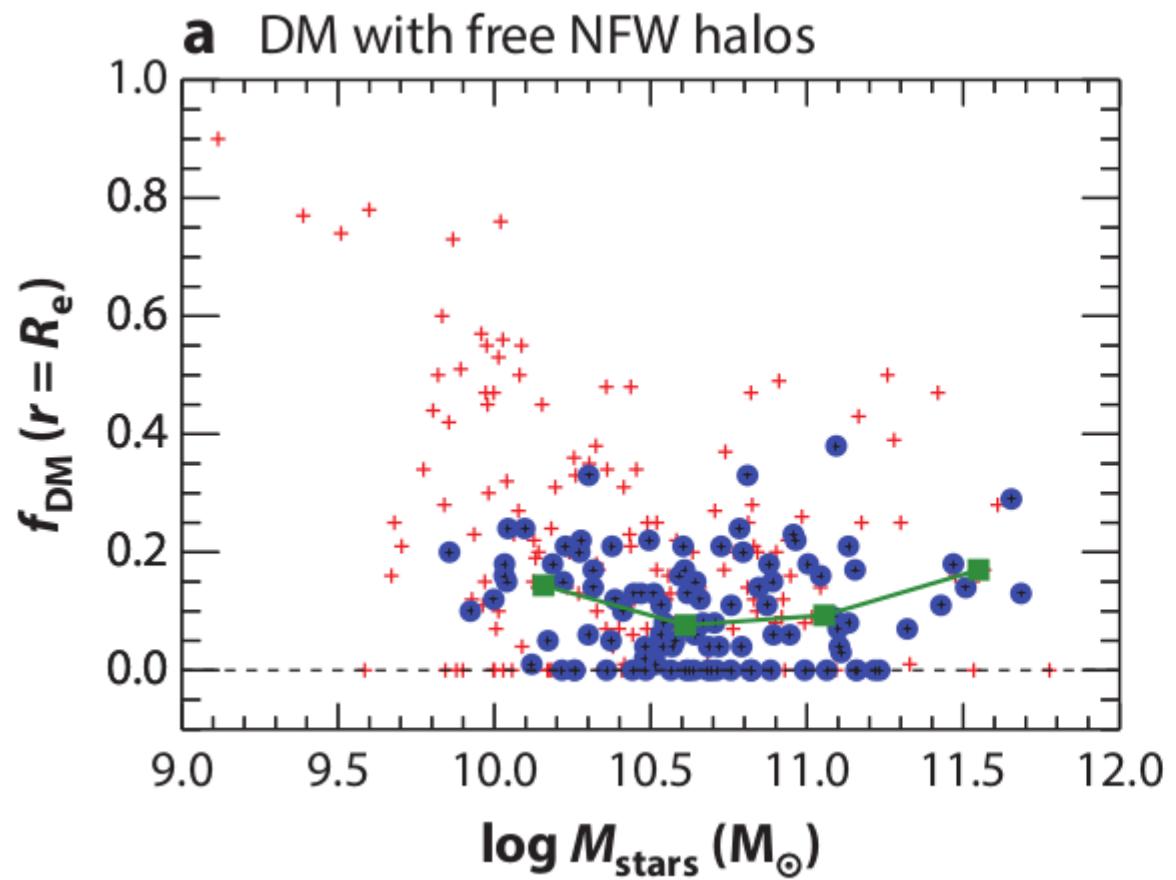
El Plano Fundamental

Resumen

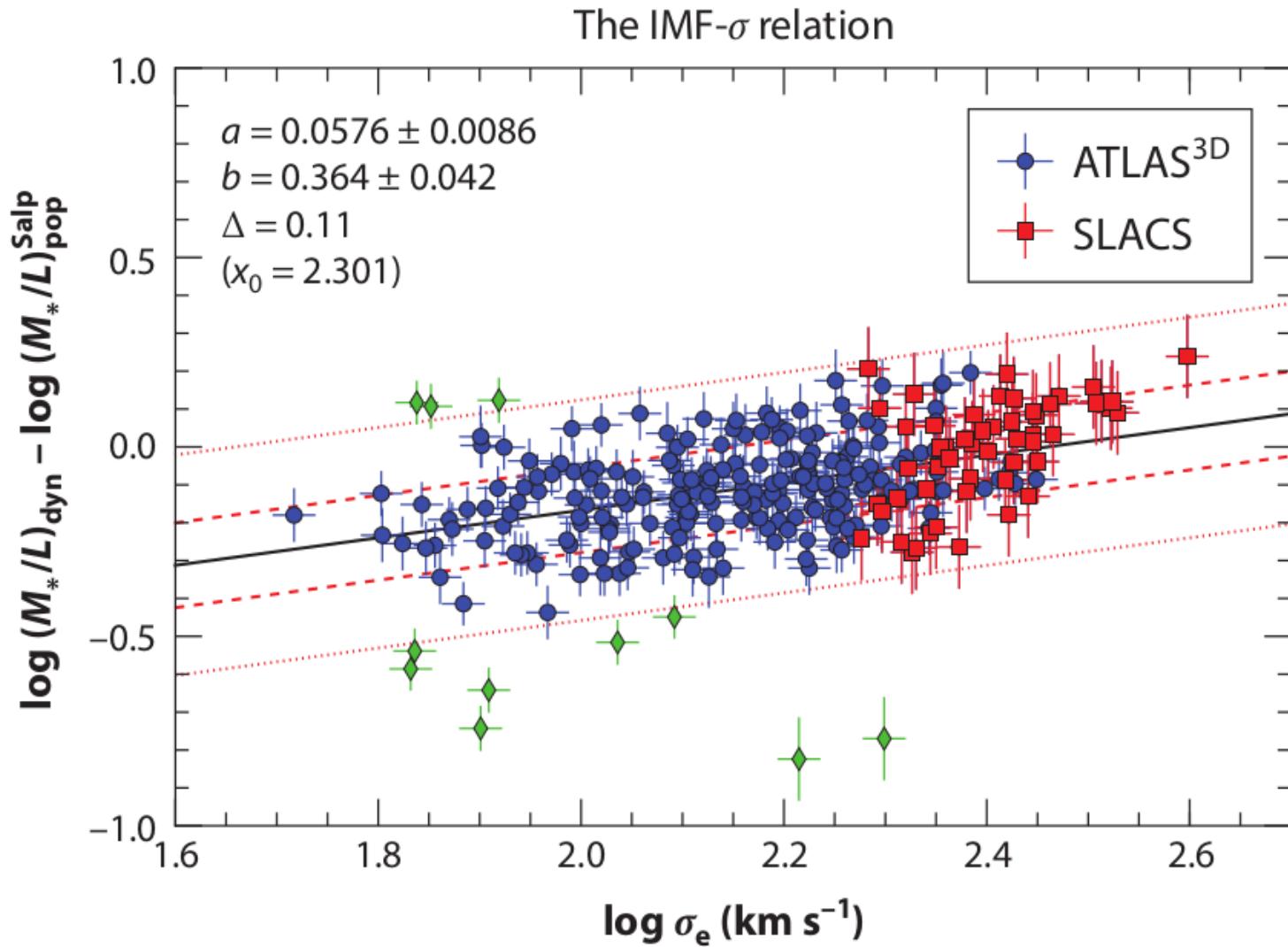
Ni las incertidumbres observacionales ni las suposiciones de fondo dan cuenta de la desviación del PF del equilibrio virial. Entre las fuentes más probables del origen de dicha desviación están:

- Variaciones en la contribución de materia oscura.
- Variaciones en las poblaciones estelares.

Relevancia de la materia oscura

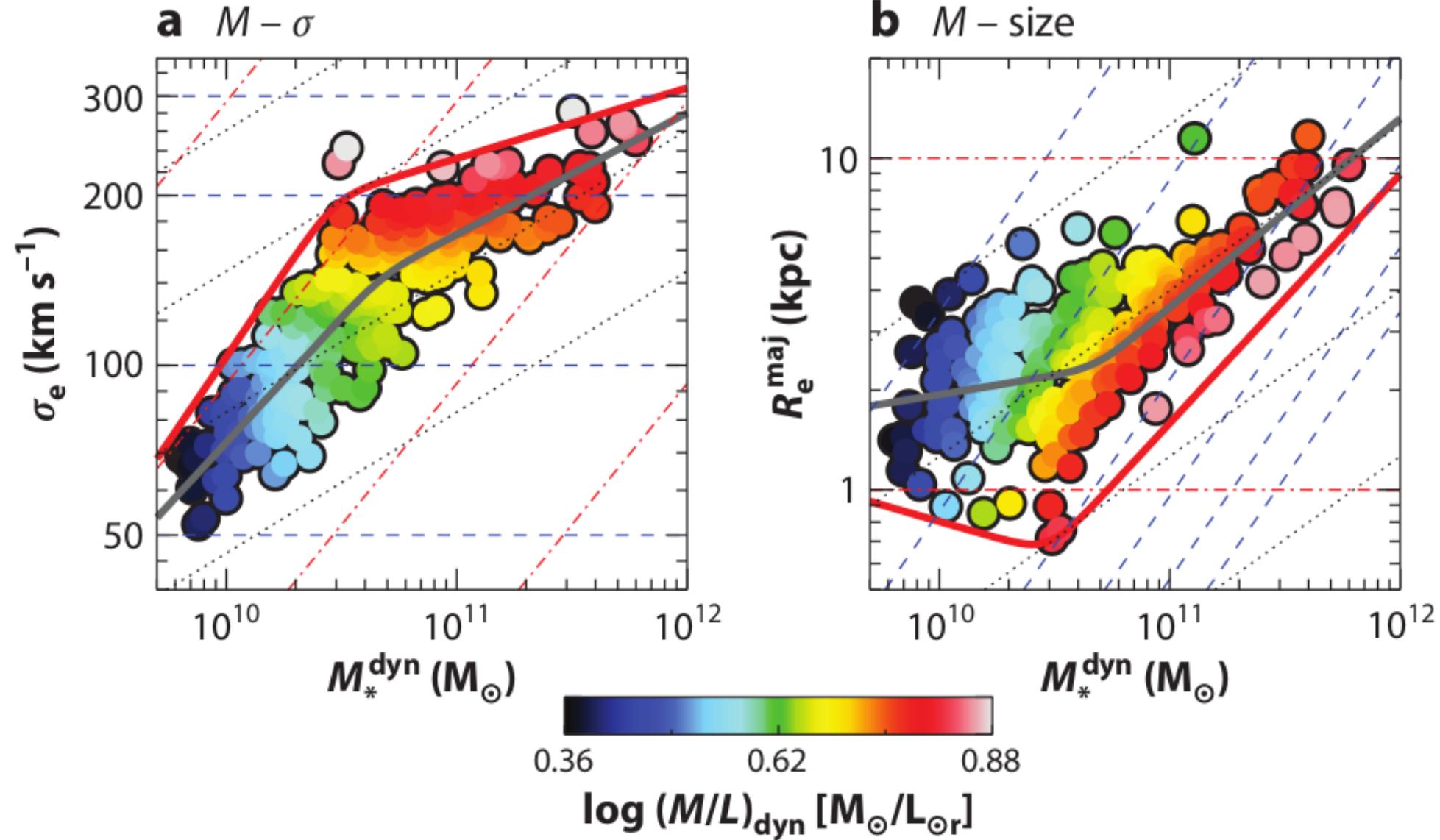


Variaciones poblacionales

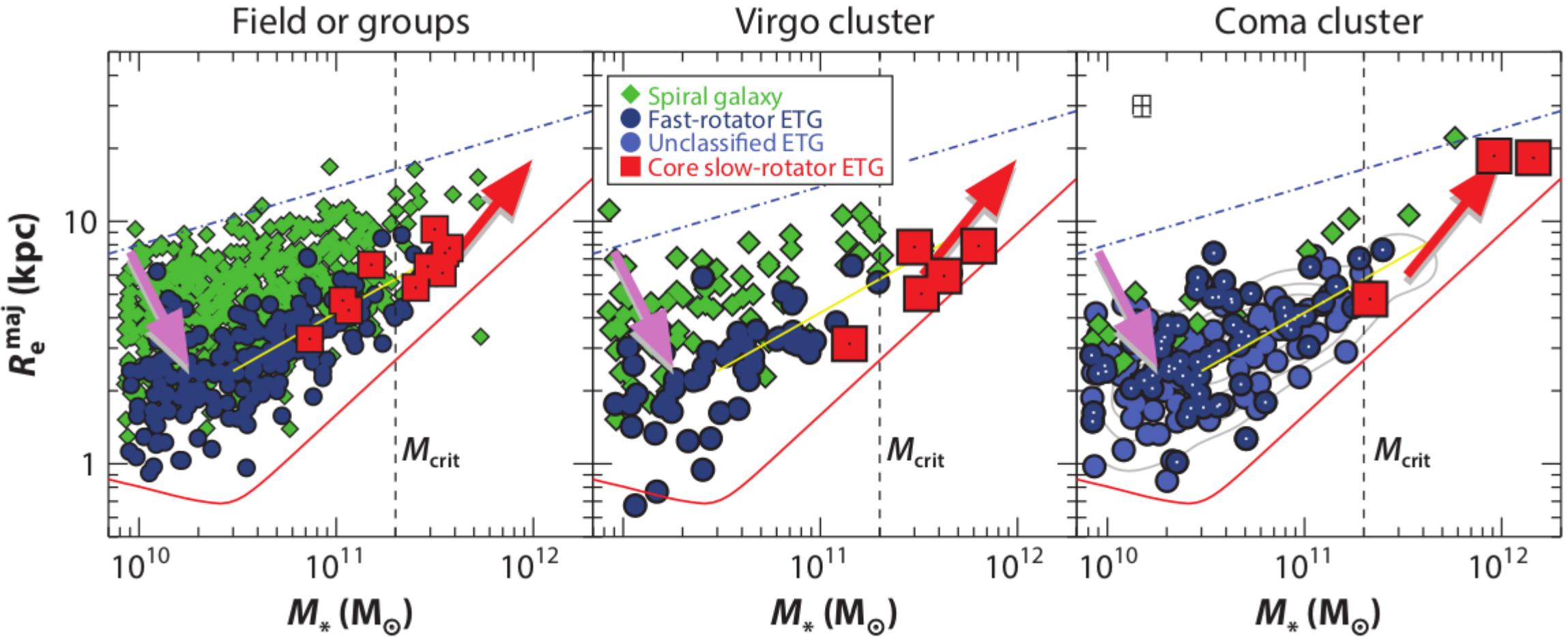


Las diferencias sistemáticas entre los resultados dinámicos y los poblacionales pueden interpretarse como variaciones en la Función de Masa Inicial.

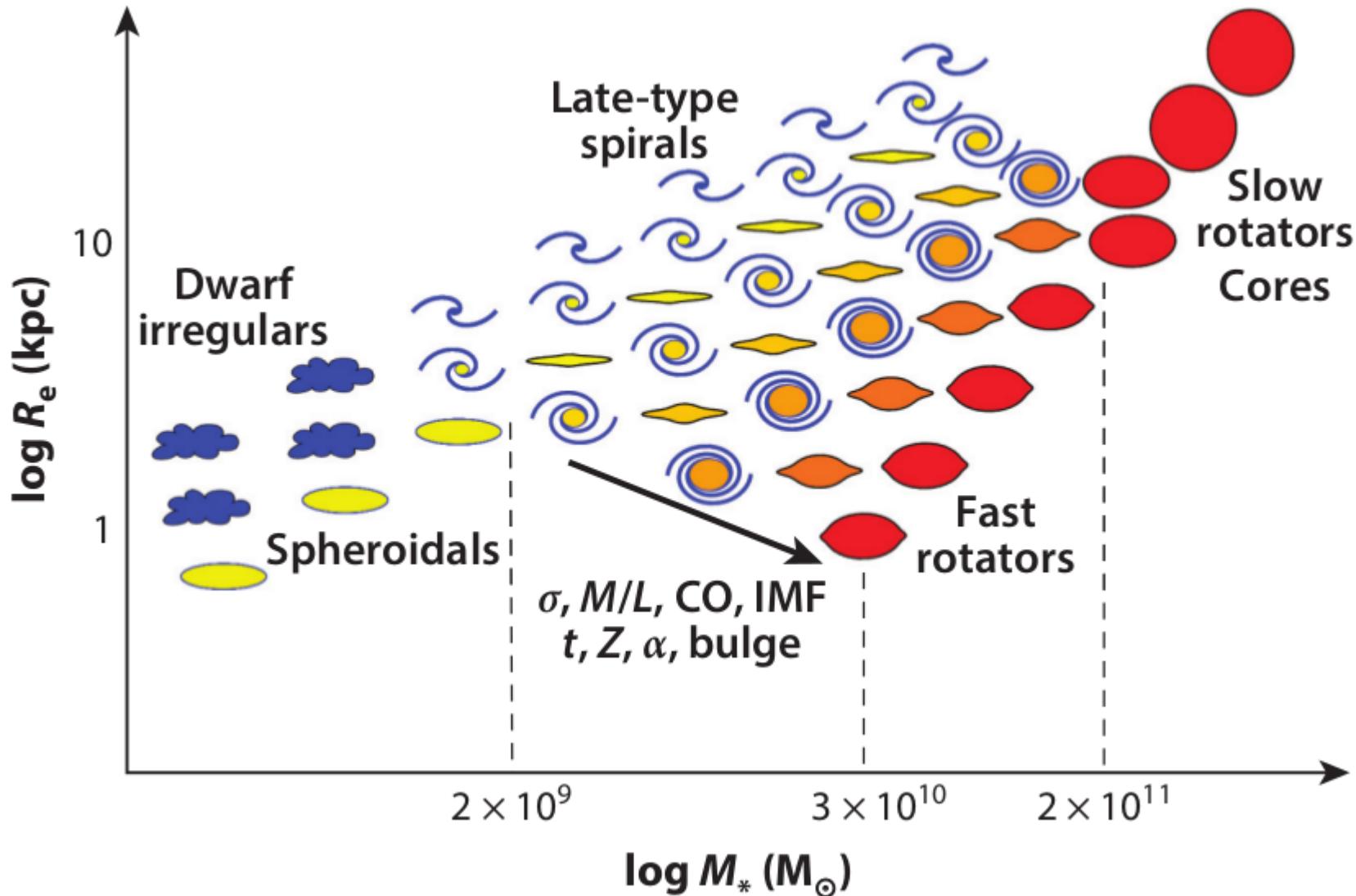
Proyecciones del Plano de Masa



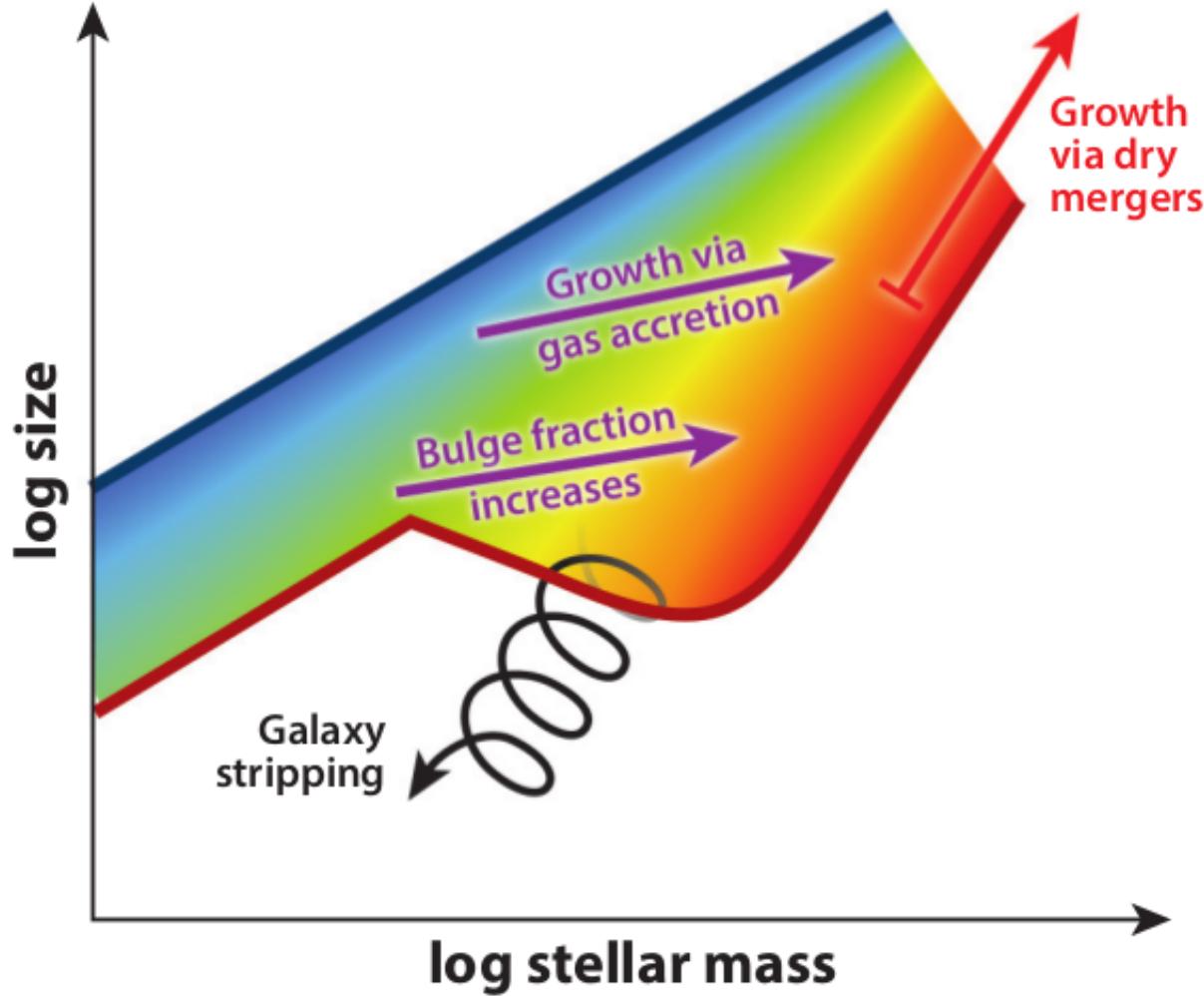
Proyección R_e - M



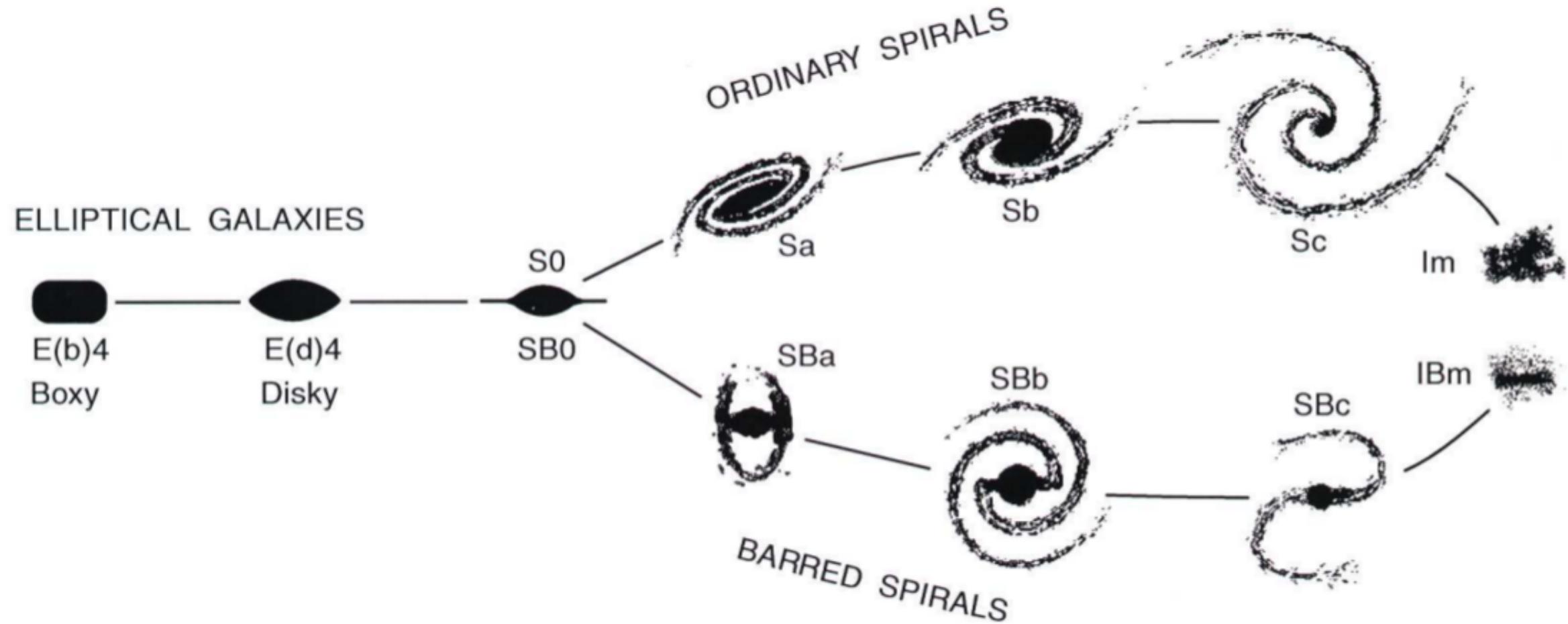
Proyección R_e - M



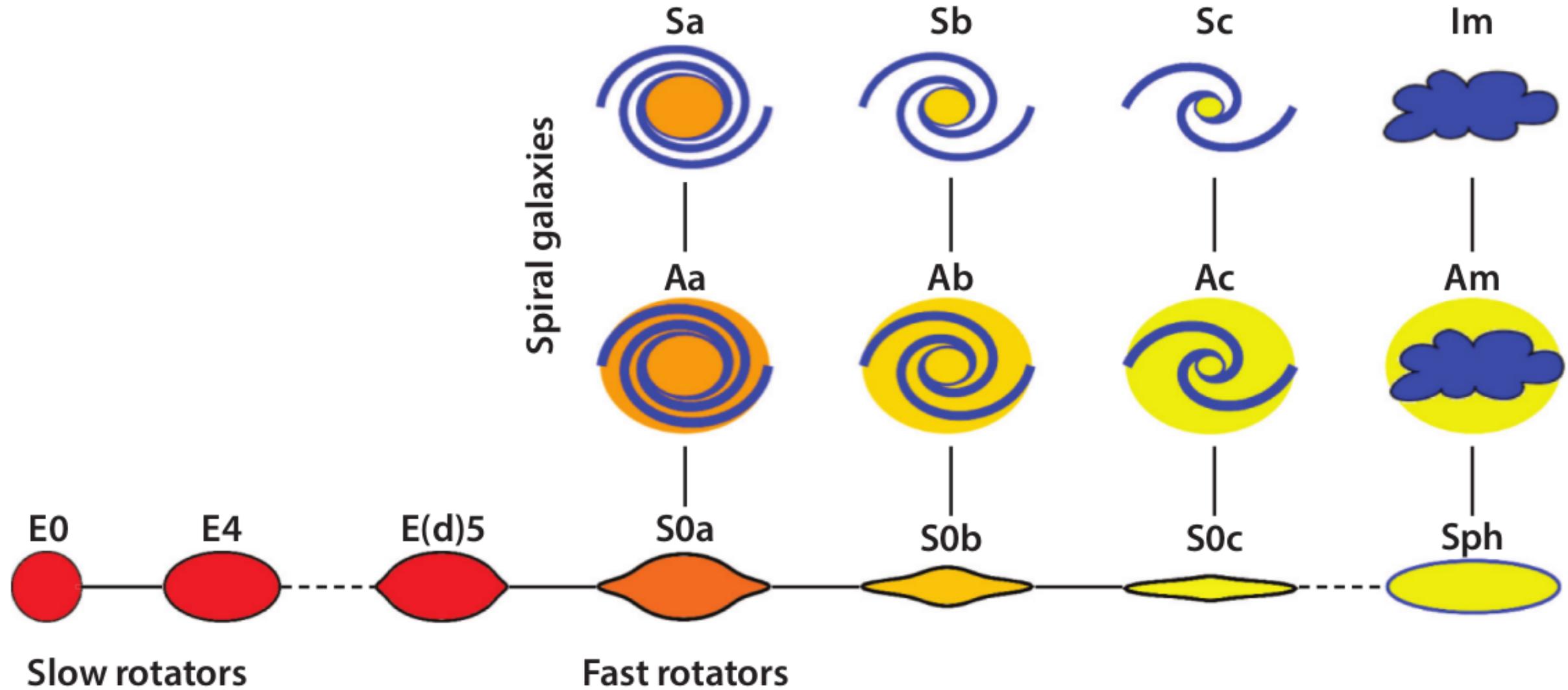
Proyección R_e - M



Morfología físicamente motivada



Morfología físicamente motivada



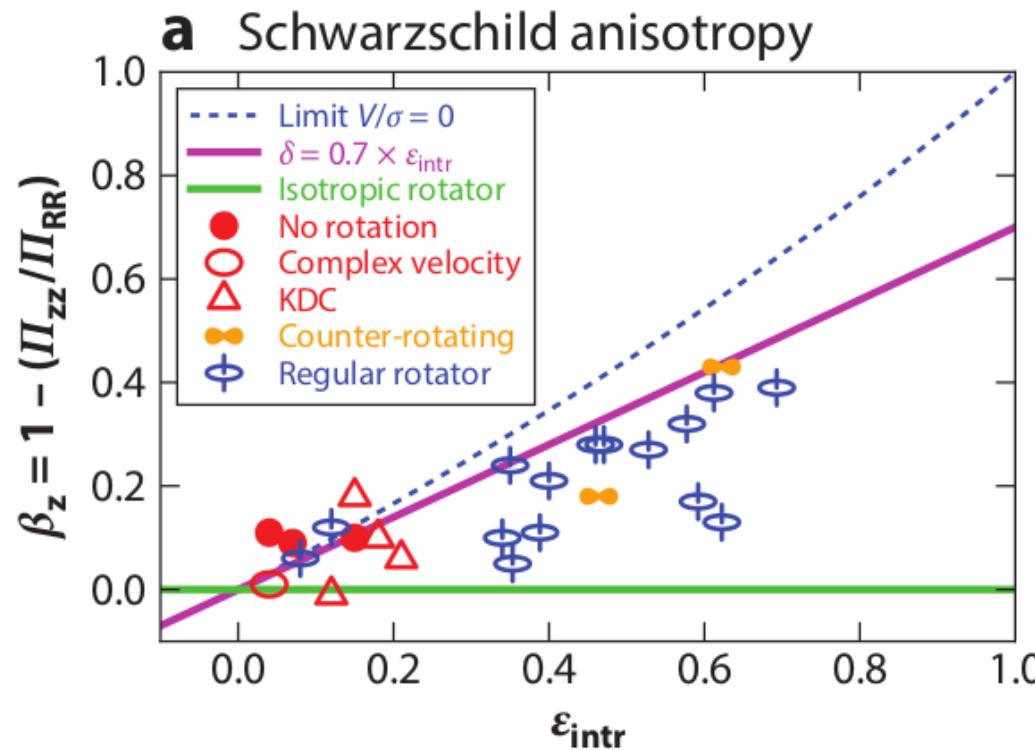
Resumen

- Los estudios de poblaciones estelares han permitido inferir que las galaxias tempranas que vemos hoy ya se habían formado para $z \sim 1$.
- La evidencia fósil en la espectroscopía ha puesto en manifiesto la existencia de una sobre-abundancia de elementos α .
- Los dos puntos anteriores nos permiten inferir que las galaxias tempranas se han formado en una escala de tiempo muy corta.
- Es claro también que existe una dependencia de dicha escala y de la masa (y edad) estelar con el ambiente: **las galaxias en ambientes más densos se ensamblan más rápido y adquieren masas mayores.**

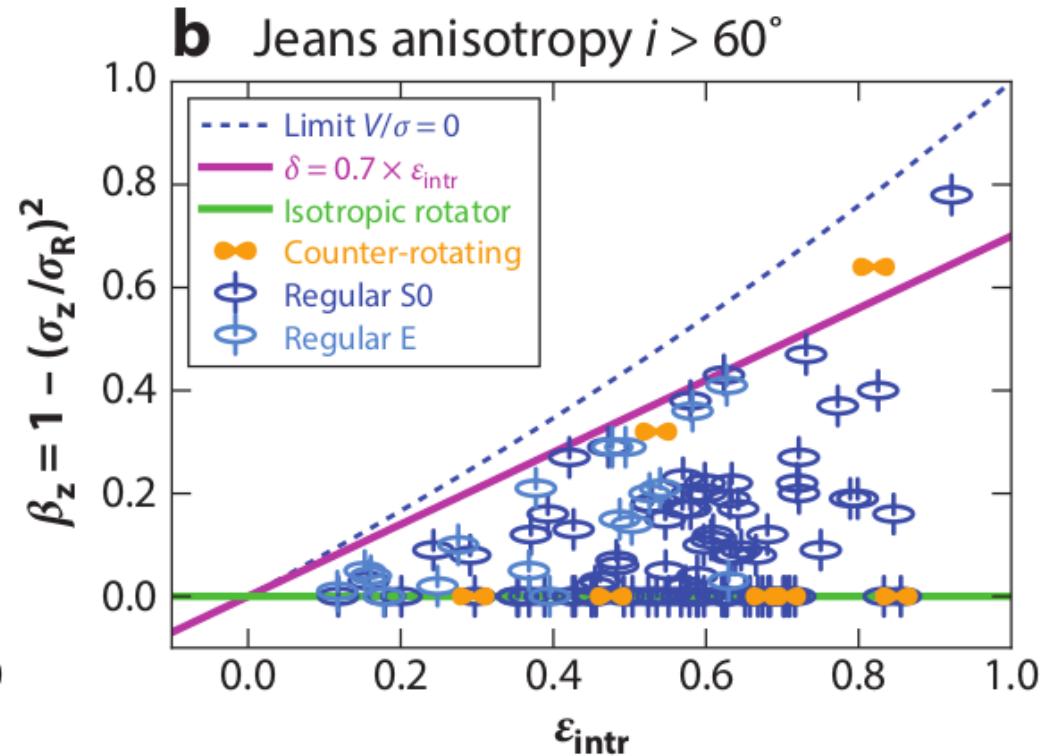
Resumen

- La información cinemática permite una separación de las galaxias tempranas en dos subclases: *soportadas por rotación y soportadas por dispersión de velocidades*.
- Ya que estos sistemas no están dinámicamente relajados, implica que han tenido canales de formación distintos.
- Una forma natural de combinar los estudios poblacionales y los de dinámica es ofrecida por las relaciones de escala, en este caso el Plano Fundamental.
- Aunque la interpretación física del Plano Fundamental aún está en debate, todo parece indicar que su desviación de la predicción teórica está relacionada con variaciones de las poblaciones estelares.
- El Plano de Masa se ajusta a la interpretación del equilibrio virial y su interpretación ha permitido construir una visión detallada de la evolución de las galaxias tempranas y de sus posibles canales de formación.

Cinemática y estructura



$$\epsilon_{\text{int}} = 1 - \sqrt{1 + \epsilon(\epsilon - 2) / \sin^2 i}.$$

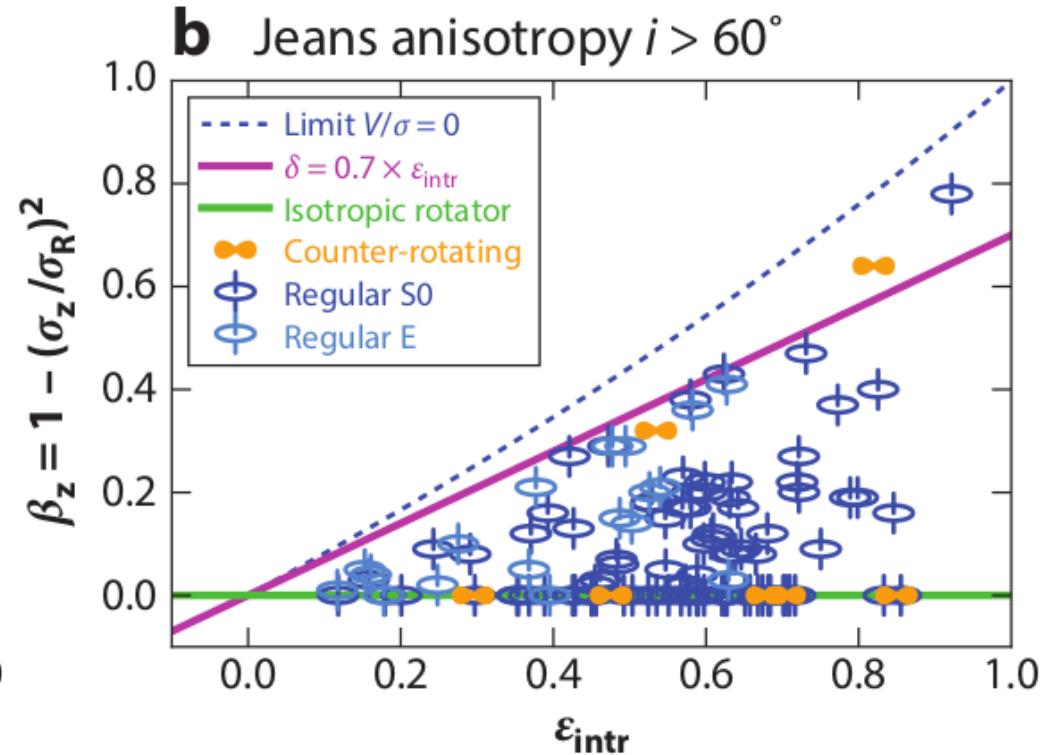
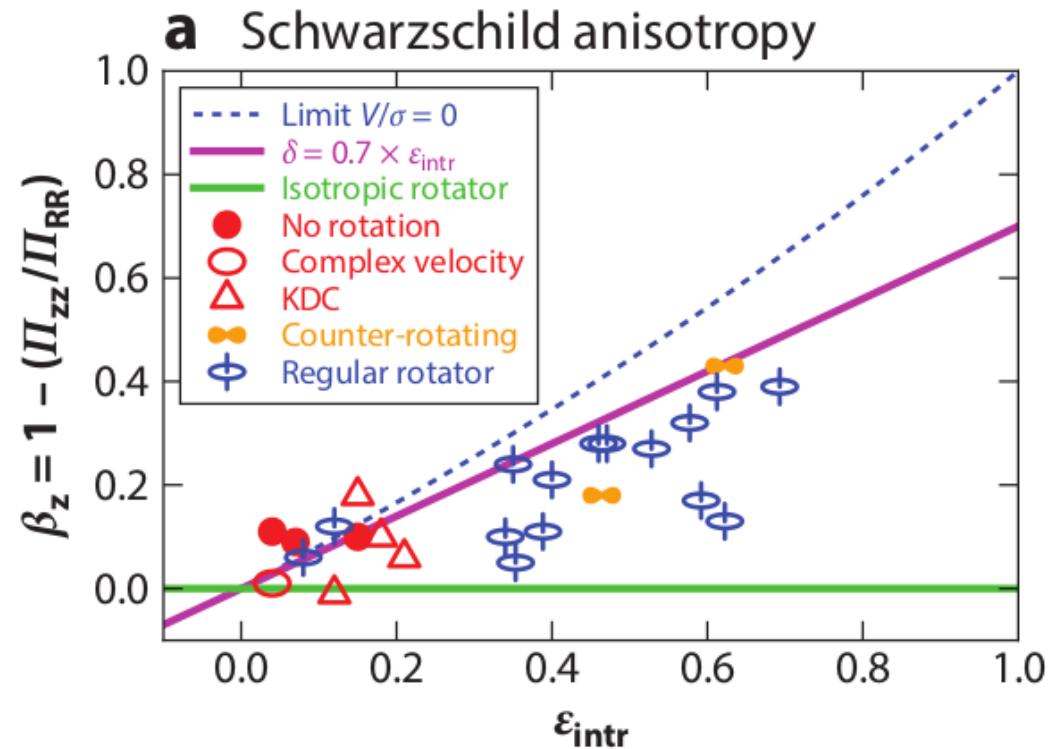


ϵ_{int} : elipticidad intrínseca.

ϵ : elipticidad observada.

i : ángulo de inclinación (90° de canto).

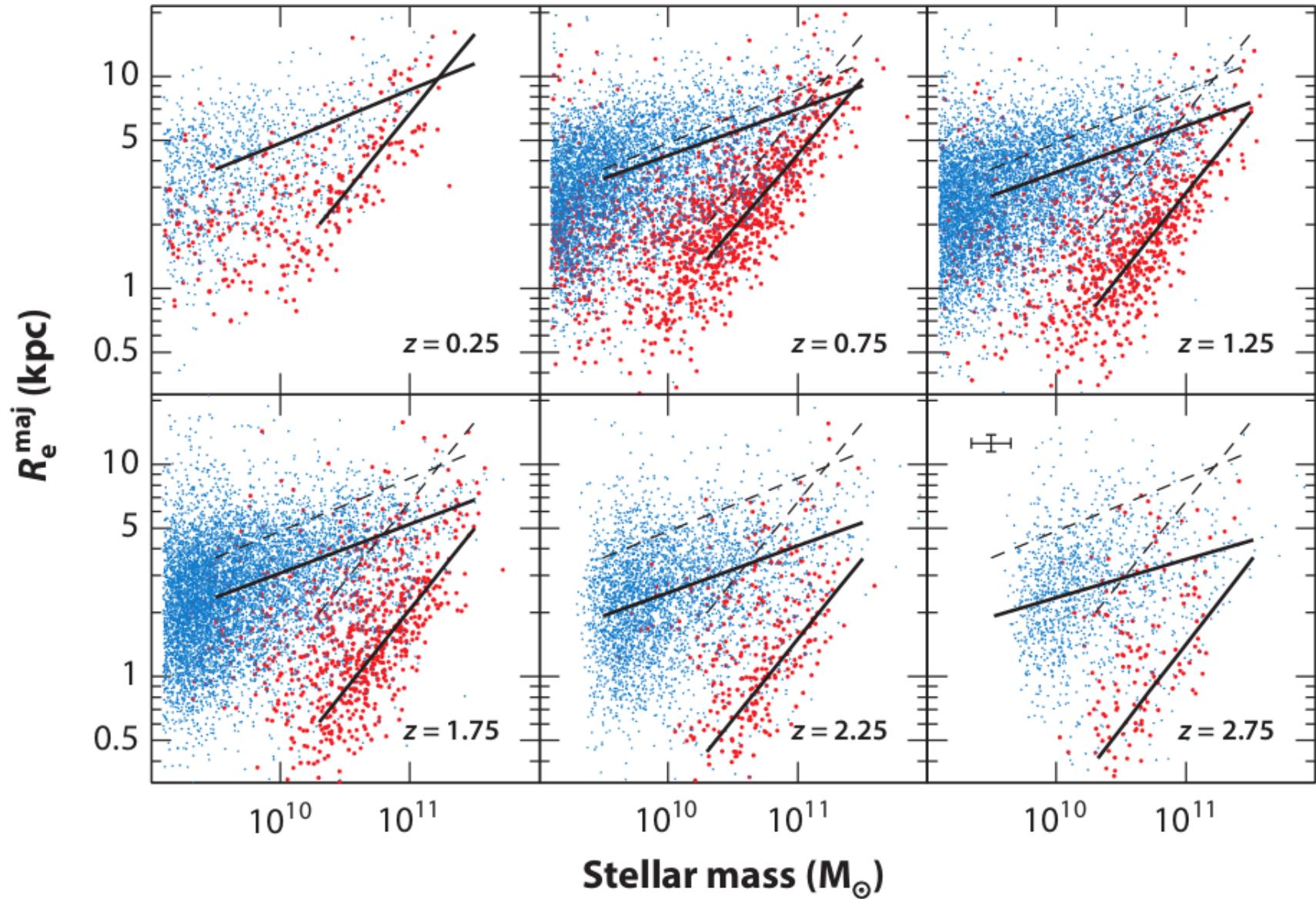
Cinemática y estructura



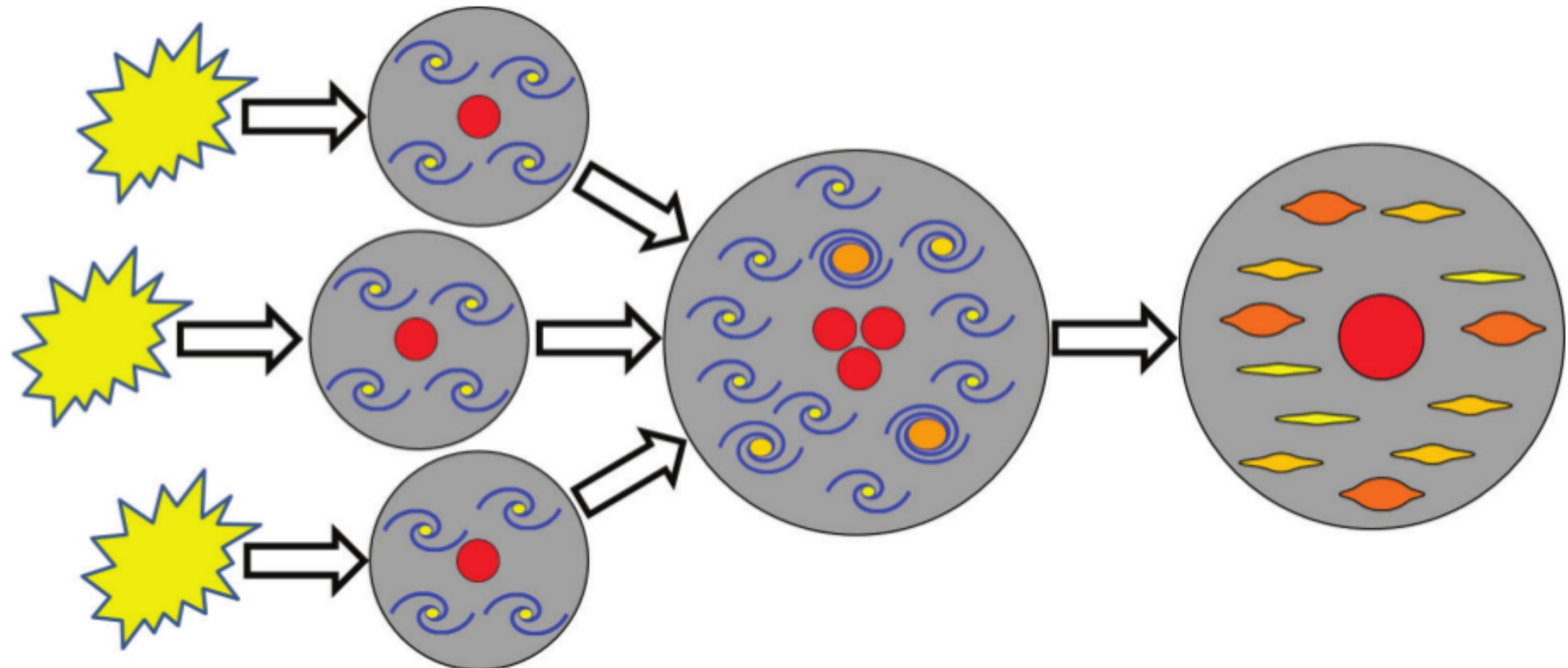
$$\Pi_{kk} = \int \rho \sigma_k^2 d^3x.$$

Π_{kk} : anisotropía en la dirección k .
 ρ : densidad estelar.
 σ_k : dispersión de velocidades.

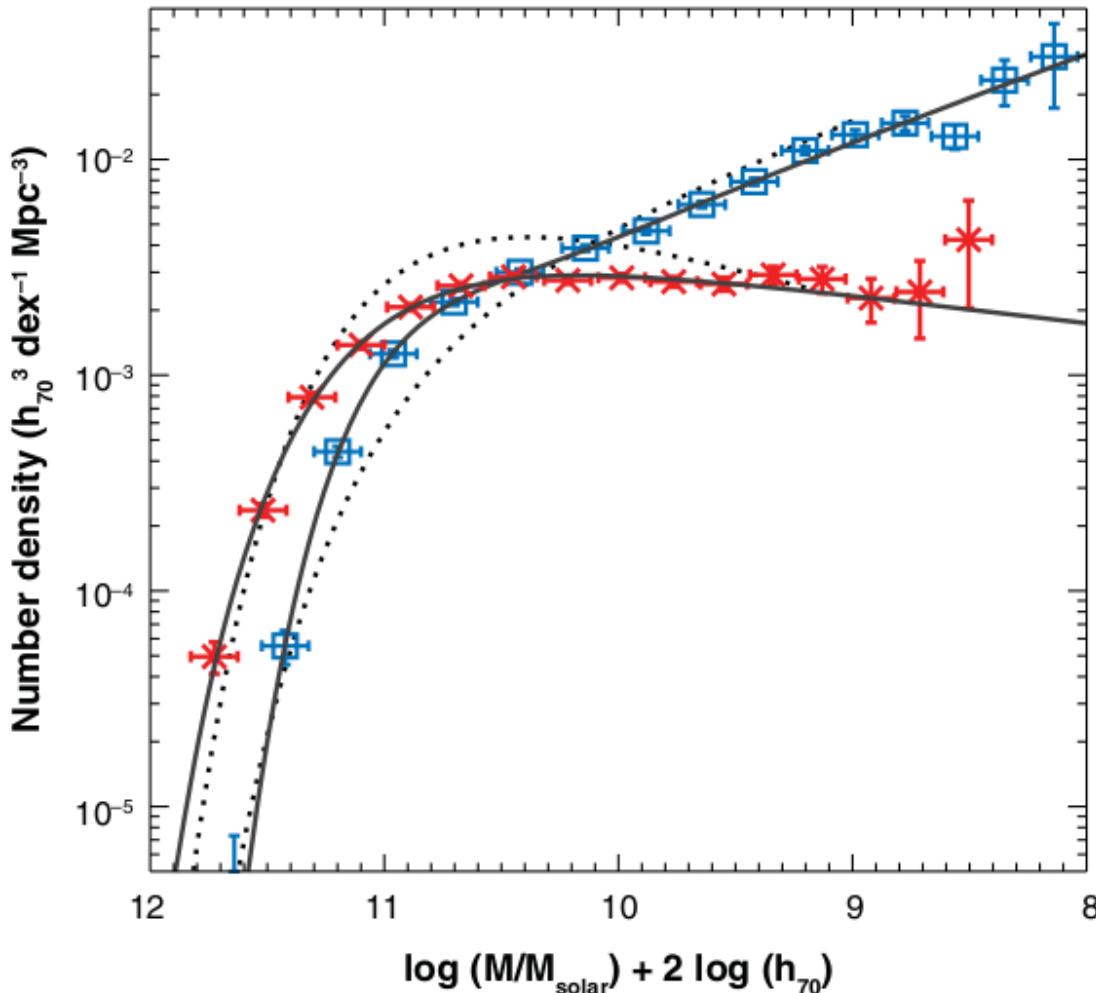
Proyección R_e - M versus z



Formación jerárquica



La función de masa de las galaxias a $z \sim 0$



Distribución de masa de las **Galaxias Tardías** y de las **Galaxias Tempranas**. Existen ETGs en casi todos los bines de masa, pero solo a $10^{11} M_{\odot}$ el número de estas galaxias es más importante que el de las demás clases morfológicas.