

Tema 6:

Propiedades estadísticas de las galaxias

Consultar: "*Galactic Astronomy*", Binney & Merrifield, 1998, Princeton, temas 4, 7.

"*An Introduction to Modern Astrophysics*", Carroll & Ostlie, 2007, Pearson, temas 25, 27 (C&O07).

"*Galaxies in the Universe*", Sparke & Gallagher III, 2008, Cambridge, temas 1, 7, 9.

"*Galaxy Formation and Evolution*", Mo, van den Bosch, White, 2010, Cambridge, Tema 15.

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



Objetivos del tema

- **Discutir propiedades globales de las poblaciones de galaxias en el Universo.**
 - ◆ **¿Cómo se describe la población de galaxias como un todo?**
 - ◆ **¿Cómo se distribuyen las galaxias en distintas propiedades básicas?**
 - ◆ **¿Cuáles son las herramientas que utilizamos para estos estudios?**

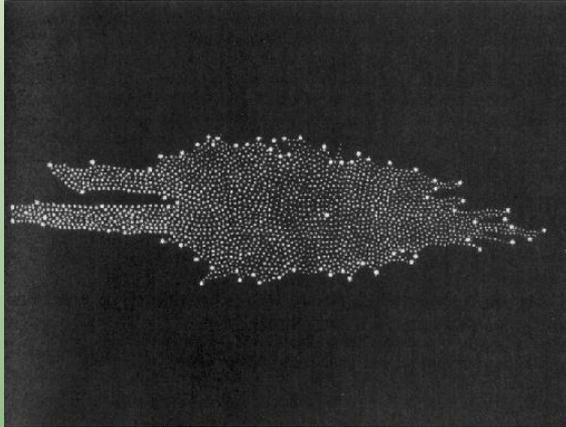


6.0.Exploraciones de galaxias

Charles Messier (1730-1817), mientras buscaba cometas, produjo el primer catálogo de objetos extensos y nebulosos (para que no se confundieran con cometas en el futuro), muchos de los cuales son galaxias (también hay cúmulos globulares, nebulosas planetarias y restos de supernova). Primero publicó una lista de 25 objetos, y luego de 103. Actualmente se habla de 110 objetos Messier, ya que se añadieron otros 7 (el último en 1966) tras revisar las notas de Messier.



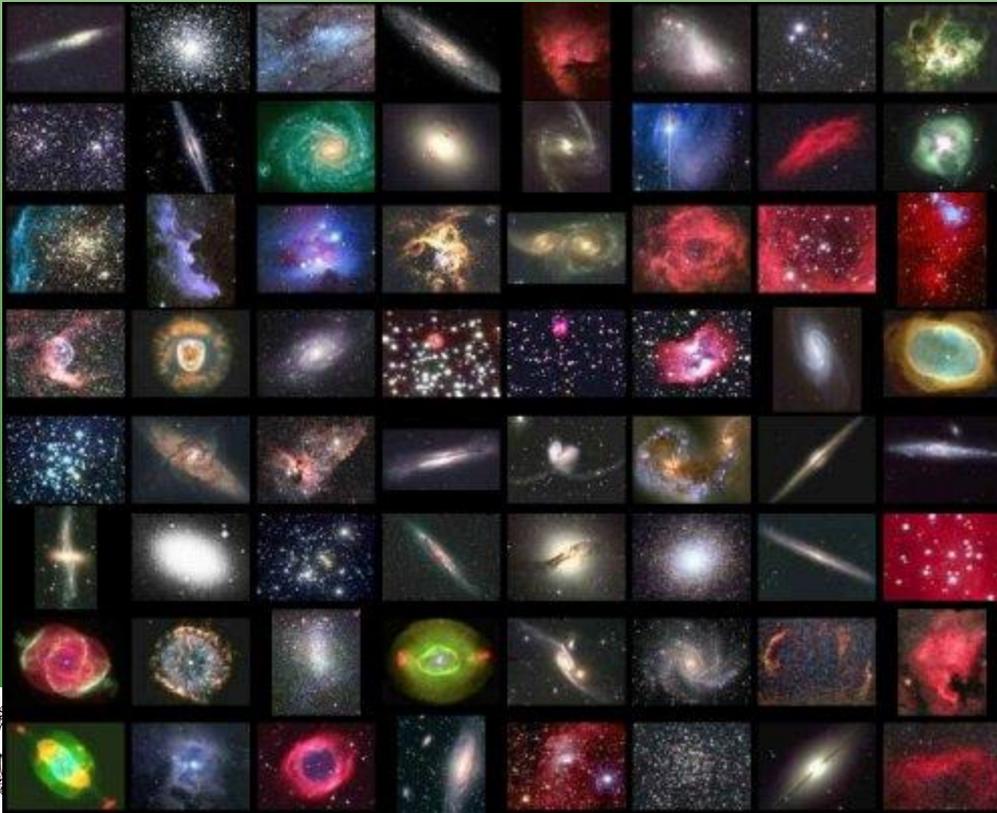
6.0.Exploraciones de galaxias



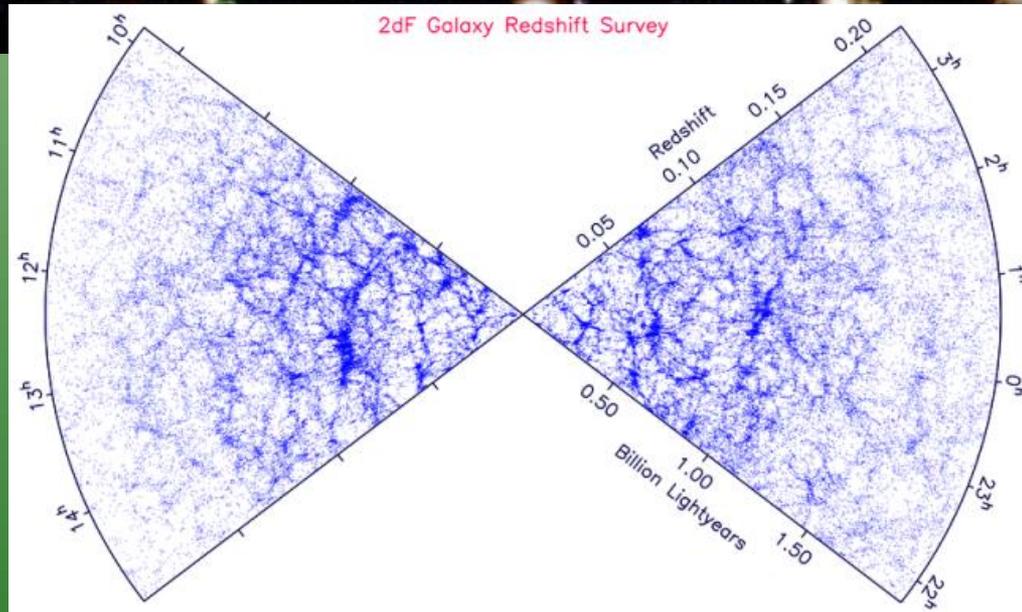
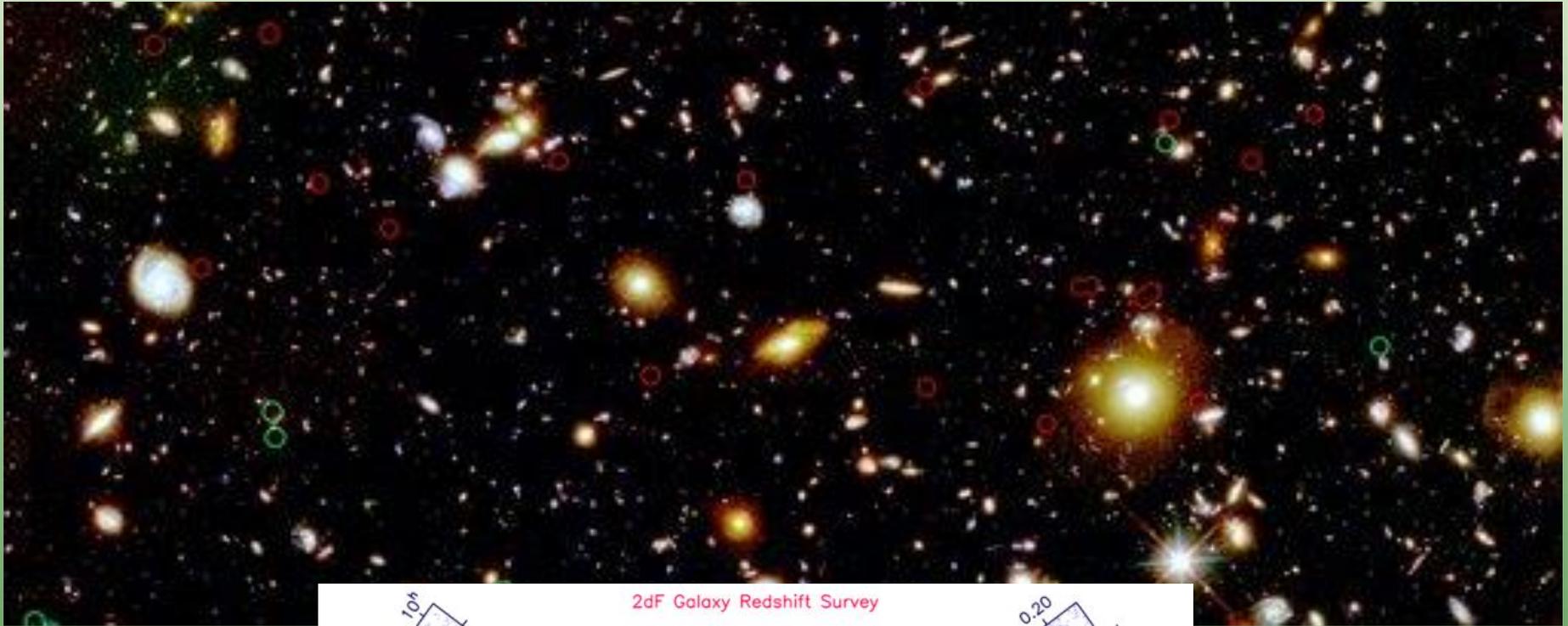
William Herschel (1738-1822), junto con su hermana **Caroline Herschel (1750-1848)**, y la ayuda de telescopios cada vez más potentes, catalogaron unas 2500 nebulosas, más débiles que las de Messier. Asimismo hizo un mapa de la Galaxia, colocando el Sol en el centro.

El catálogo fue extendido por **John Herschel (1792-1891)** y publicado en los 1888 por **J.L.E. Dreyer (1852-1926)**, conteniendo 7840 objetos y siendo conocido como el **New General Catalogue (NGC)**.

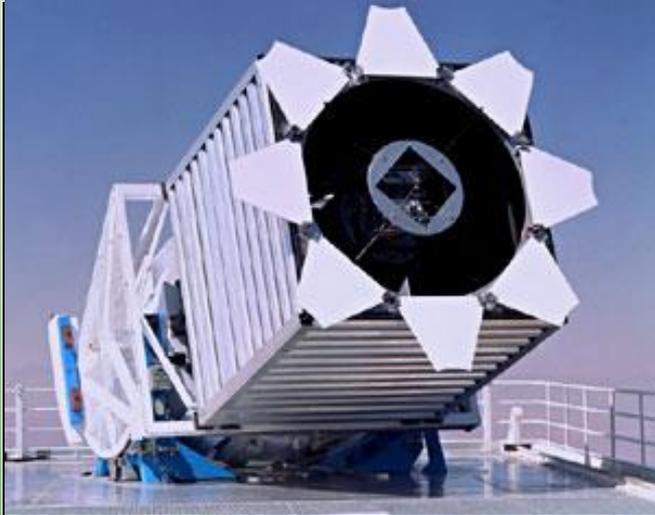
En 1895 Dreyer extendió el catálogo NGC en 5387 objetos nebulosos a través del **Index Catalog (IC)**.



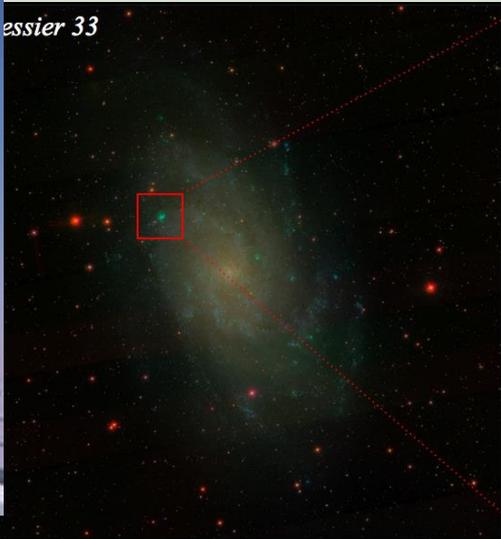
6.0.Exploraciones de galaxias



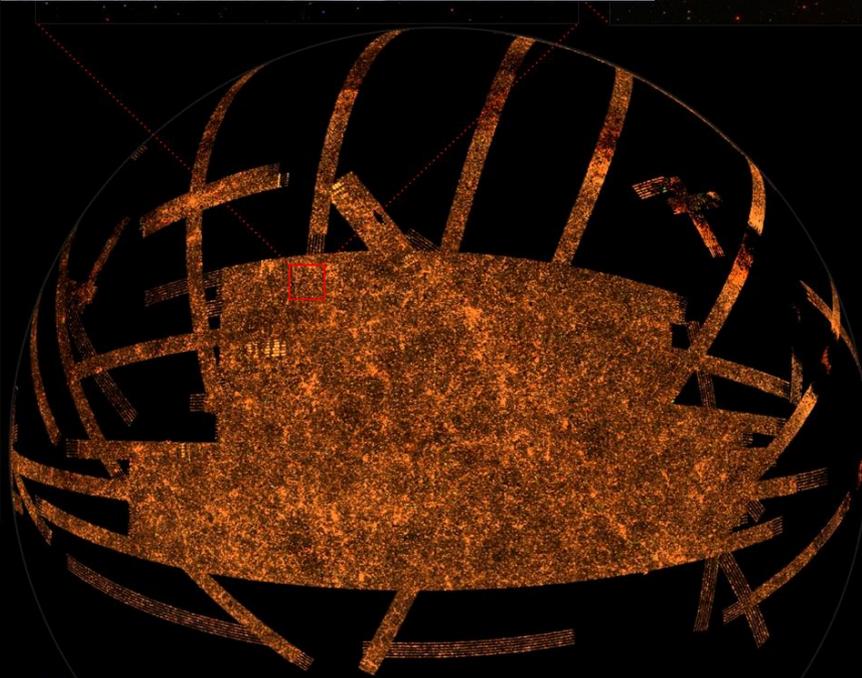
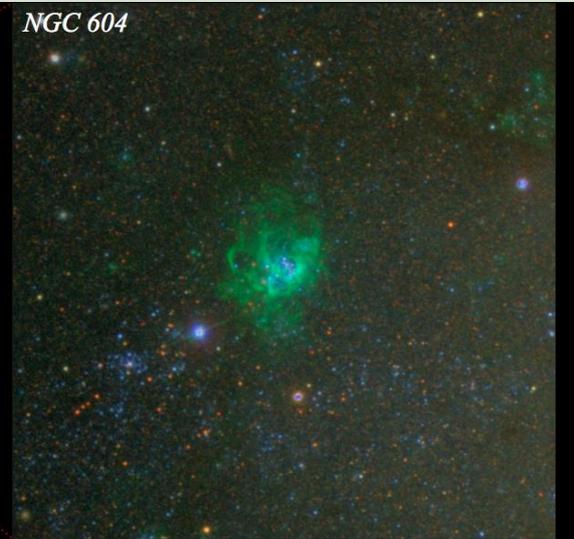
6.0.Exploraciones de galaxias



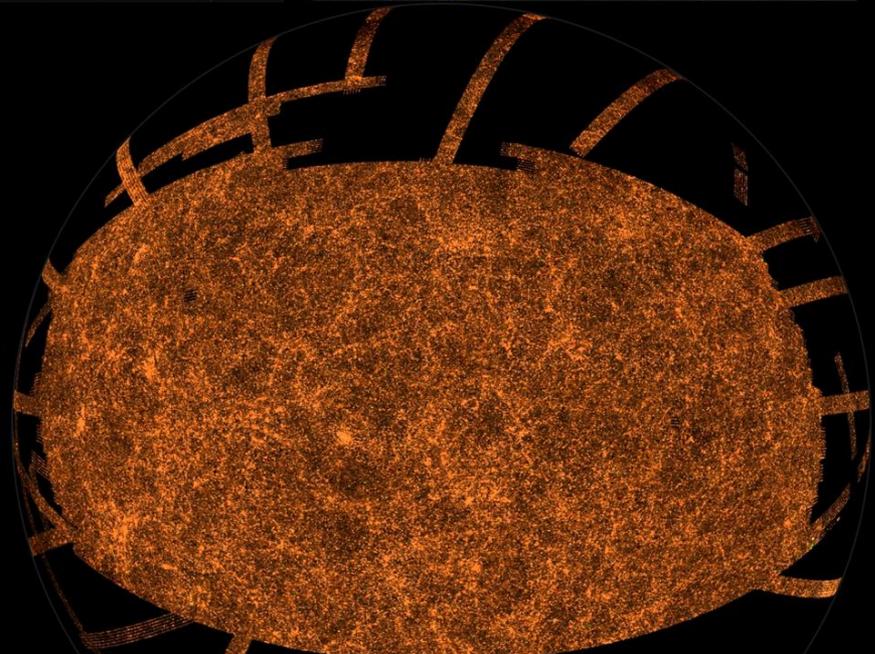
essier 33



NGC 604

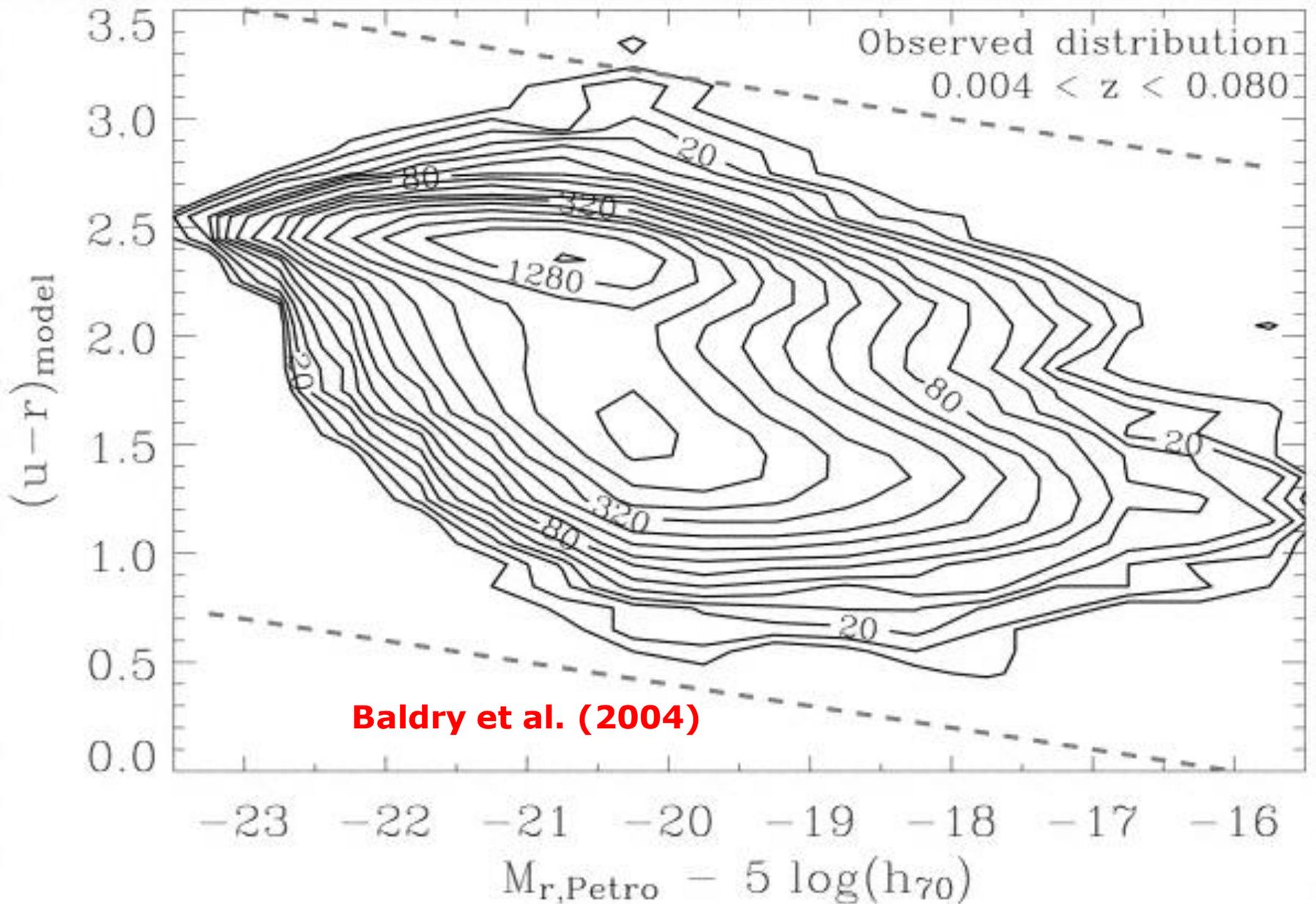


Southern Galactic Cap



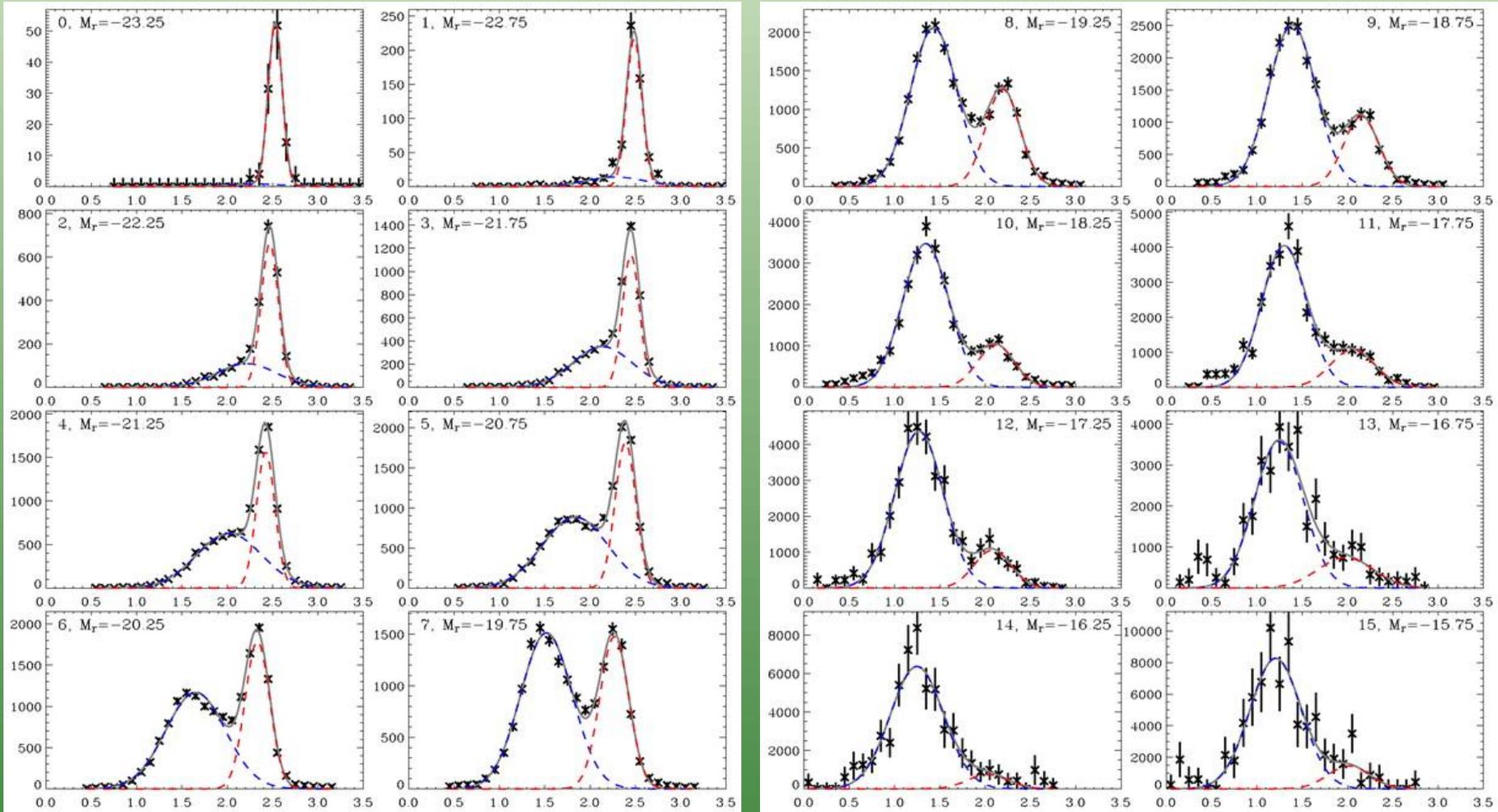
Northern Galactic Cap

6.1. Distribución de los colores de las galaxias

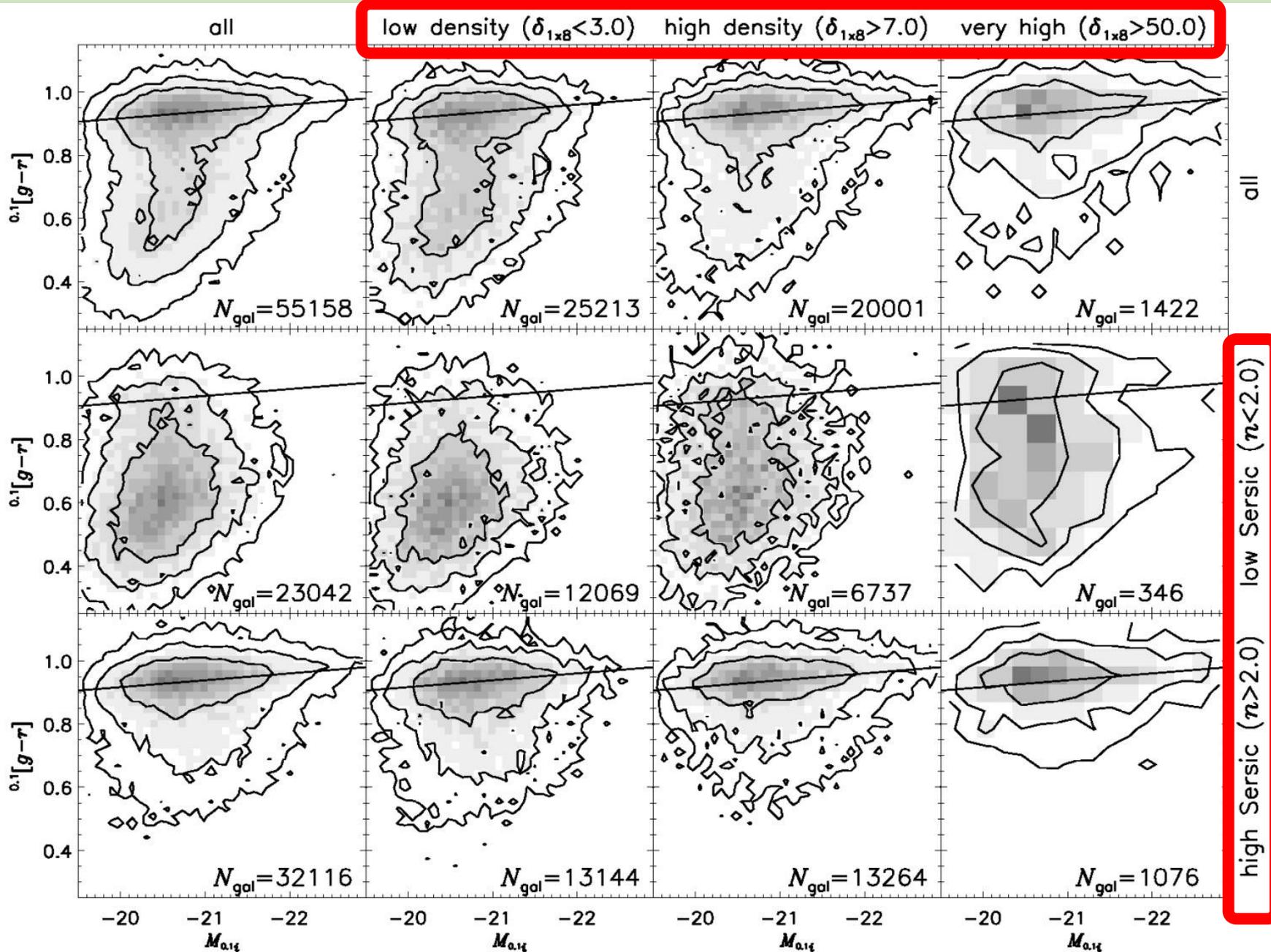


6.1. Distribución de los colores de las galaxias

Baldry et al. (2004)



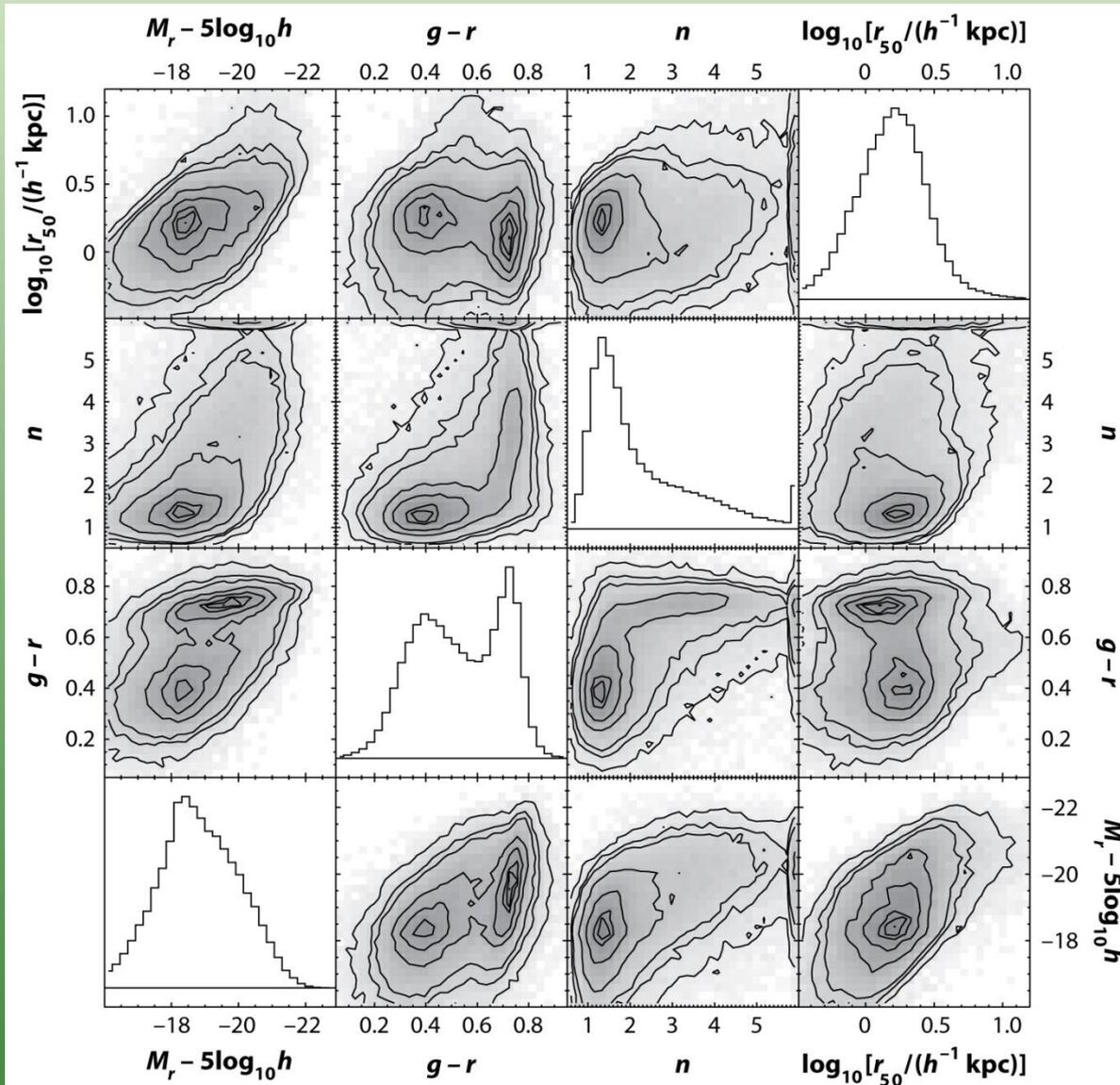
6.1. Distribución de los colores de las galaxias



Hogg et al. (2004)



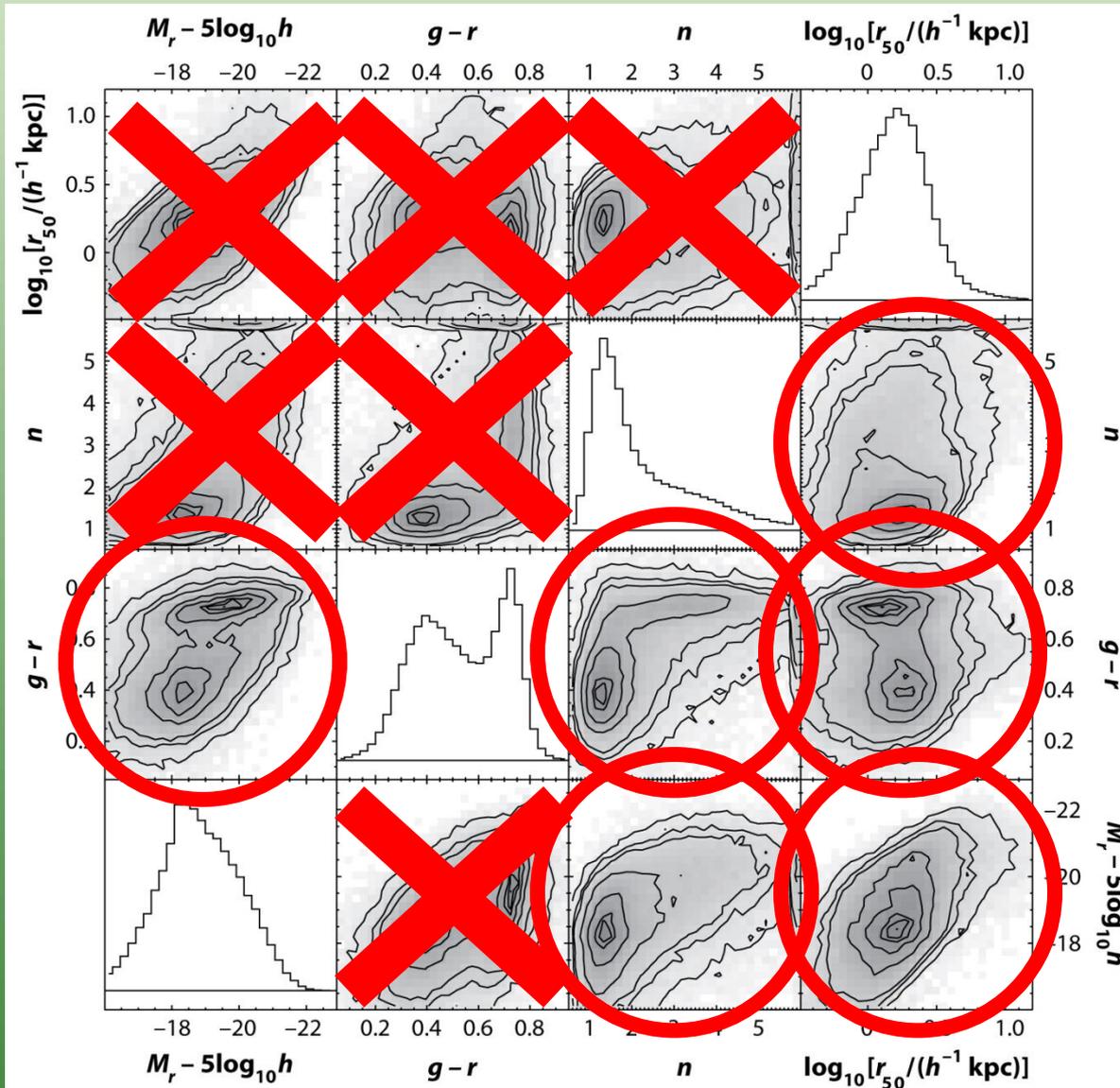
6.1. Distribución de los colores de las galaxias



Blanton MR, Moustakas J. 2009. **Blanton & Moustakas (2009)**
Annu. Rev. Astron. Astrophys. 47:159–210



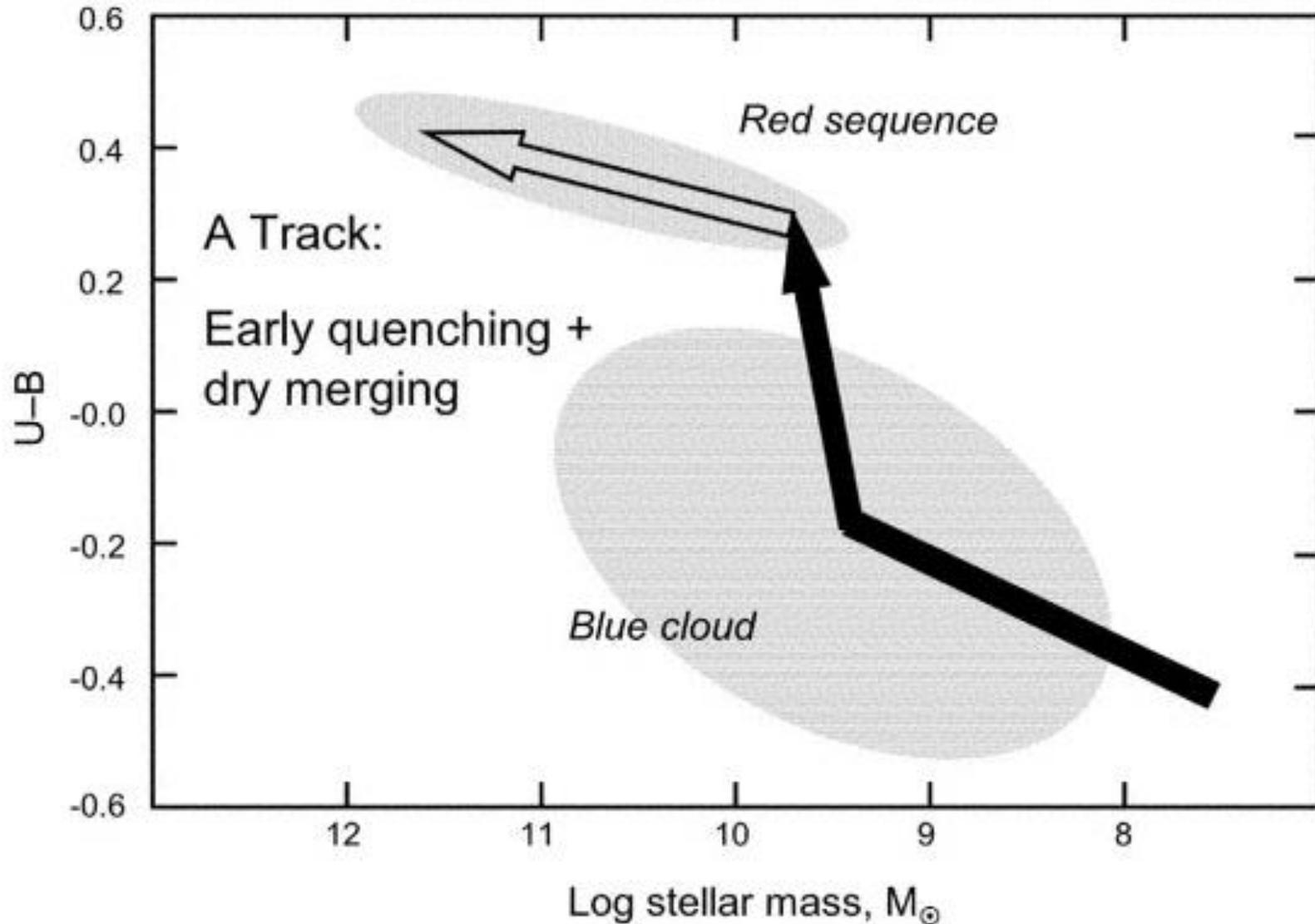
6.1. Distribución de los colores de las galaxias



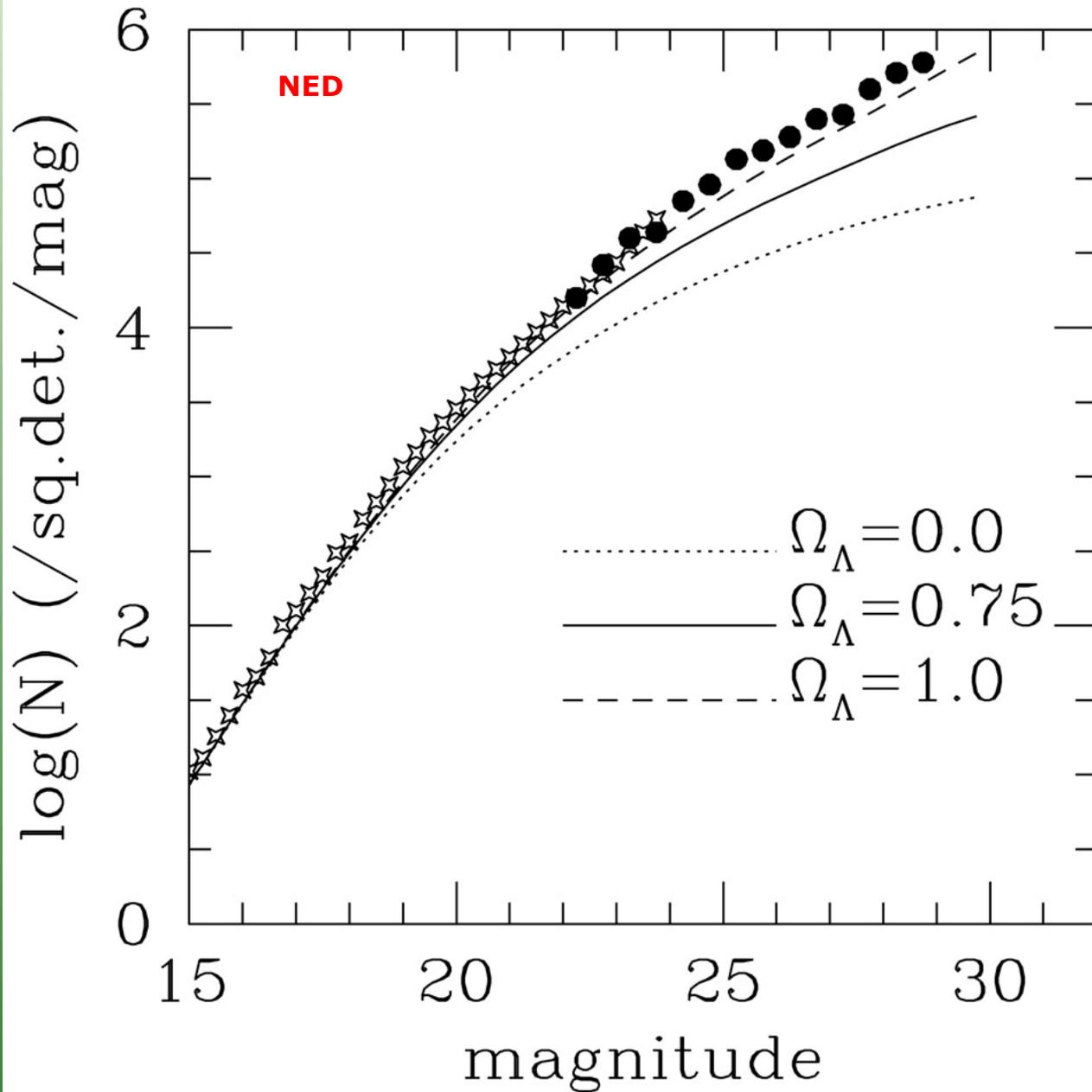
 Blanton MR, Moustakas J. 2009. **Blanton & Moustakas (2009)**
Annu. Rev. Astron. Astrophys. 47:159–210

6.1. Distribución de los colores de las galaxias

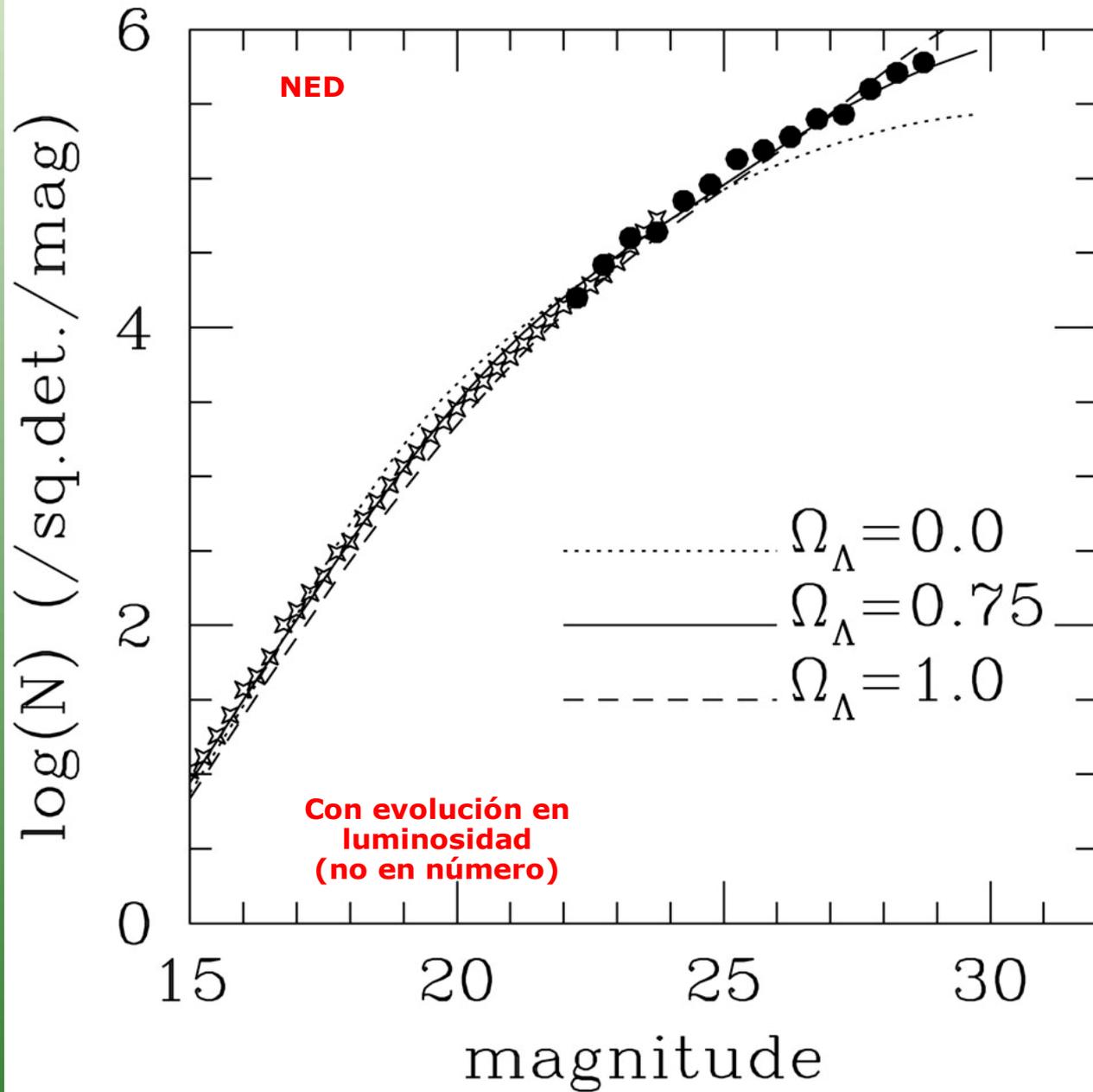
Faber et al. (2007)



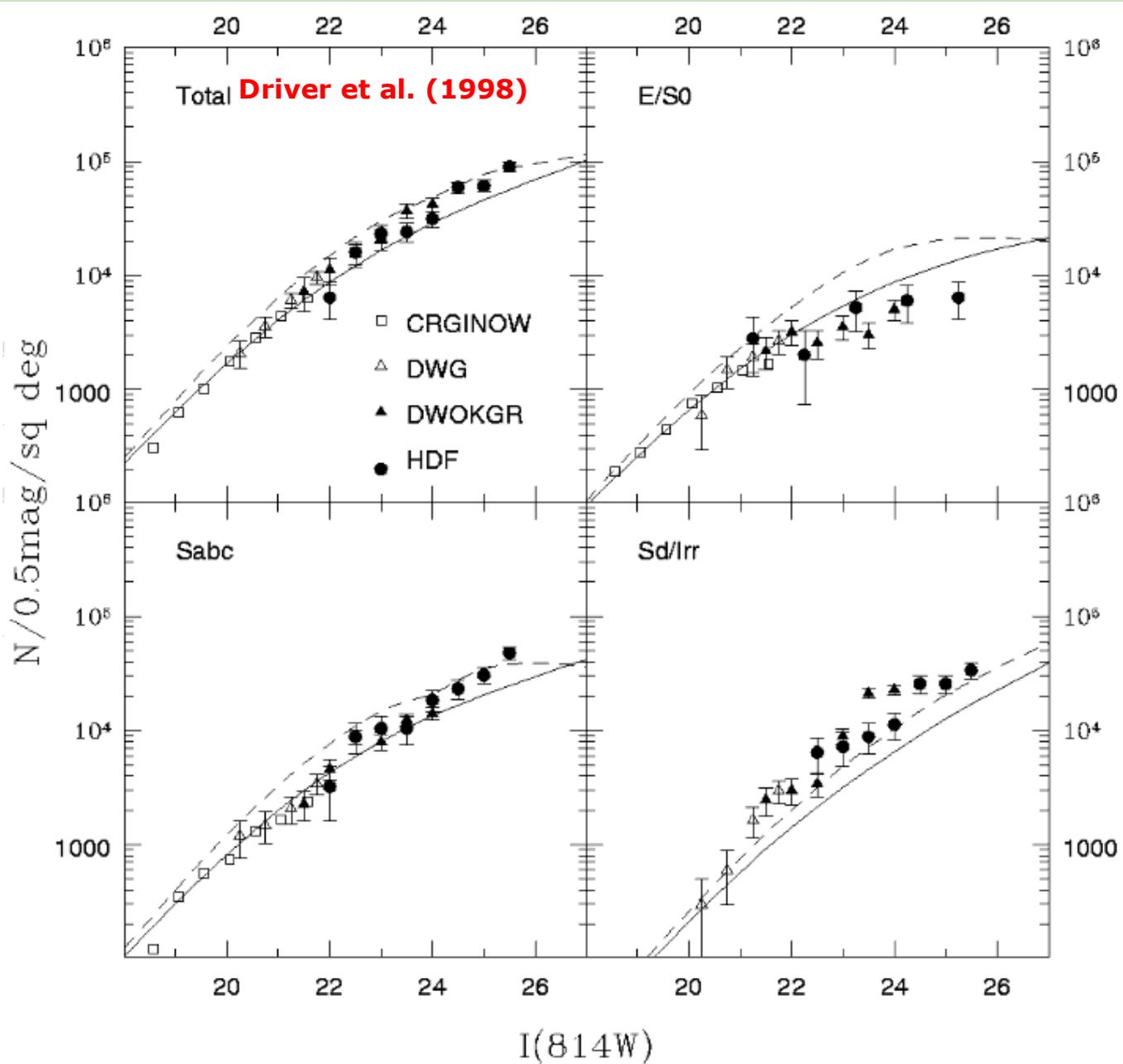
6.2.Cuentas de galaxias



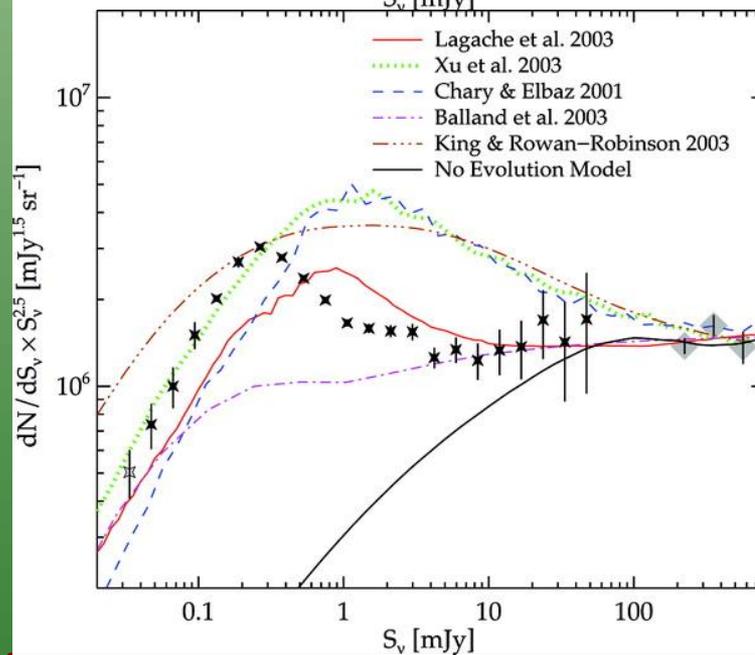
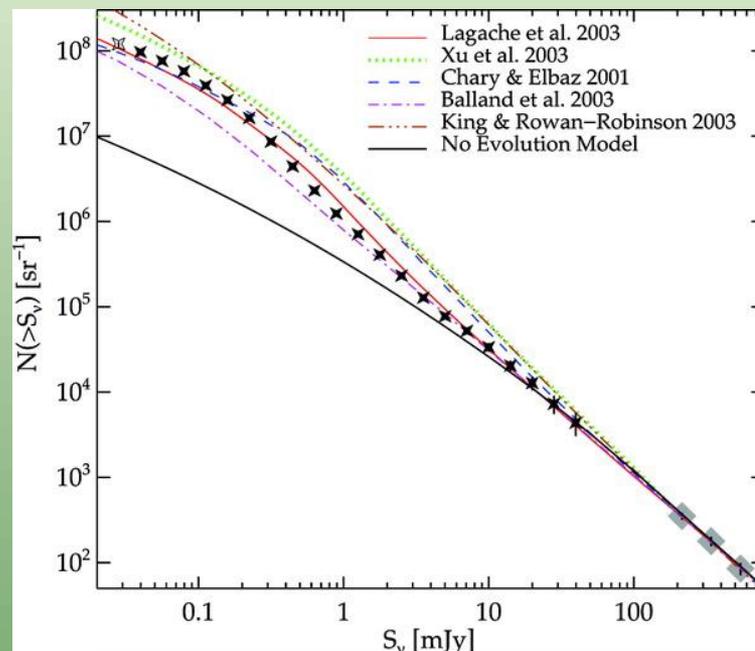
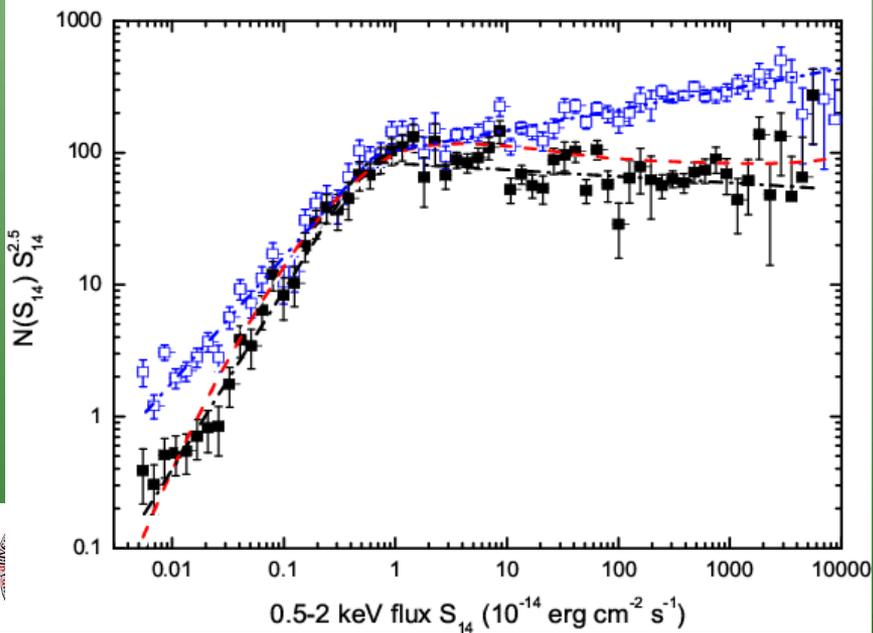
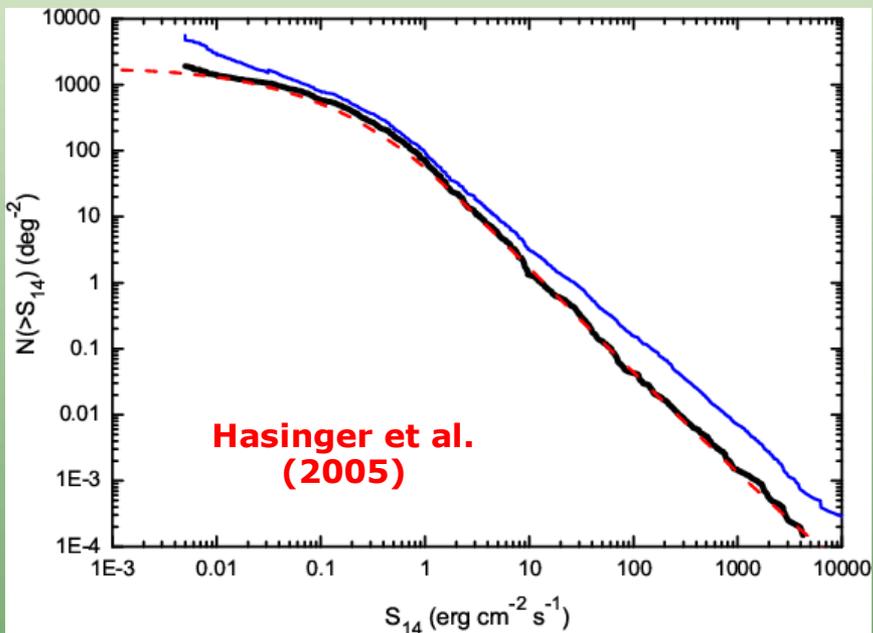
6.2.Cuentas de galaxias



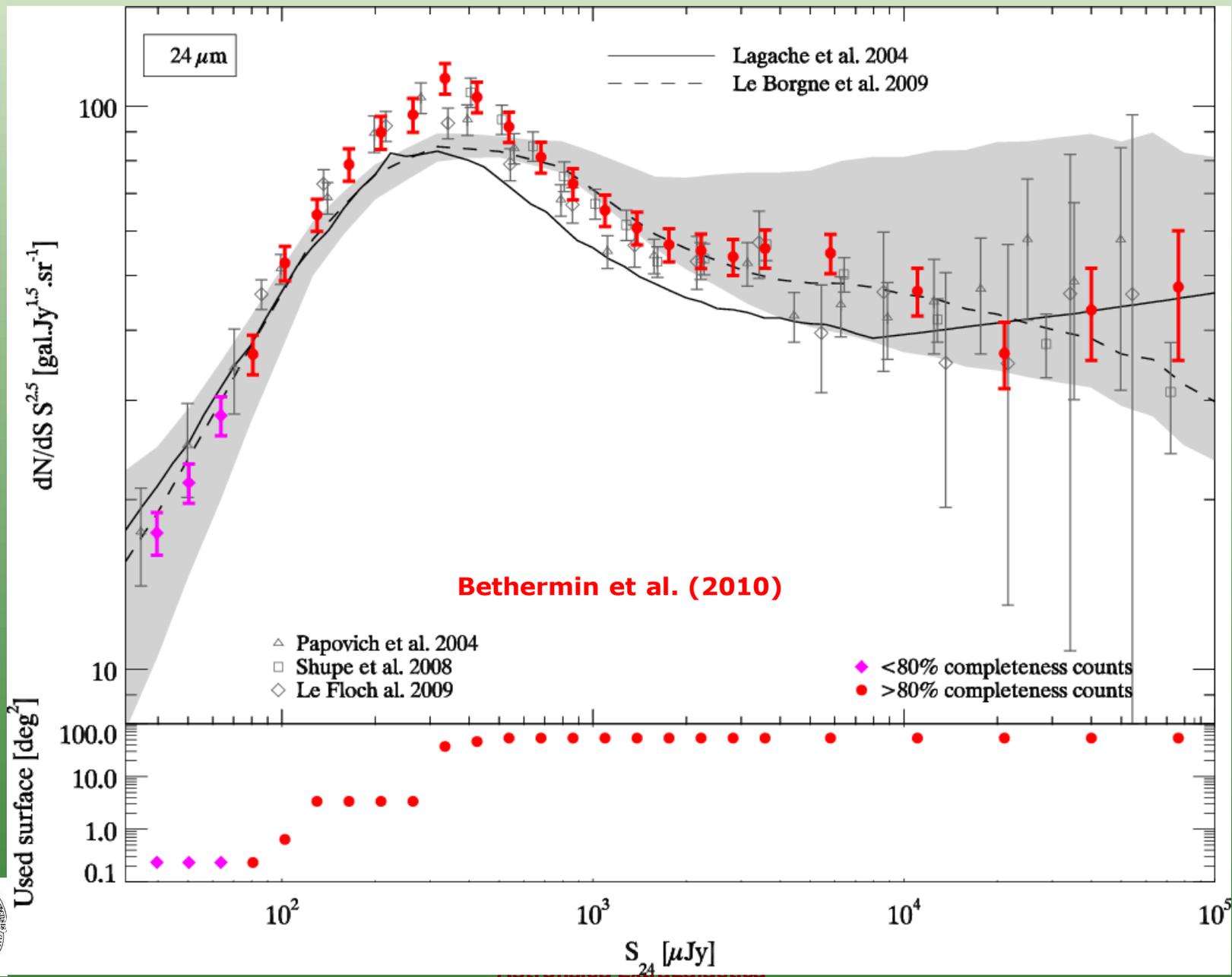
6.2. Cuentas de galaxias



6.2. Cuentas de galaxias: diferenciales vs. acumuladas



6.2.Cuentas de galaxias

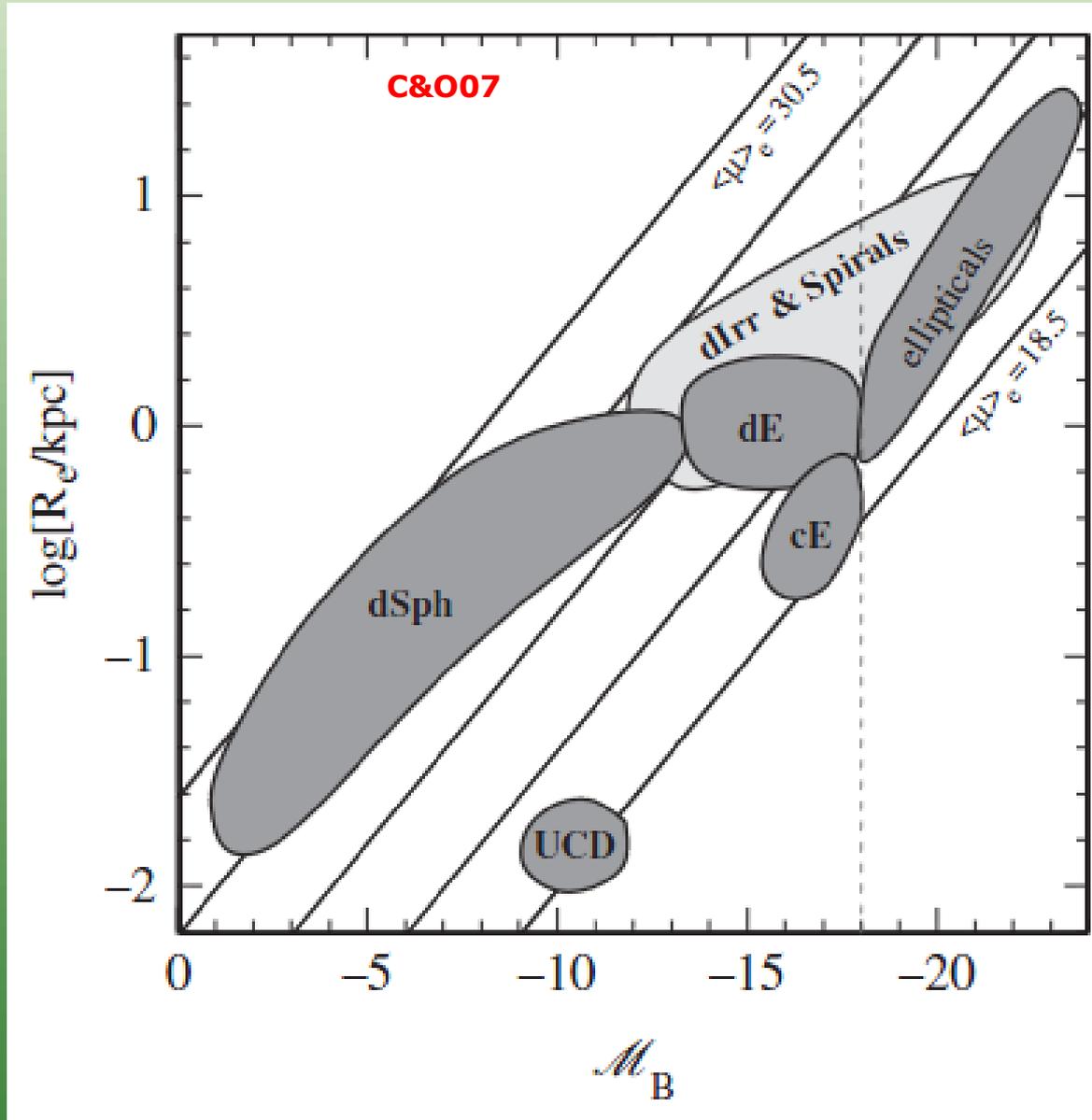


6.2.Cuentas de galaxias

<http://astro.dur.ac.uk/~nm/pubhtml/counts/counts.html>

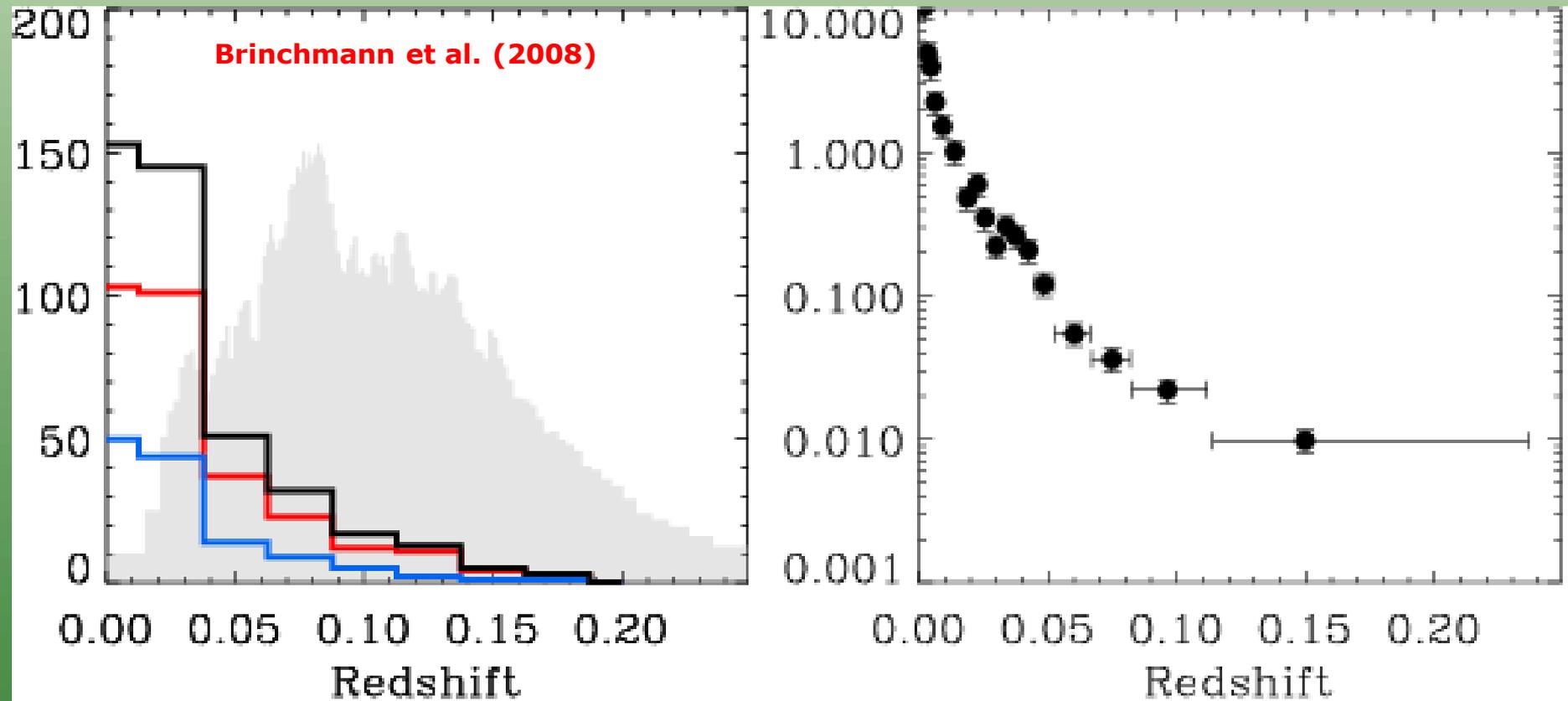


6.3. Tamaños de las galaxias

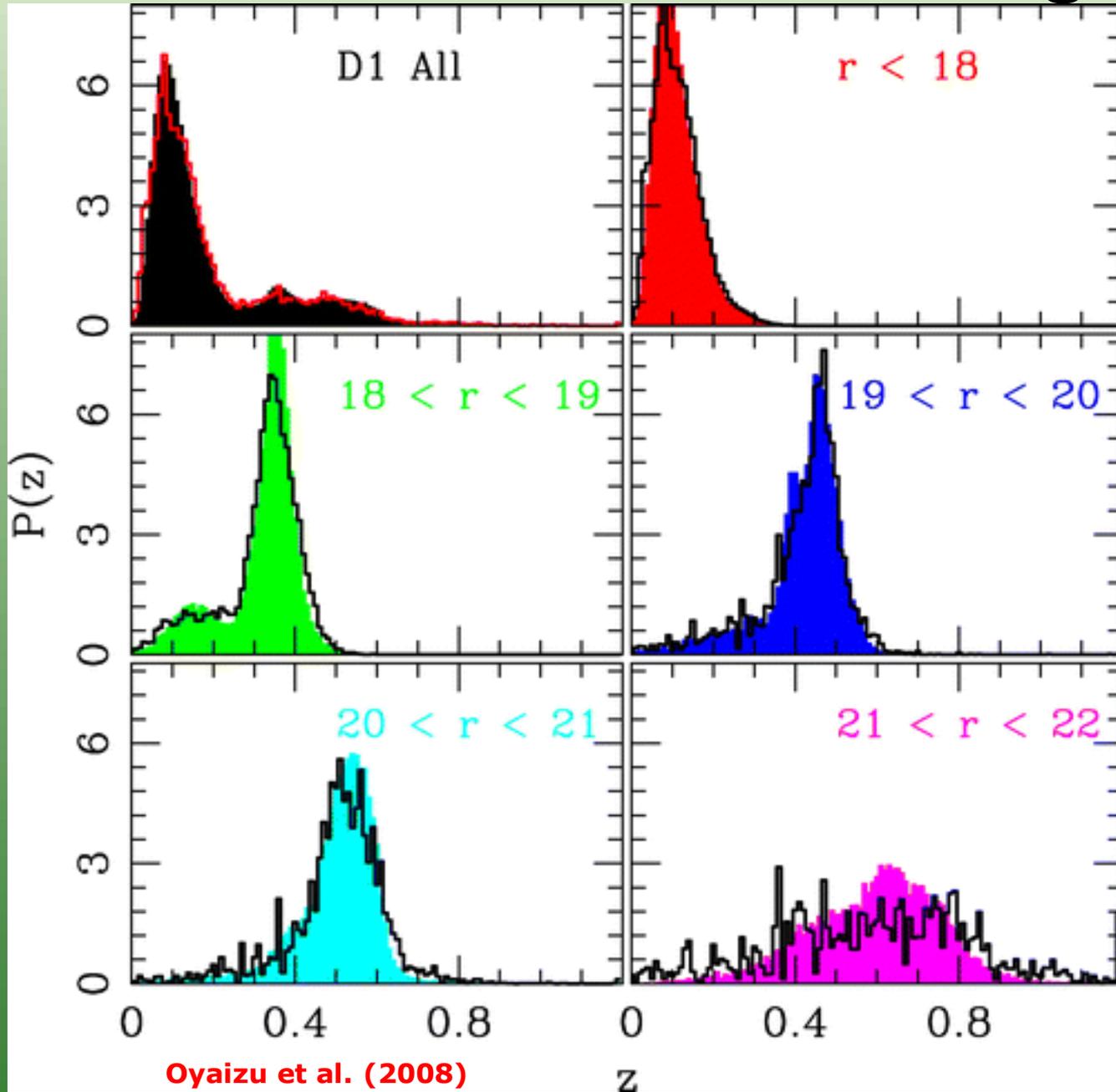


6.4. Distribuciones de redshifts

Una vez analizados parámetros directamente observables como el número de galaxias, sus flujos o magnitudes aparentes, sus colores, su morfología, etc..., para extraer información relevante hay que estimar luminosidades, lo que implica medir distancias (redshifts).



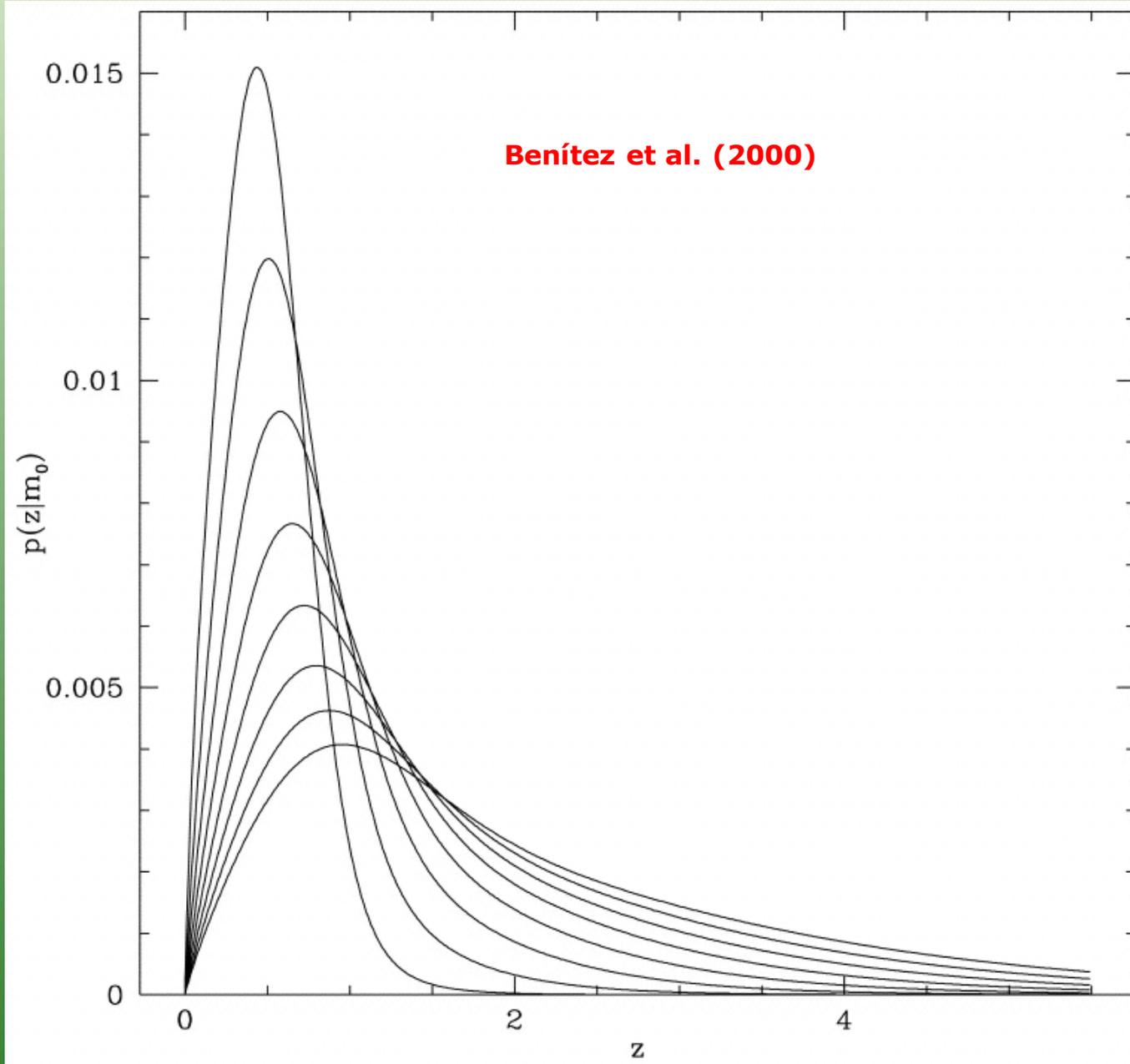
6.4. Distribuciones de redshifts: sesgos



Oyaizu et al. (2008)



6.4. Distribuciones de redshifts: sesgos



6.4. Distribuciones de redshifts: sesgos

Toda exploración de galaxias sufre de **efectos de selección**, que influyen en la detectabilidad de los objetos. Los principales sesgos observacionales que hay que tener en cuenta en la catalogación de galaxias son:

- ◆ **Efecto de selección de flujo:** las muestras seleccionadas en flujo están sesgadas hacia objetos luminosos y cercanos.
- ◆ **Tamaños angulares:** p.e., las galaxias más pequeñas pueden confundirse con estrellas.
- ◆ **Brillo superficial:** las galaxias más difusas y tenues escapan más fácilmente a la detección que las compactas y brillantes.

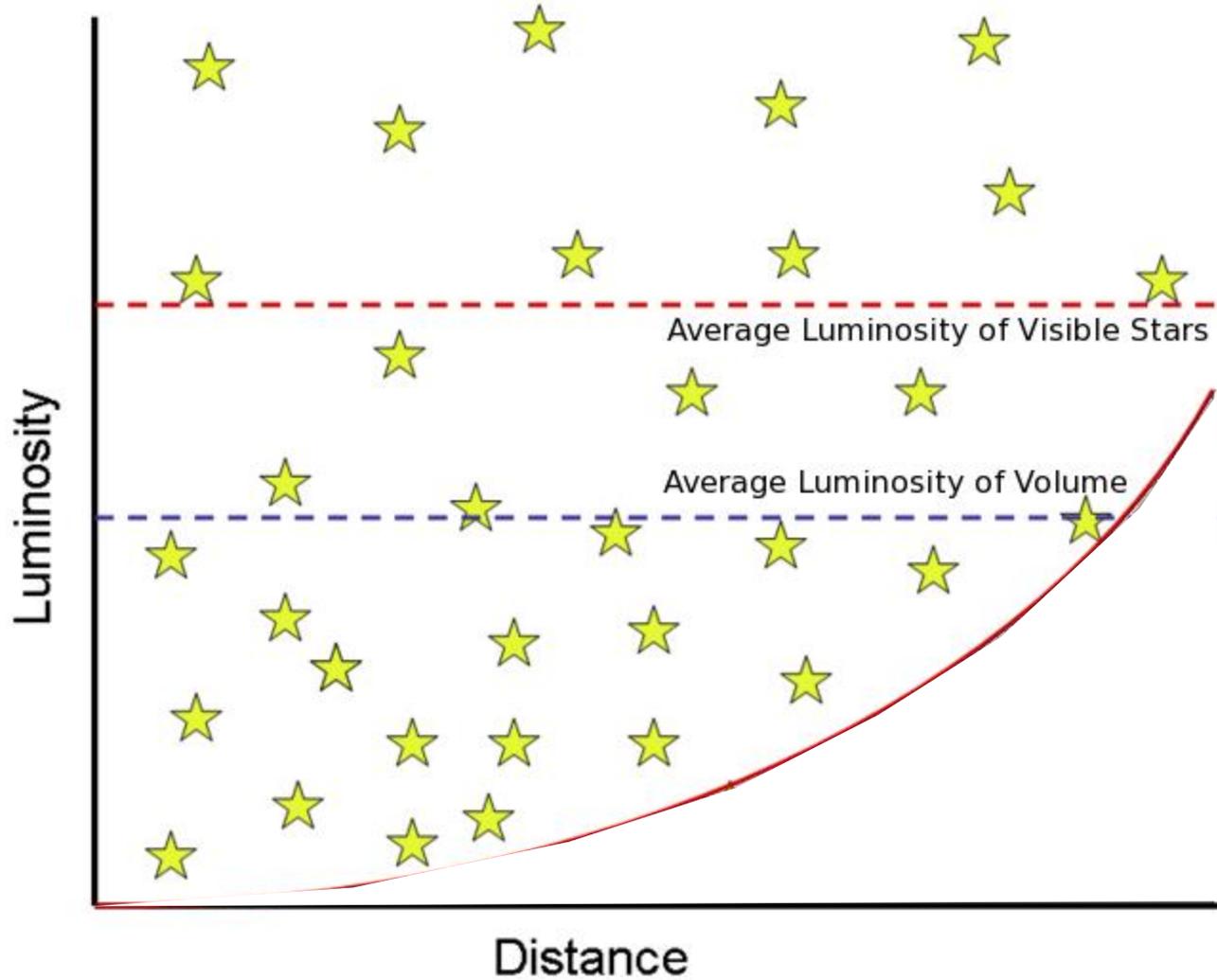
El efecto de selección más conocido es el "**Malmquist Bias**", que se refiere a exploraciones de galaxias limitadas por flujo. En éstas se encuentran sobrerrepresentadas las galaxias más brillantes, ya que se pueden detectar hasta distancias muy grandes y entonces se muestrea un volumen mayor de Universo.

Hay dos maneras de corregir del sesgo de Malmquist: trabajar con muestras limitadas en volumen hasta una magnitud absoluta M_{lim} y una distancia D_{lim} en la que todas las galaxias están detectadas.

Alternativamente cada galaxia se puede pesar con el volumen máximo hasta el que sería detectable en tu exploración.



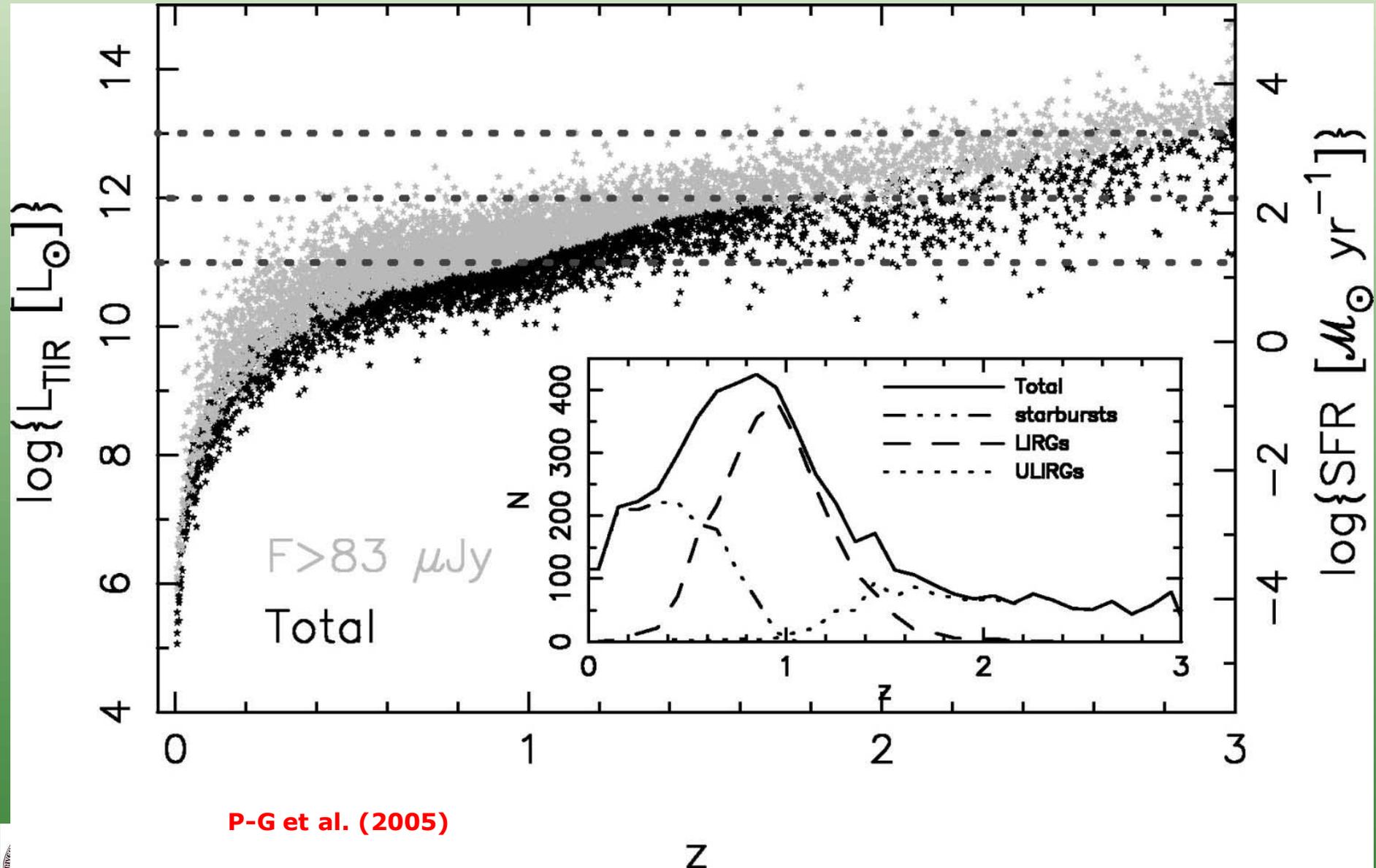
6.4. Distribuciones de redshifts: sesgos



wikipedia



6.4. Distribuciones de redshifts: sesgos



P-G et al. (2005)



6.5. Funciones de luminosidad

Uno de los parámetros fundamentales de una galaxia es su luminosidad (en una determinada longitud de onda o bolométrica). ¿Qué rango de luminosidades tienen las galaxias? ¿Cuántas galaxias de una determinada luminosidad hay? Esto es lo que describe la **función de luminosidad (LF)**.

La LF es el número de galaxias por unidad de volumen (comóvil) por intervalo de luminosidad: $\phi(L)$.

Las LFs encierran información sobre procesos como la formación y evolución de las galaxias, fusiones, cambios de tipo que experimentan las galaxias, procesos de emisión de las galaxias,... Su estudio puede darnos información sobre estos procesos de importancia cosmológica, pero la relación entre ellos es muy complicada.

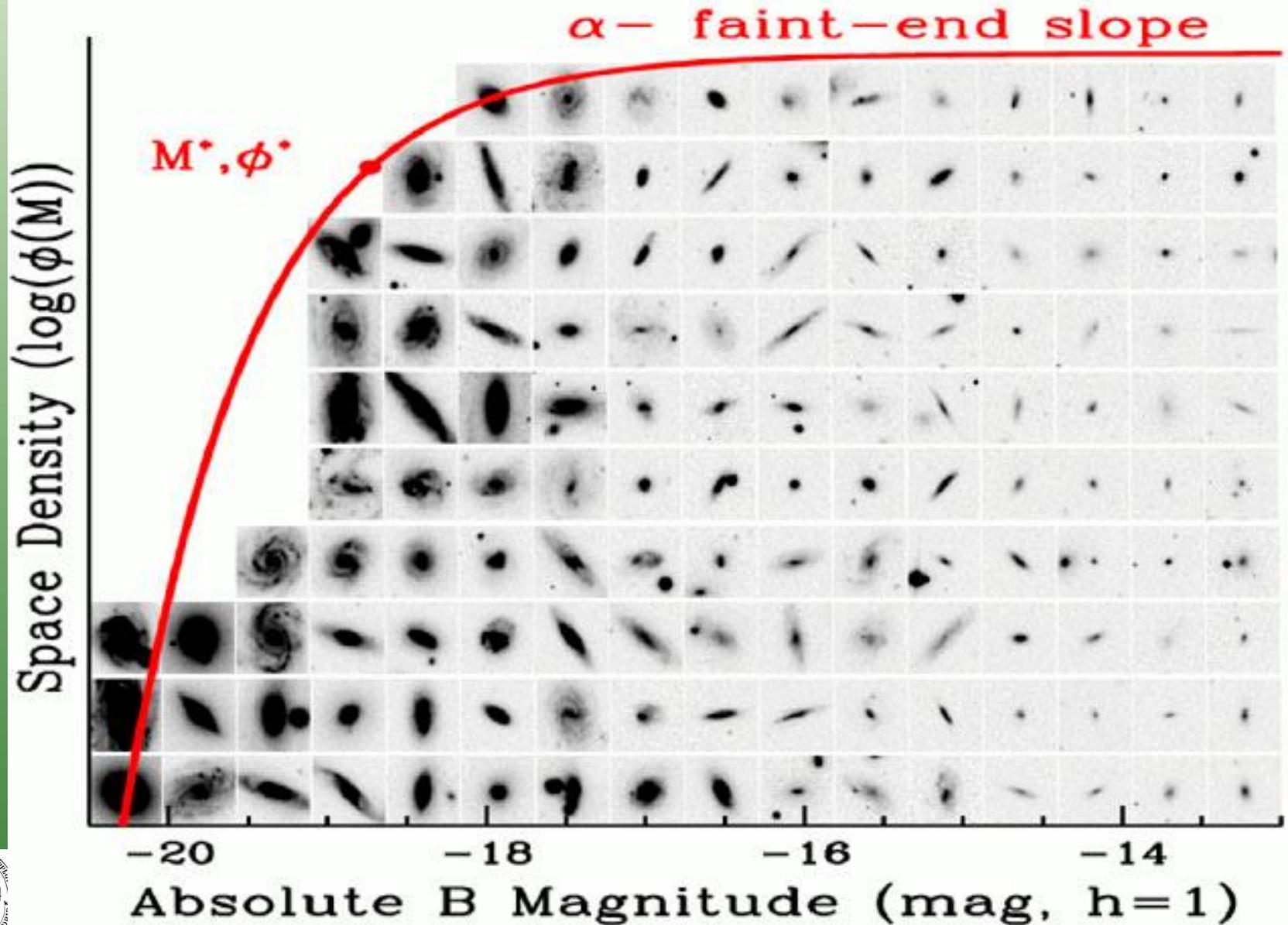
$$dN = \phi(L)dLdV \quad [\phi(L)] = \textit{galaxias Mpc}^{-3} L^{-1}$$

$$N_{gal} = \int dN = \int_V \int_0^\infty \phi(L)dLdV$$



6.5. Funciones de luminosidad

NED Level 5 (Driver 2004)



6.5. Funciones de luminosidad

$$dN = \phi(L)dLdV \quad dN = \phi(\log(L))d\log(L)dV$$

$$dN = \phi(-2.5\log L)d(-2.5\log L)dV \equiv \phi(M)dMdV$$

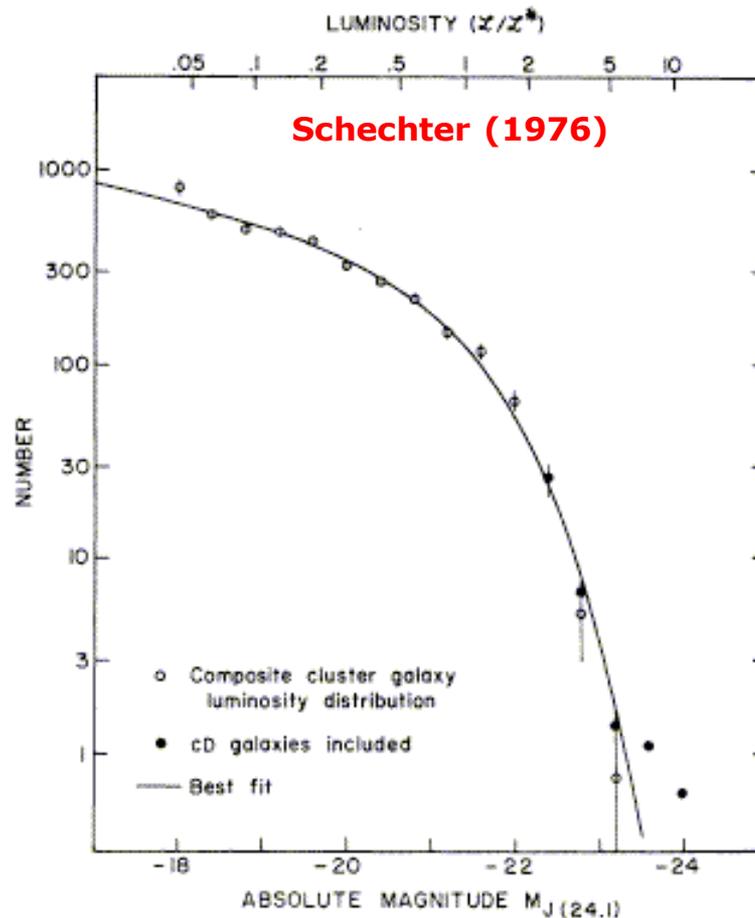


FIG. 2.—Best fit of analytic expression to observed composite cluster galaxy luminosity distribution. Filled circles show the effect of including cD galaxies in composite.



6.5. Funciones de luminosidad

Parametrización de Schechter (1976) de las LFs (función de Schechter):

$$\phi(L)dL \approx \phi^* \left(\frac{L}{L^*} \right)^\alpha e^{-L/L^*} \frac{dL}{L^*}$$

La versión para logaritmos de luminosidad y magnitudes absolutas:

$$\phi(\log L)d(\log L) = \phi^* \left(\frac{L}{L^*} \right)^\alpha e^{-L/L^*} \frac{L \times d(\log L)}{\log(e) \times L^*}$$

$$\phi(\log L) = \frac{\phi^*}{\log(e)} 10^{(\alpha+1)\log\left(\frac{L}{L^*}\right)} e^{-10^{\log\left(\frac{L}{L^*}\right)}}$$

$$\phi(M) = \frac{0.4\phi^*}{\log(e)} 10^{-0.4(\alpha+1)(M-M^*)} e^{-10^{-0.4(M-M^*)}}$$



6.5. Funciones de luminosidad

El número de galaxias total (por volumen, es decir, la densidad de galaxias), utilizando la función de Schechter, sería:

$$N = \int_0^{\infty} \phi(L) dL = \phi^* \Gamma(\alpha + 1)$$

$$\Gamma(z = \alpha + 1) = \int_0^{\infty} t^{z-1} e^{-t} dt = \int_0^{\infty} t^{\alpha} e^{-t} dt$$

$$\Gamma(n) = (n - 1)! \quad \text{con "n" un entero}$$

Y la DENSIDAD de luminosidad total:

$$\rho_L = \int_0^{\infty} \phi(L) L dL = \phi^* L^* \Gamma(\alpha + 2)$$

La función $\Gamma(z)$ tiene problemas para $z < 0$ (diverge o es negativa), por lo que, contando con que α vale toma valores típicos entre -0.5 y -2.0, la densidad de galaxias es finita (y positiva, como debe ser) si $\alpha > -1$ (salvo cambio de forma a luminosidades bajas) y la densidad de luminosidad de todas las galaxias que entran en una LF tiene un valor válido si $\alpha > -2$.

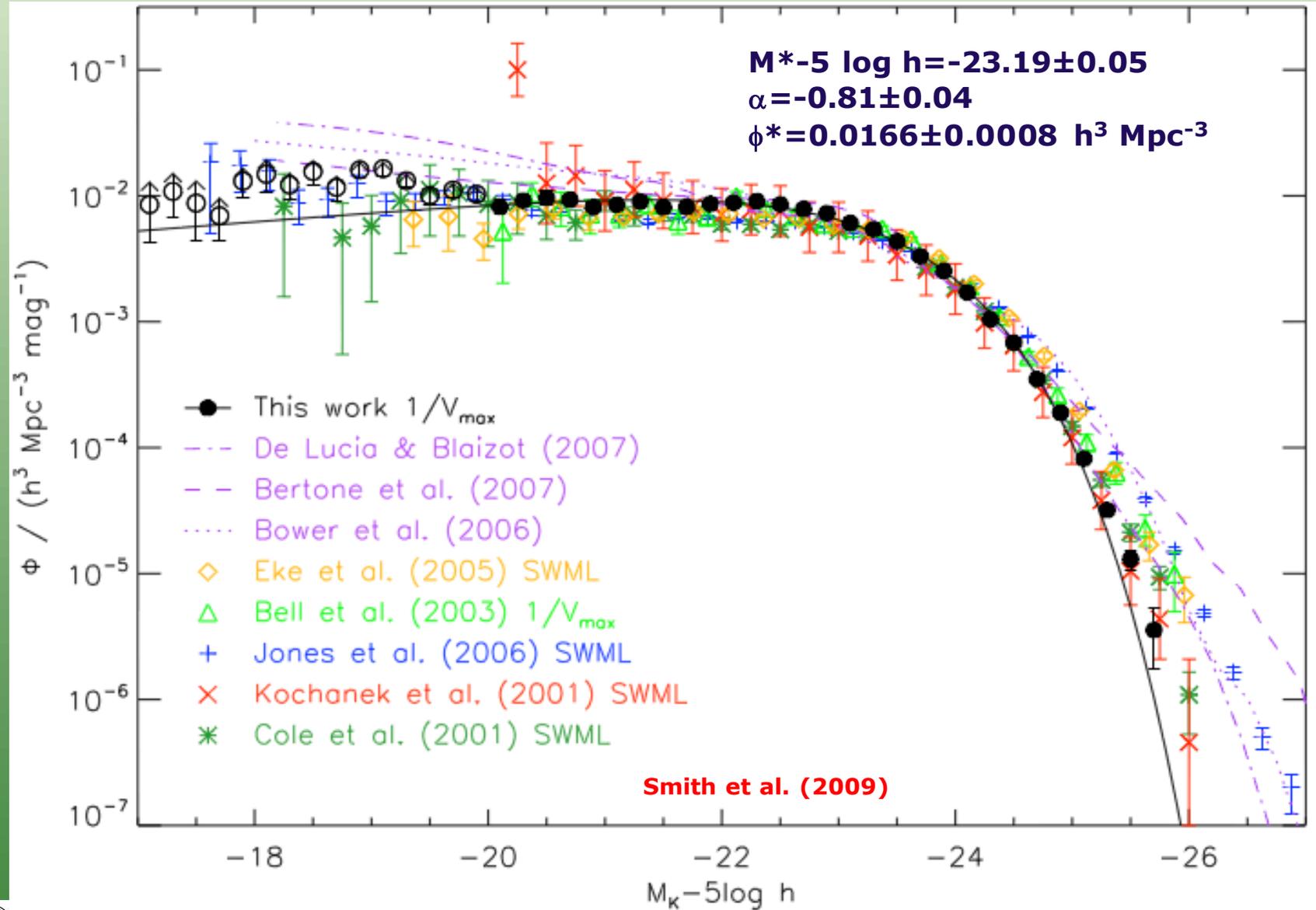
Si queremos el número de galaxias en un intervalo de luminosidad determinado se necesita la función Gamma incompleta:

$$N(L > L_1) = \int_{L_1}^{\infty} \phi(L) dL = \phi^* \Gamma(\alpha + 1, L_1 / L^*)$$

$$\Gamma(\alpha + 1, L_1 / L^*) = \int_{L_1}^{\infty} t^{\alpha} e^{-t} dt$$



6.5. Funciones de luminosidad



6.5. Funciones de luminosidad

$$\frac{N(L > L^*)}{N_{TOT}} = \frac{\int_{L^*}^{\infty} \phi(L) dL}{\int_0^{\infty} \phi(L) dL} = \frac{\phi^* \Gamma(\alpha + 1, 1)}{\phi^* \Gamma(\alpha + 1)}$$

Por ejemplo, para $\alpha = -0.9$ tenemos:

$$\frac{N(L > L^*)}{N_{TOT}} = \frac{0.2295}{9.5135} = 0.024 = 2.4\% \quad \frac{N(L > L^*/2)}{N_{TOT}} = \frac{0.5575}{9.5135} = 0.059 = 5.9\%$$

En el caso de luminosidades:

$$\frac{L(L > L^*)}{L_{TOT}} = \frac{\int_{L^*}^{\infty} L \phi(L) dL}{\int_0^{\infty} L \phi(L) dL} = \frac{\phi^* L^* \Gamma(\alpha + 2, 1)}{\phi^* L^* \Gamma(\alpha + 2)}$$

Para $\alpha = -1.3$:

$$\frac{L(L > L^*)}{L_{TOT}} = \frac{0.3100}{1.2981} = 0.239 = 24\% \quad \frac{L(L > L^*/2)}{L_{TOT}} = \frac{0.5744}{1.2981} = 0.442 = 44\%$$

$$\frac{L(L > 0.29L^*)}{L_{TOT}} = \frac{0.6494}{1.2981} = 0.500 = 50\%$$

<http://www.efunda.com/math/gamma/findgamma.cfm>

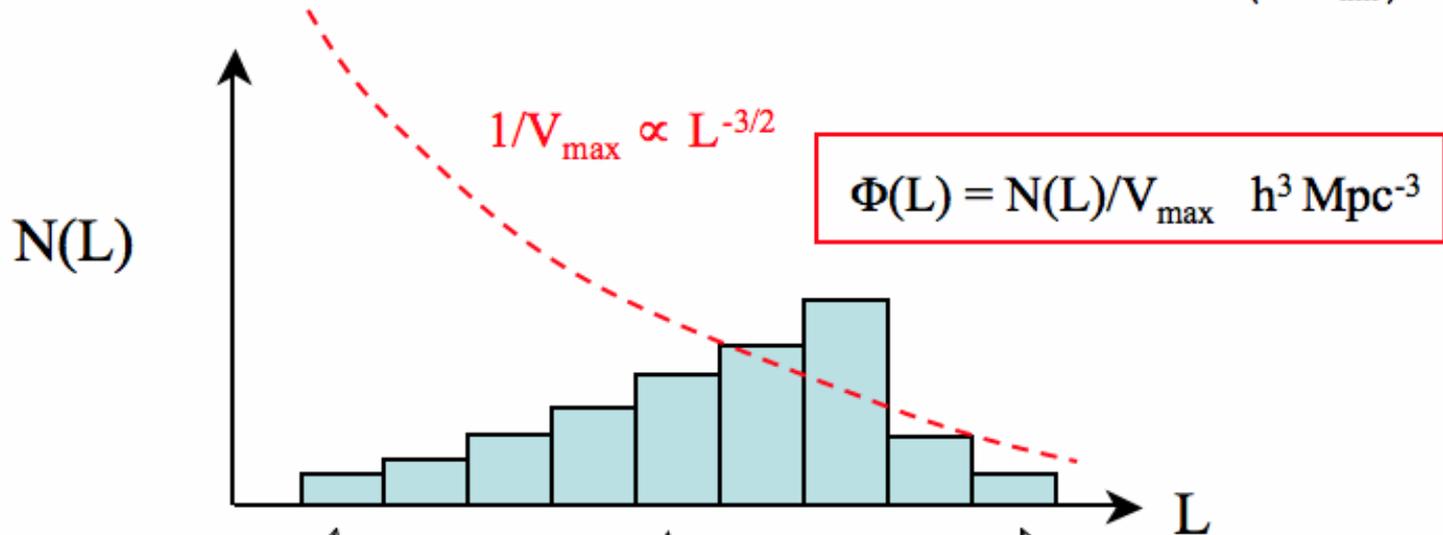
<http://www.danielsoper.com/statcalc/calc23.aspx>



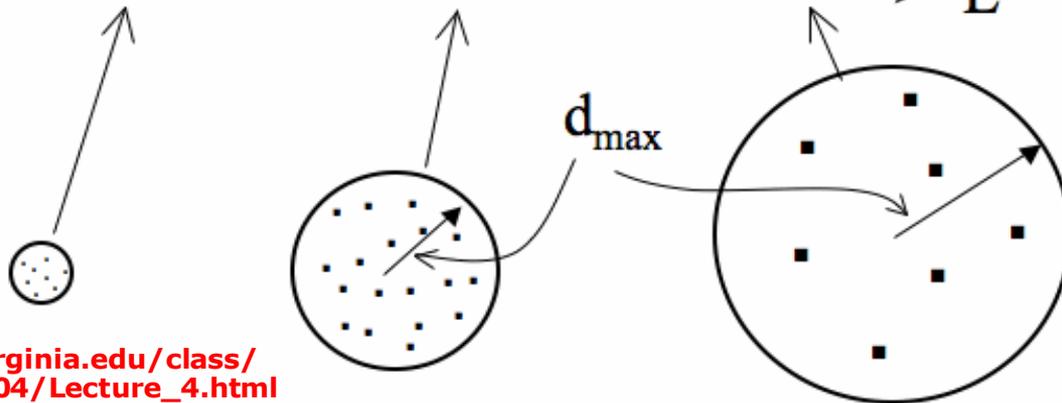
6.5.LFs: sesgos y estimaciones

$1/V_{\max}$ corrections for Malmquist bias

Flux limit f_{lim} $f_{\text{lim}} = \frac{L}{4\pi d_{\text{max}}^2}$ $d_{\text{max}} = \left(\frac{L}{4\pi f_{\text{lim}}}\right)^{1/2}$ $V_{\text{max}} = \frac{4\pi}{3} \left(\frac{L}{4\pi f_{\text{lim}}}\right)^{3/2}$



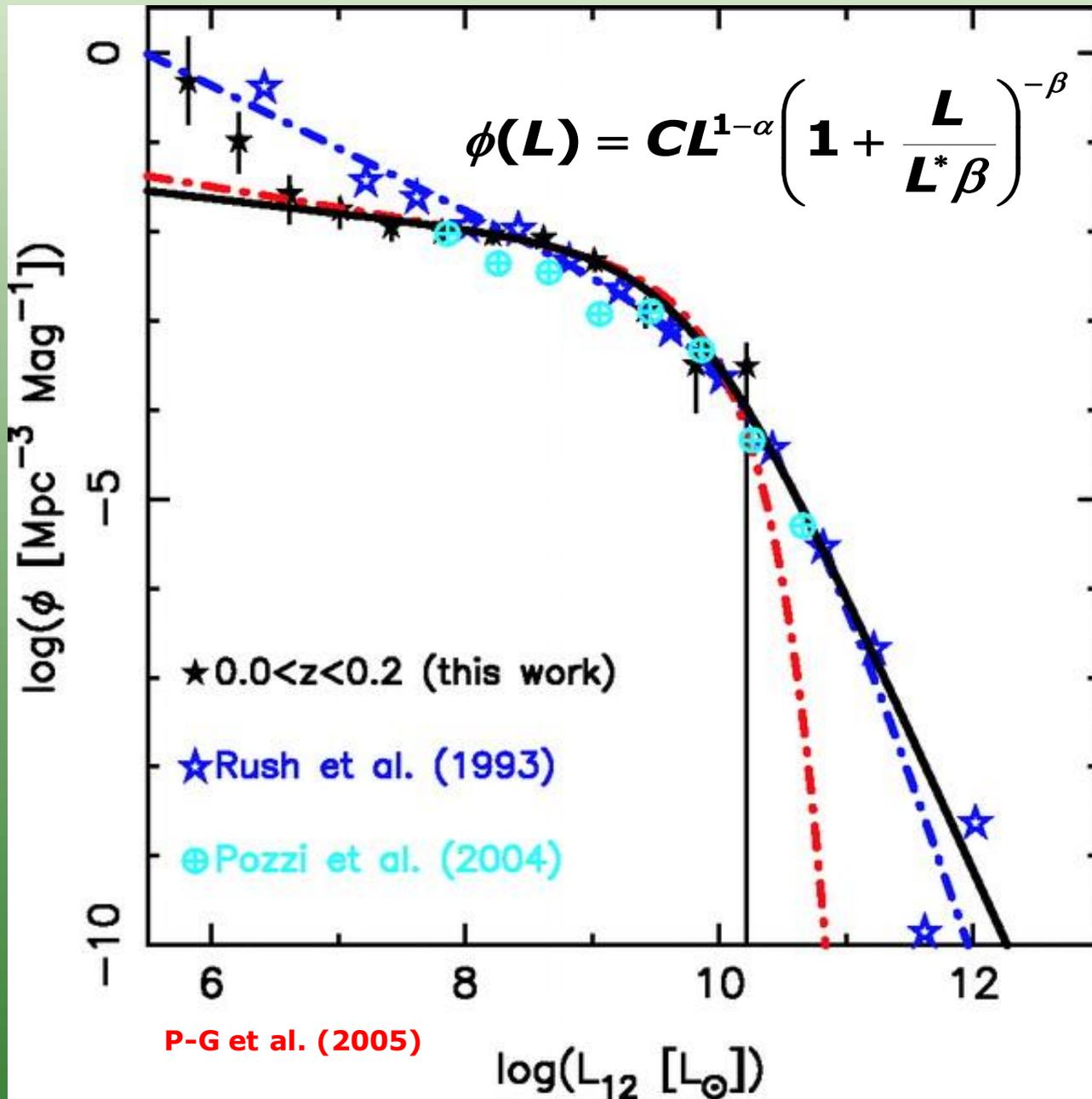
Volume
Surveyed



http://www.astro.virginia.edu/class/whittle/astr553/Topic04/Lecture_4.html



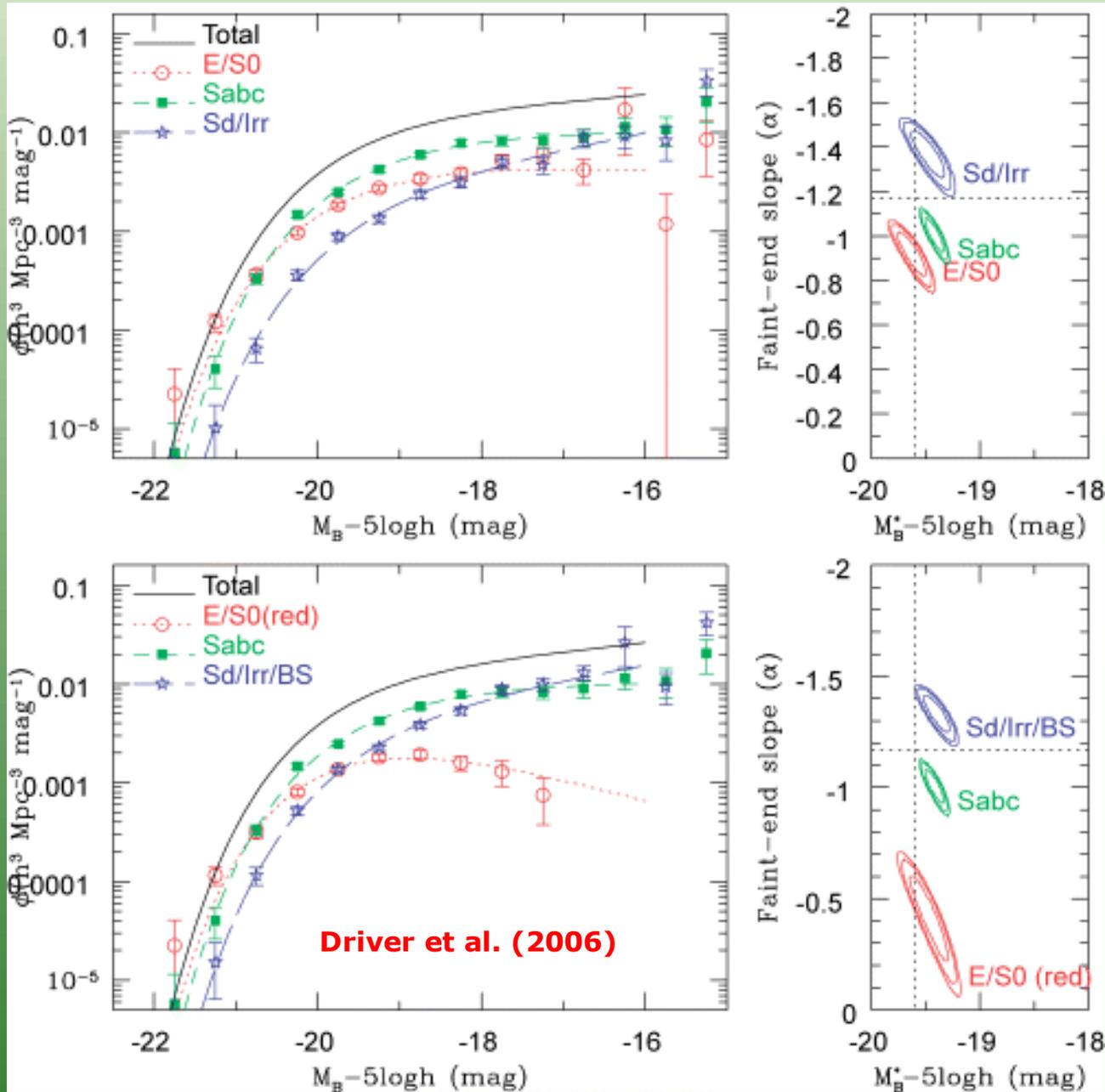
6.5. Funciones de luminosidad



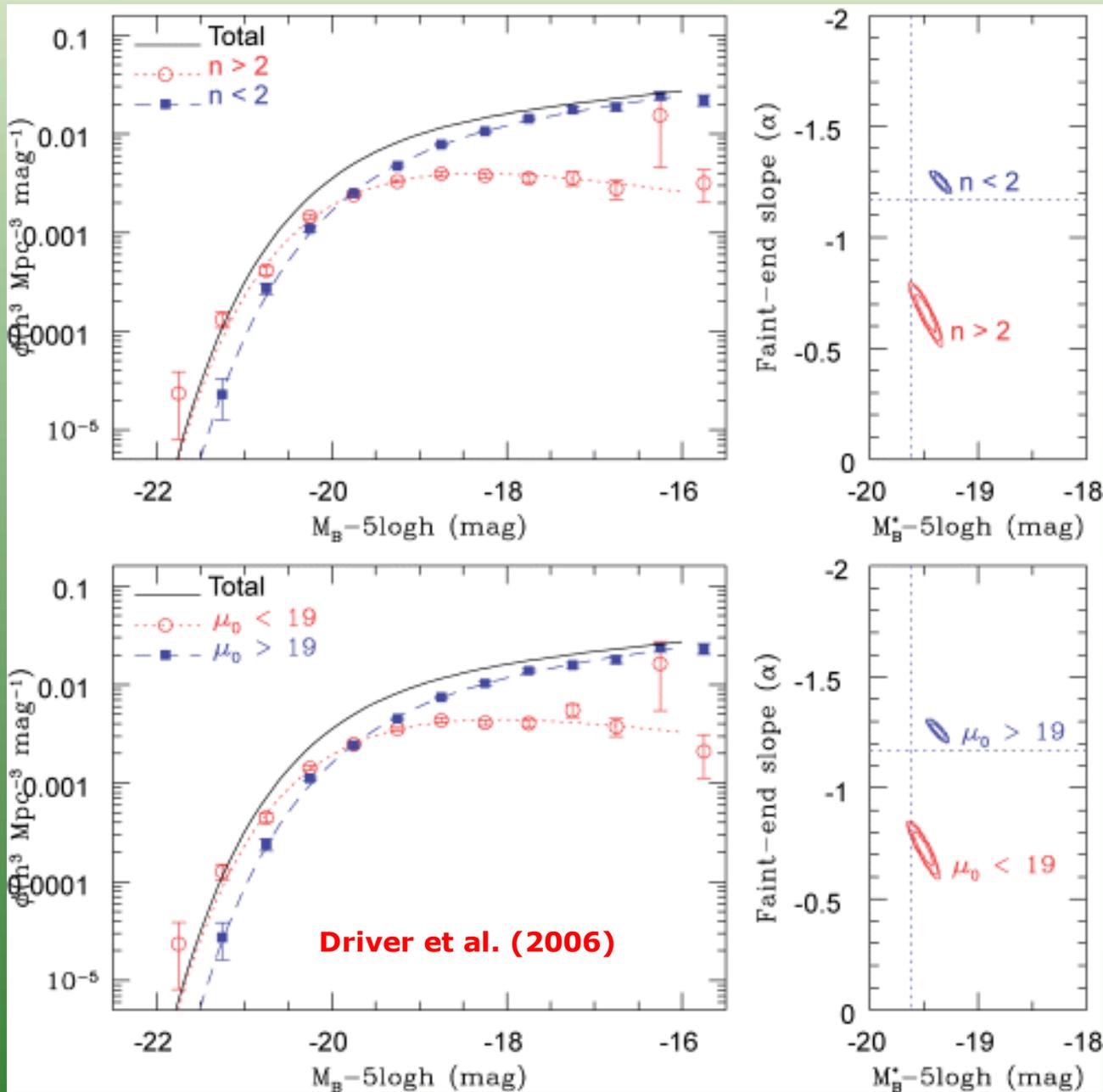
P-G et al. (2005)



6.5. Funciones de luminosidad

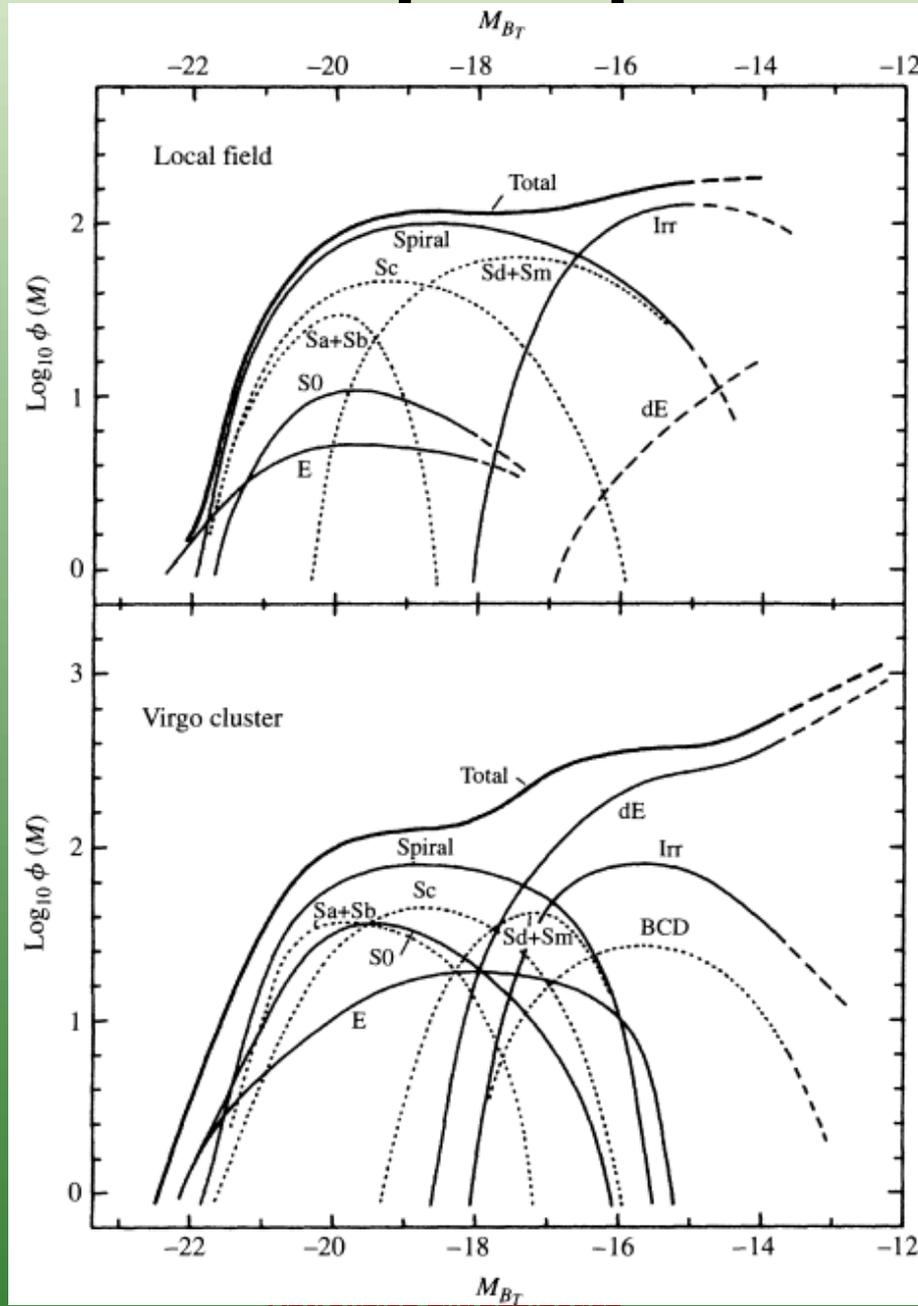


6.5. Funciones de luminosidad

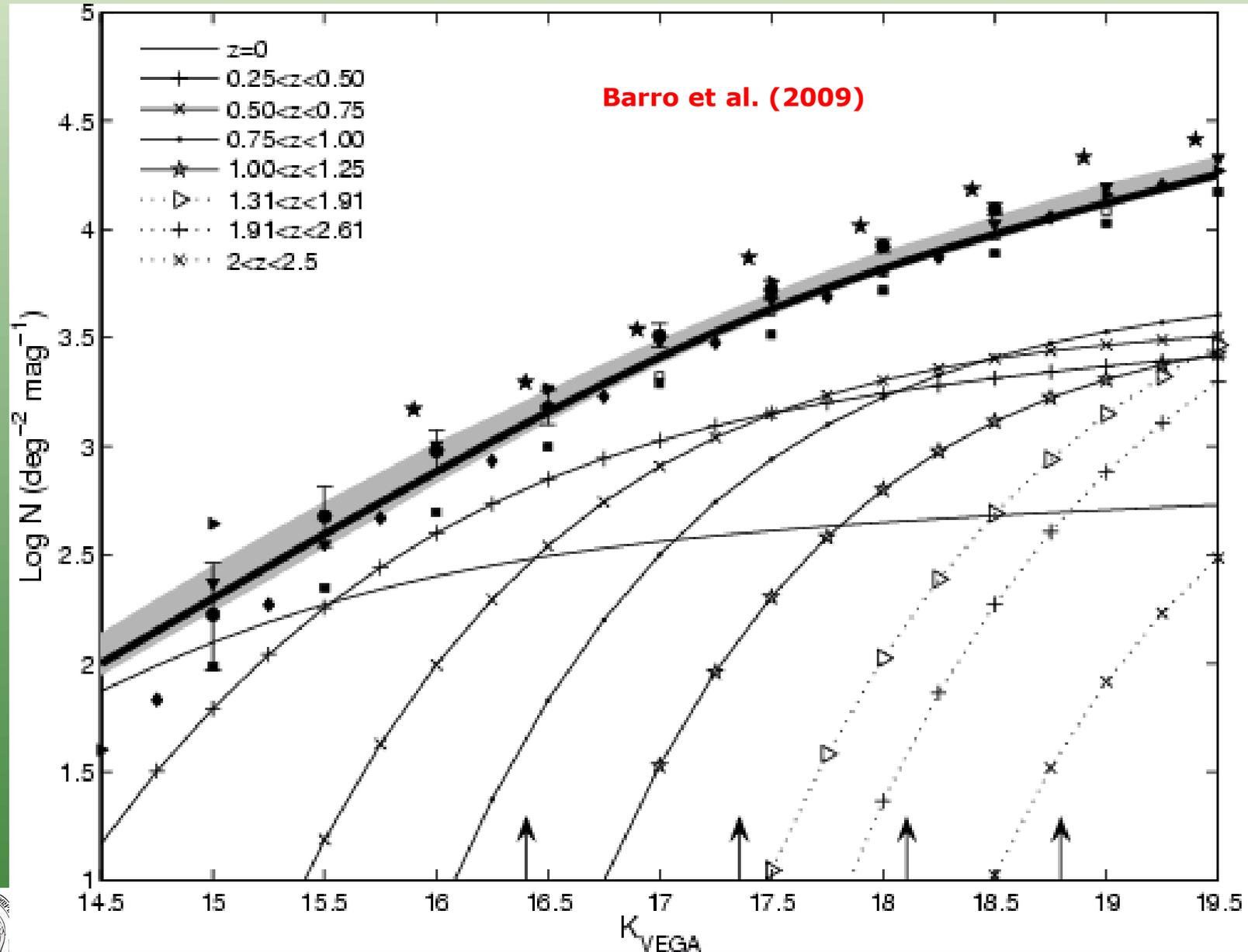


6.5.LF por MphT

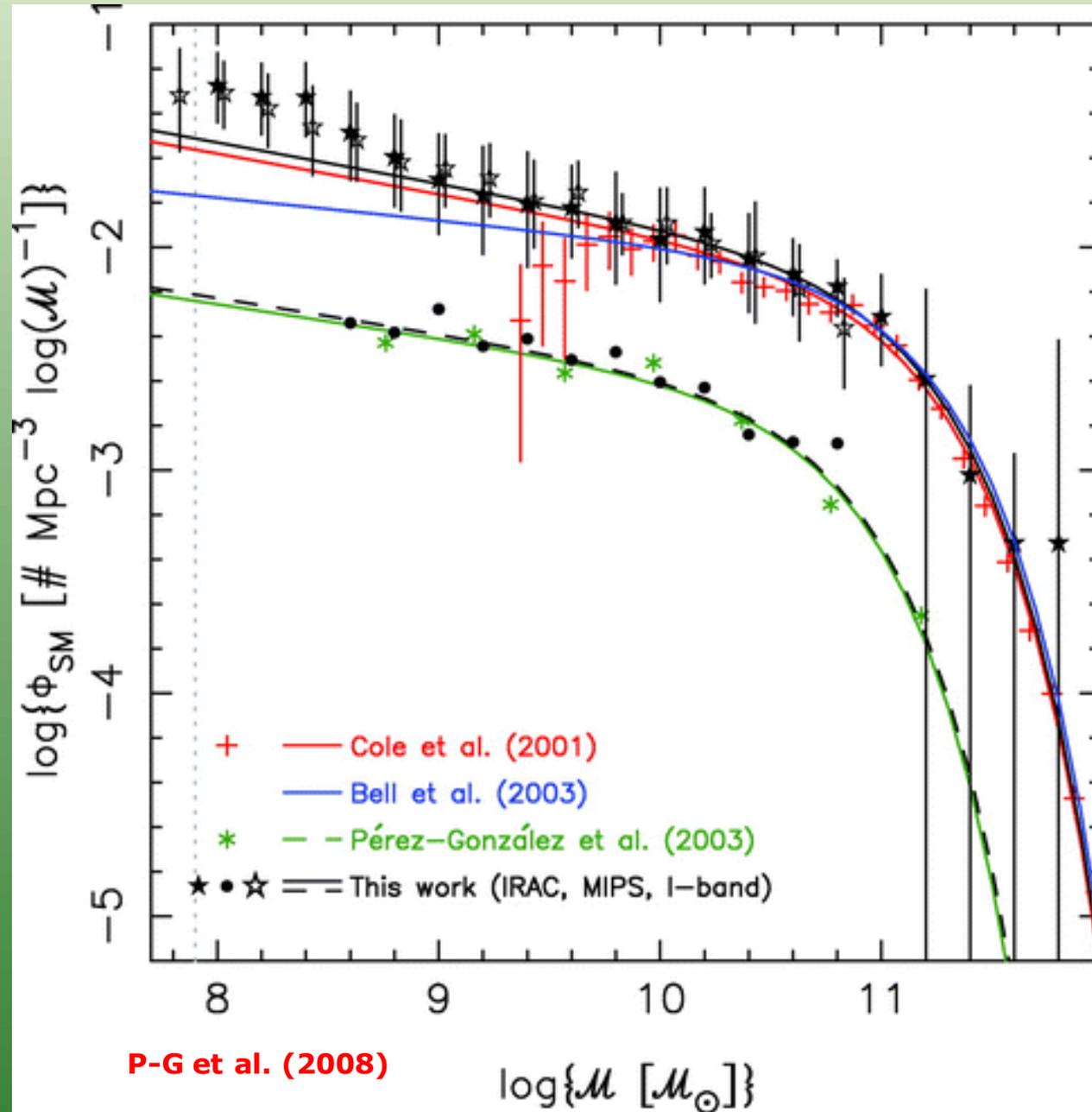
C&O07



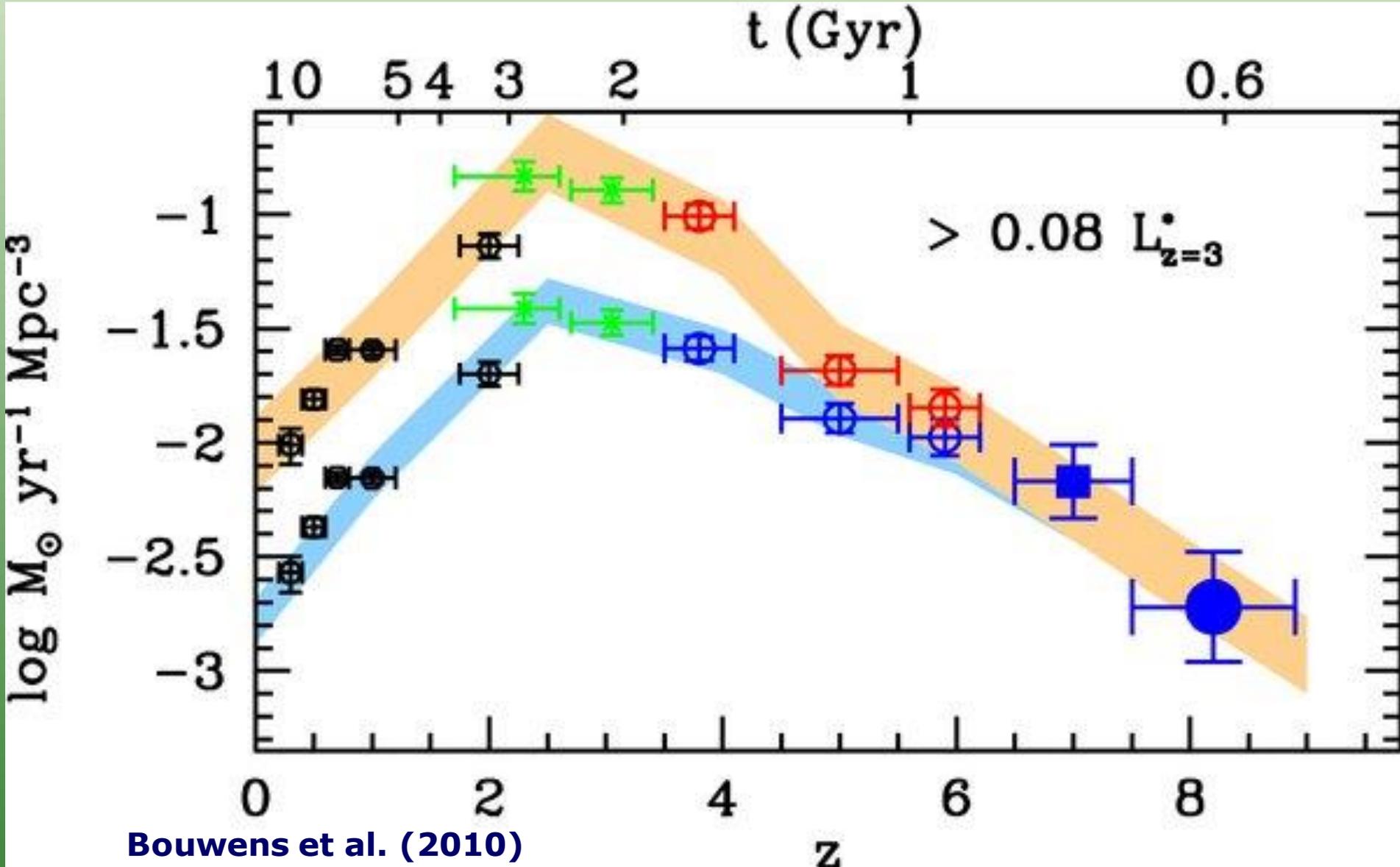
6.5. Funciones de luminosidad vs. NC



6.6. Funciones de masa



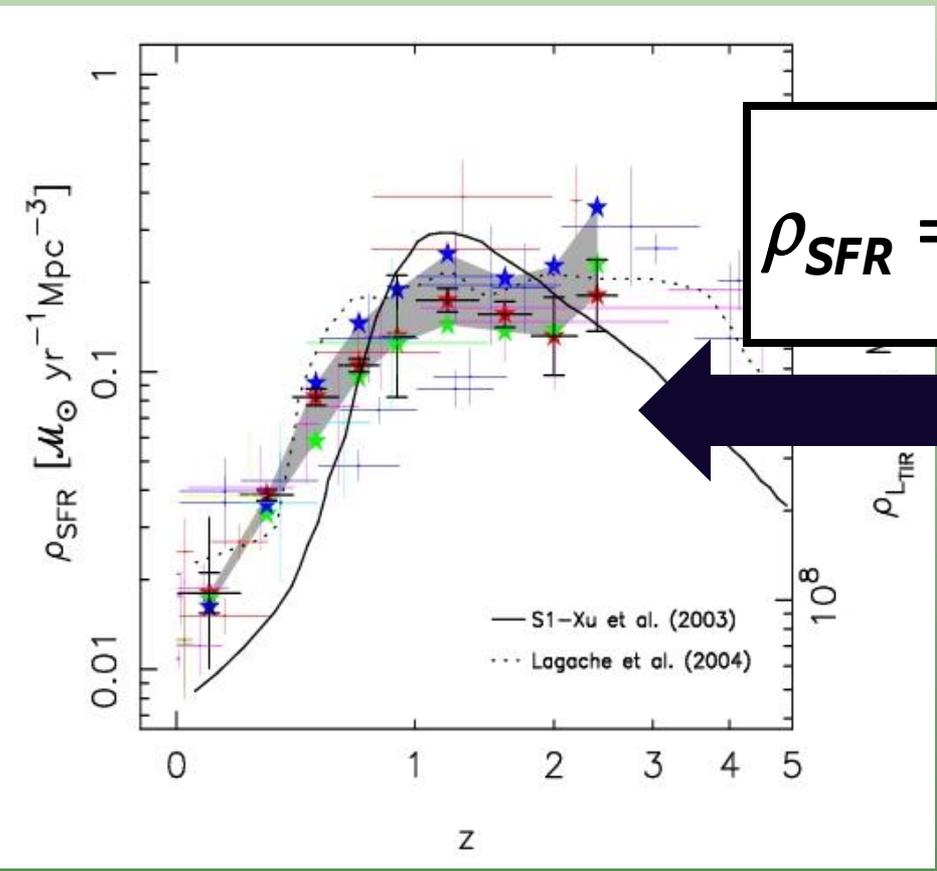
6.7. Integrales de la función de luminosidad y masa



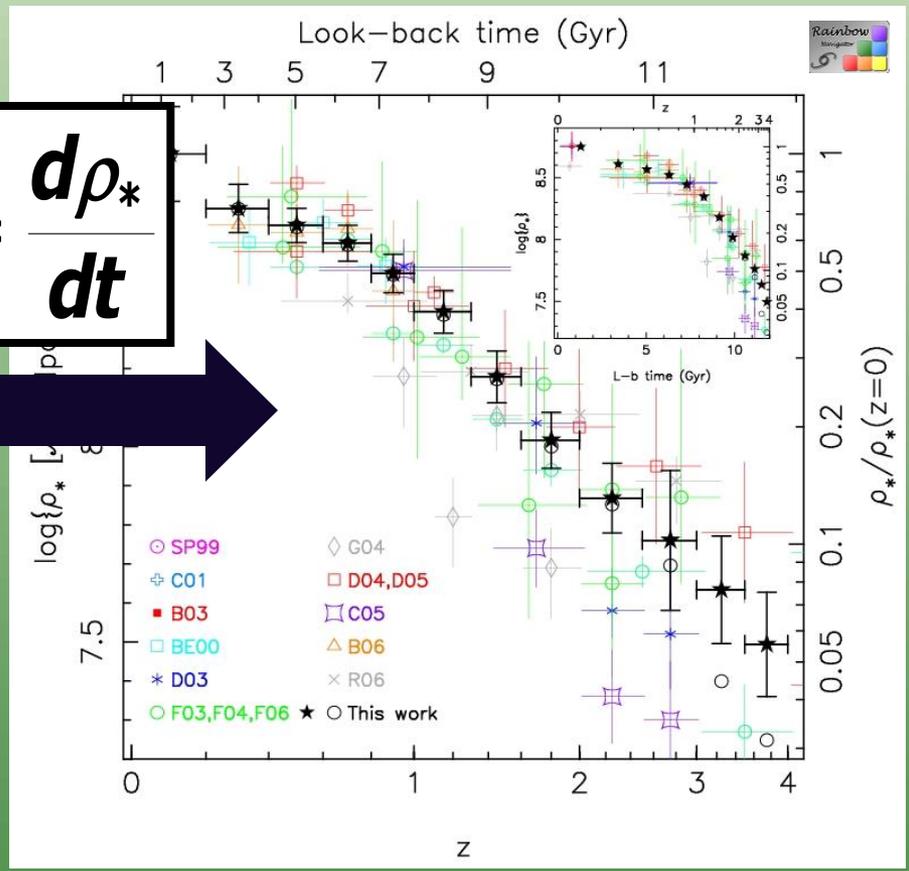
Bouwens et al. (2010)



6.7. Integrales de la función de luminosidad y masa



$$\rho_{SFR} = \frac{d\rho_*}{dt}$$

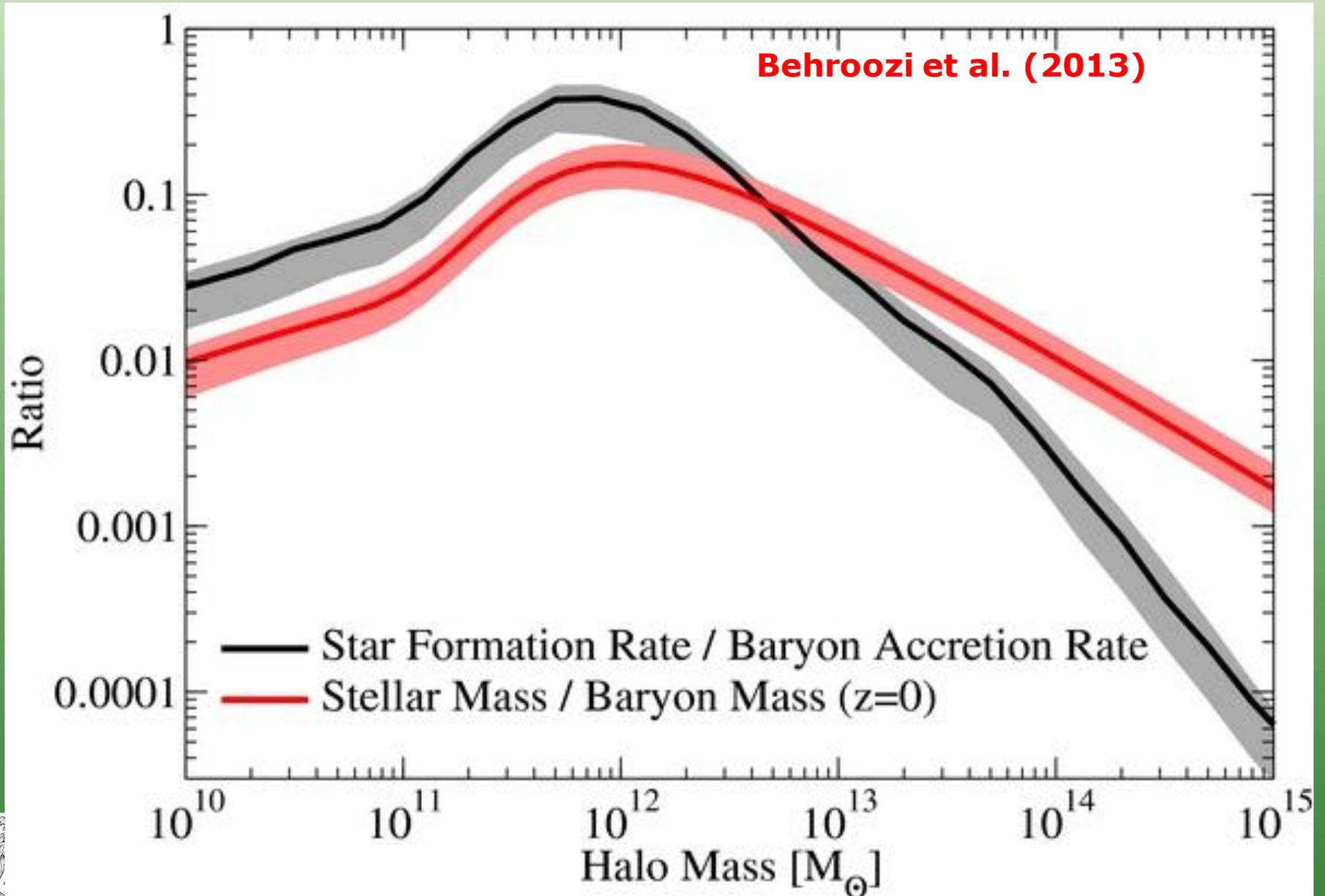


Pérez-González et al. (2005)

Pérez-González et al. (2008a)



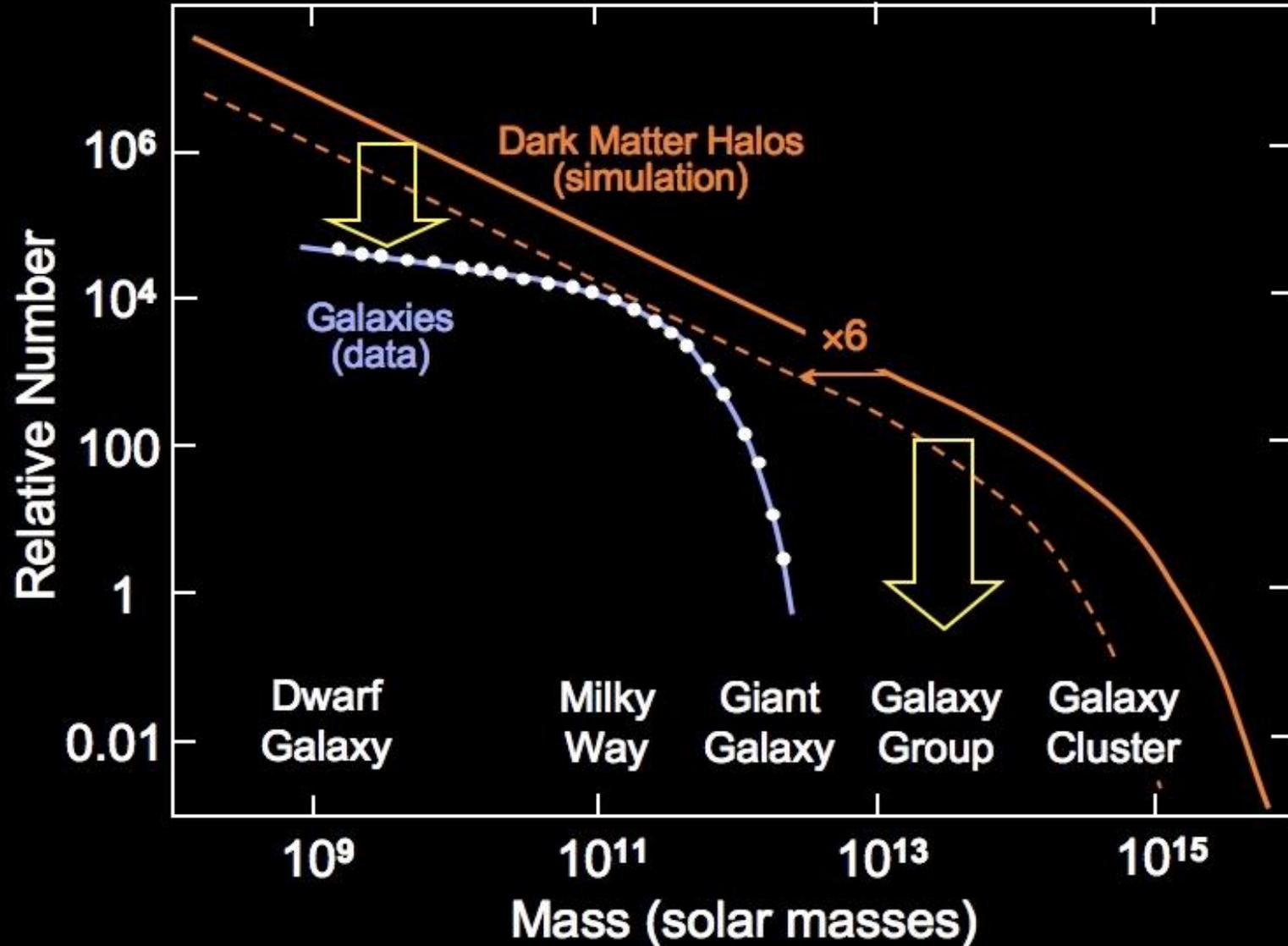
6.7. Funciones de masa de galaxias y halos de DM



6.7. Funciones de masa de galaxias y halos de DM

Halo and Galaxy Mass Distributions

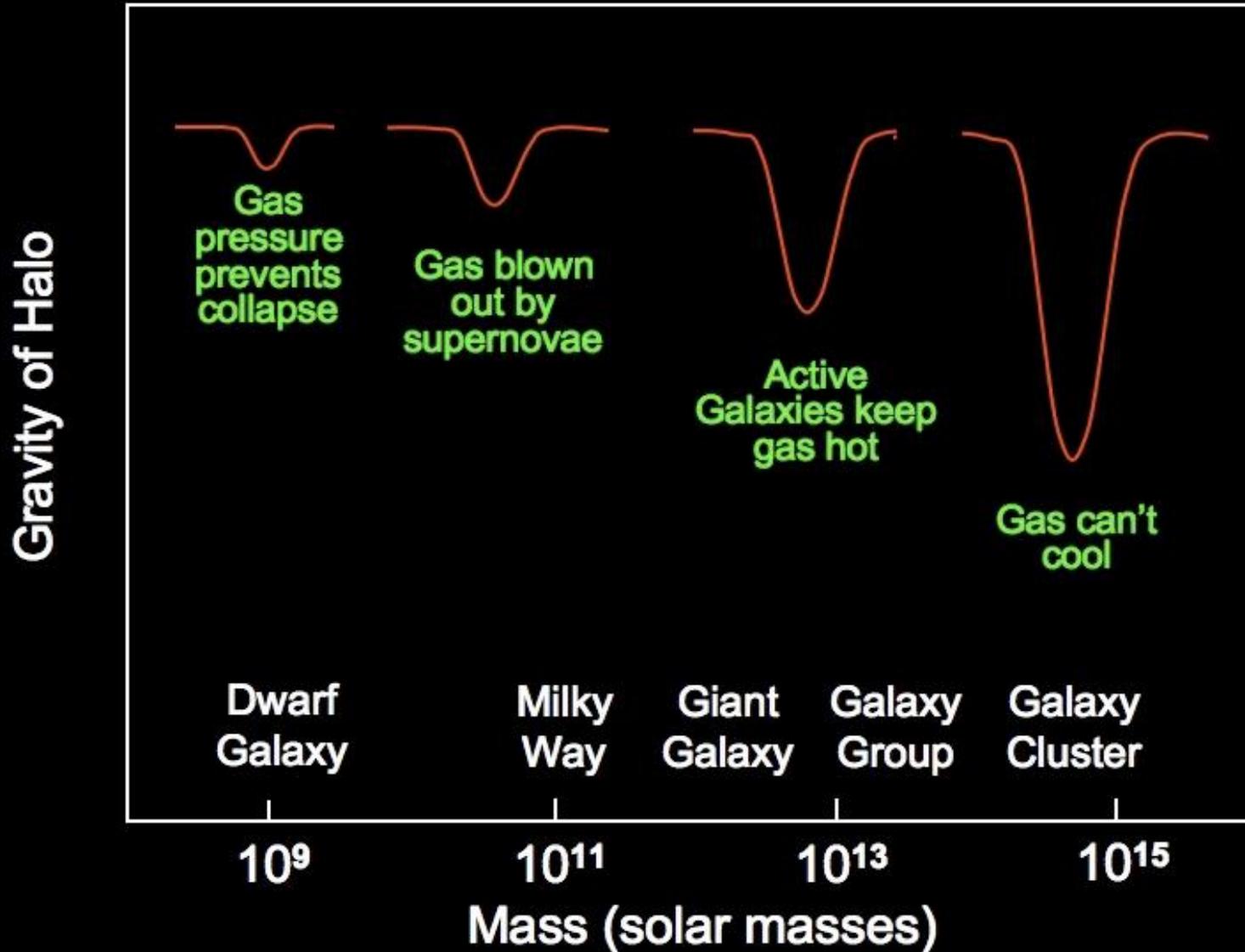
<http://www.astro.virginia.edu/class/whittle/astr553/>



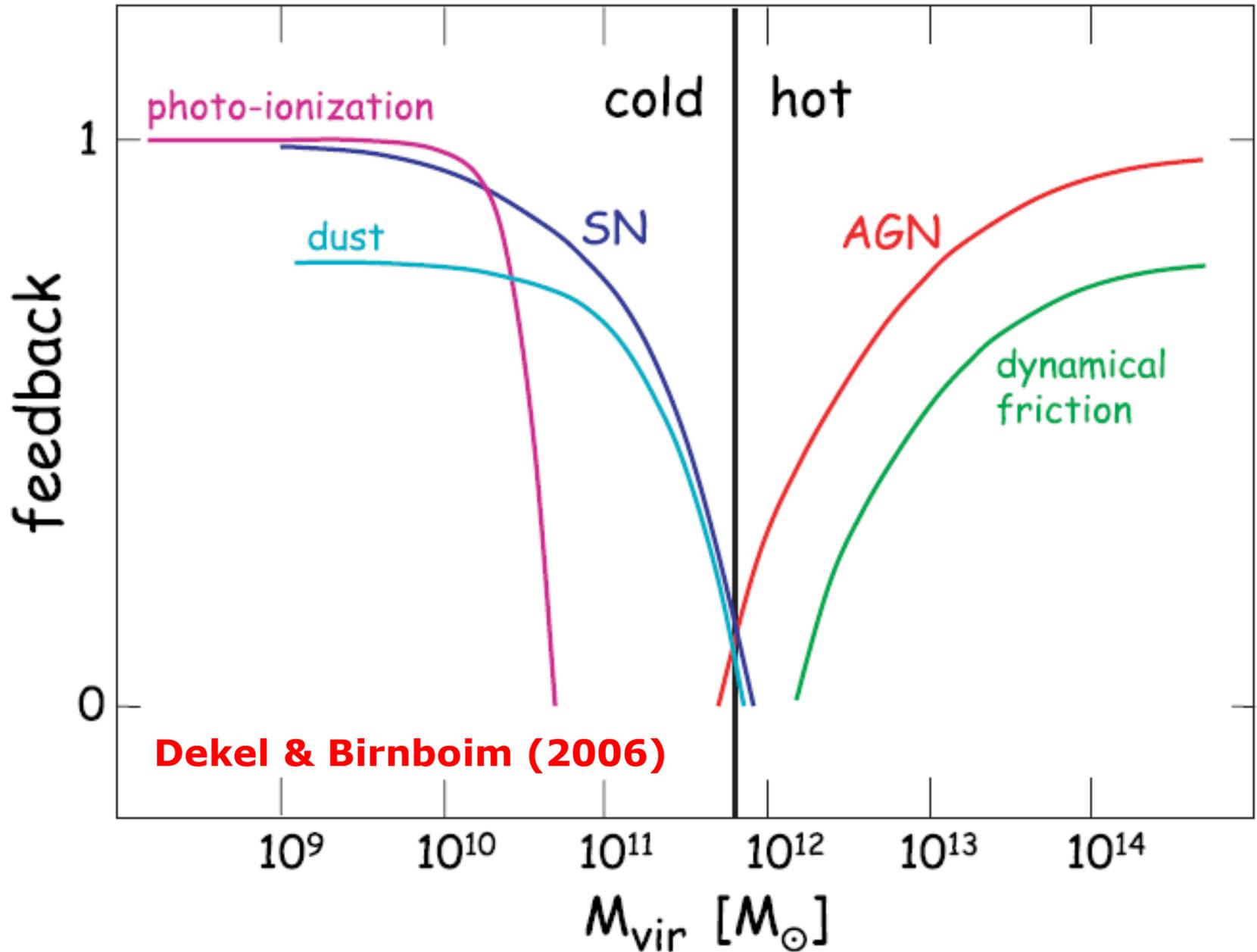
6.7. Funciones de masa de galaxias y halos de DM

Halo Gravity and Suppression of Galaxy Formation

<http://www.astro.virginia.edu/class/whittle/astr553/>

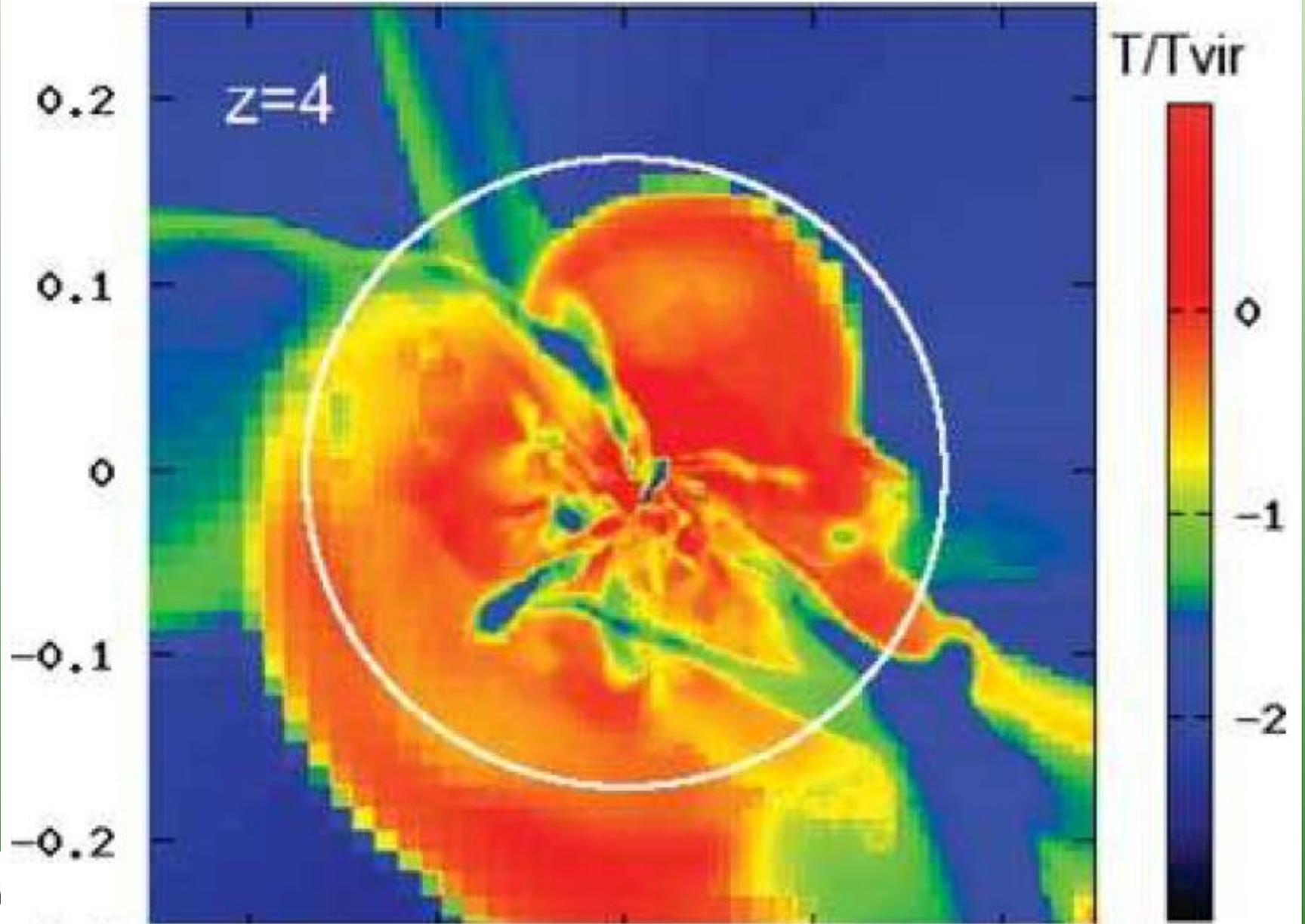


6.7. Funciones de masa de galaxias y halos de DM



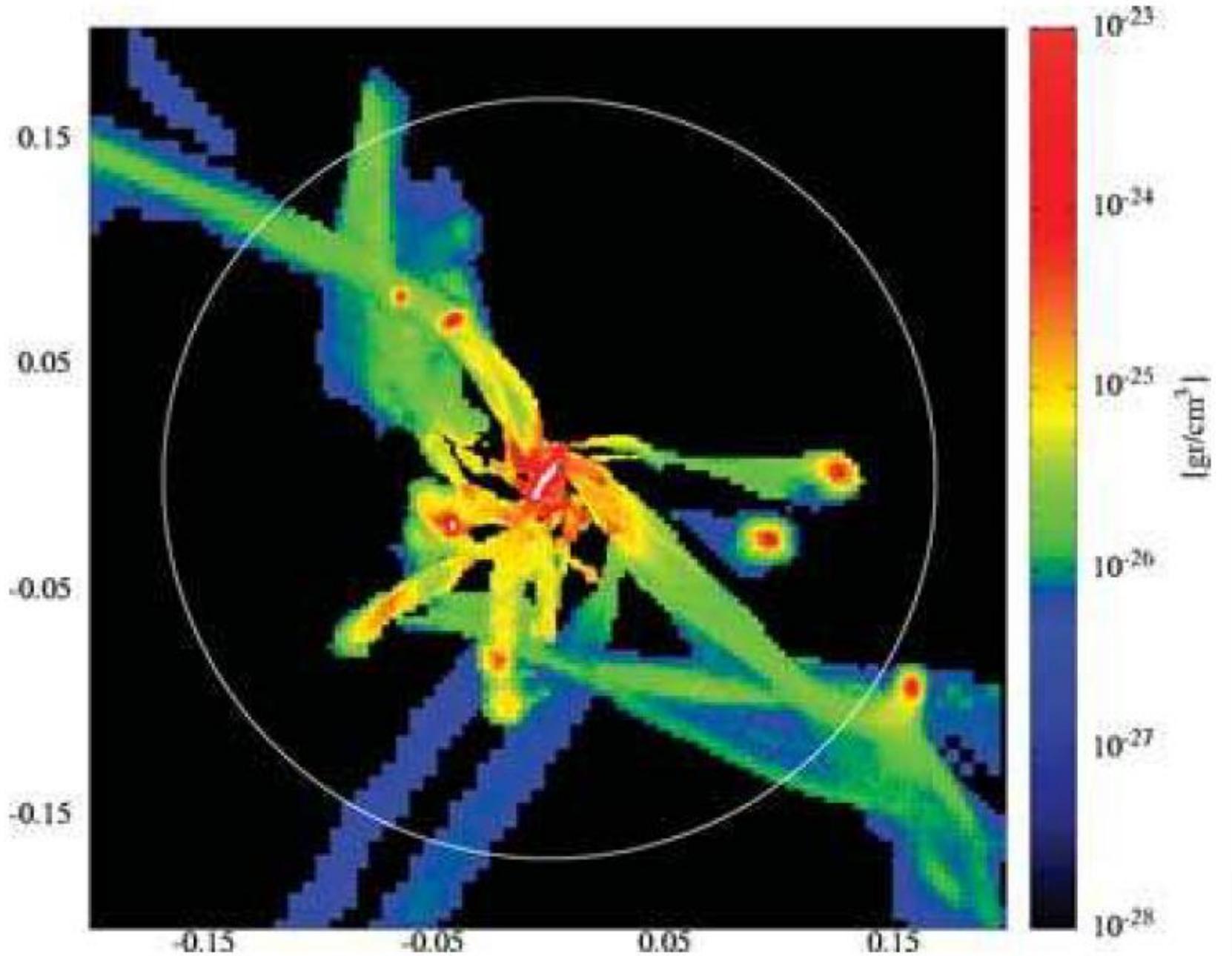
6.7. Funciones de masa de galaxias y halos de DM

Dekel & Birnboim (2006)

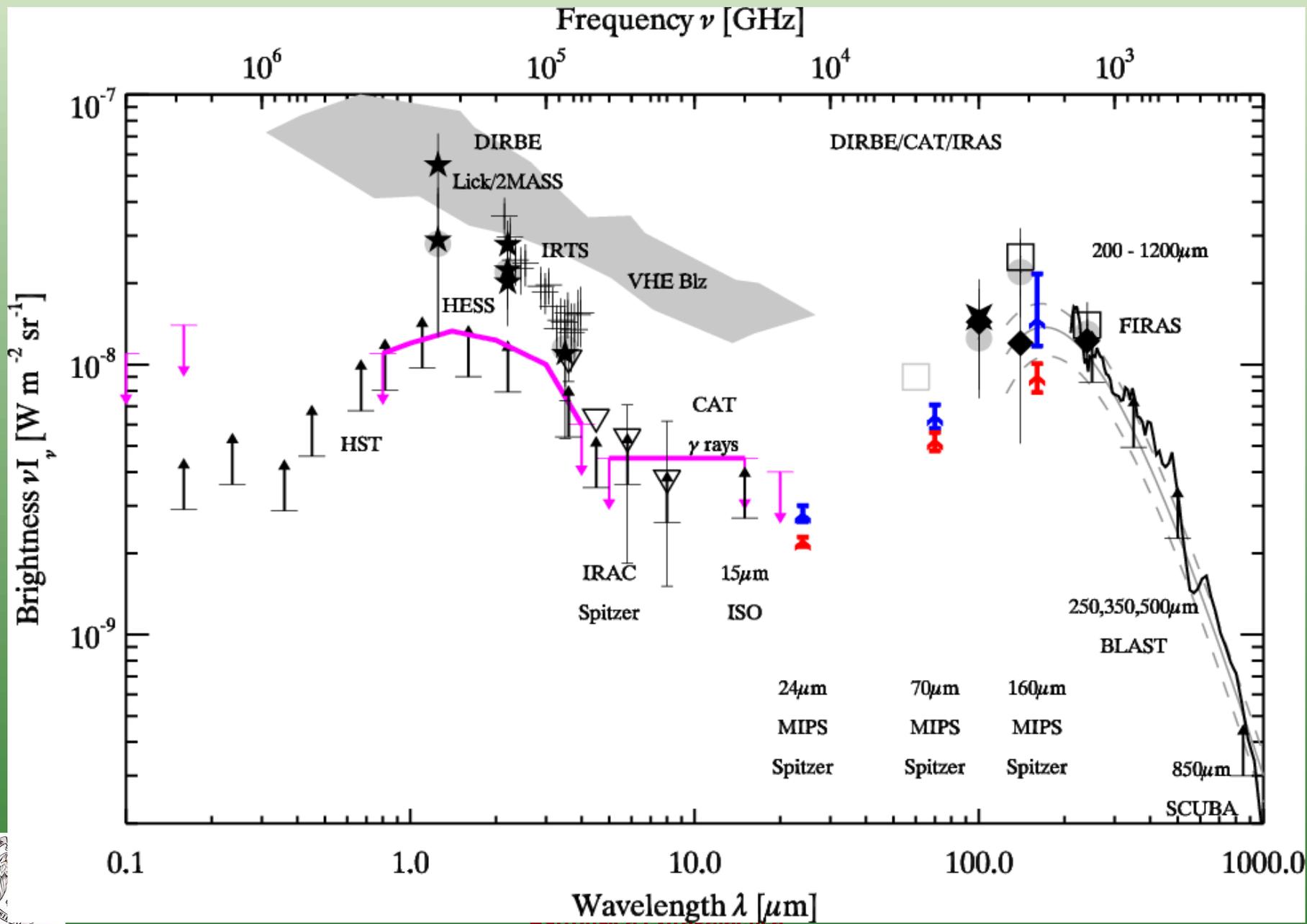


6.7. Funciones de masa de galaxias y halos de DM

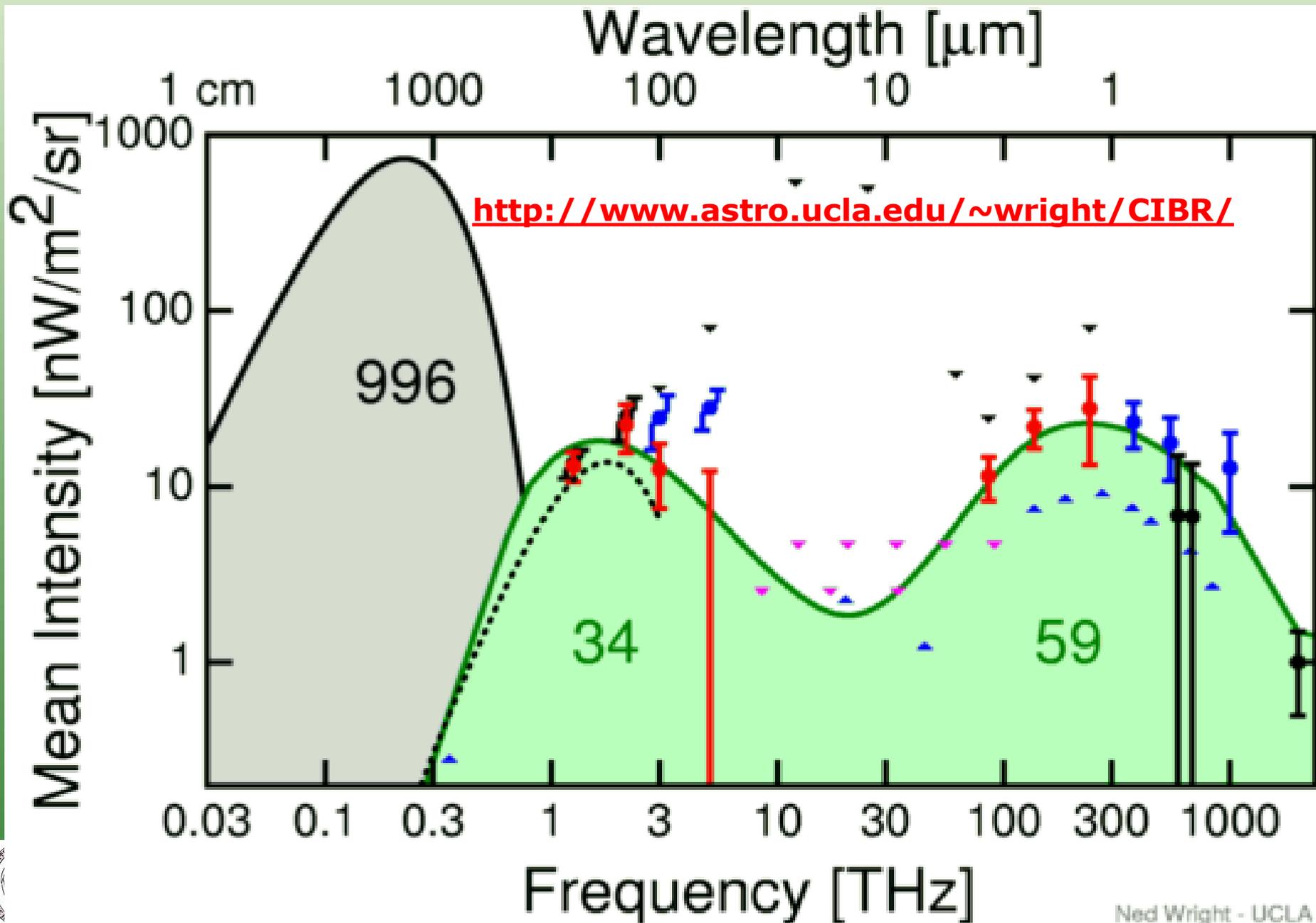
Dekel & Birnboim (2006)



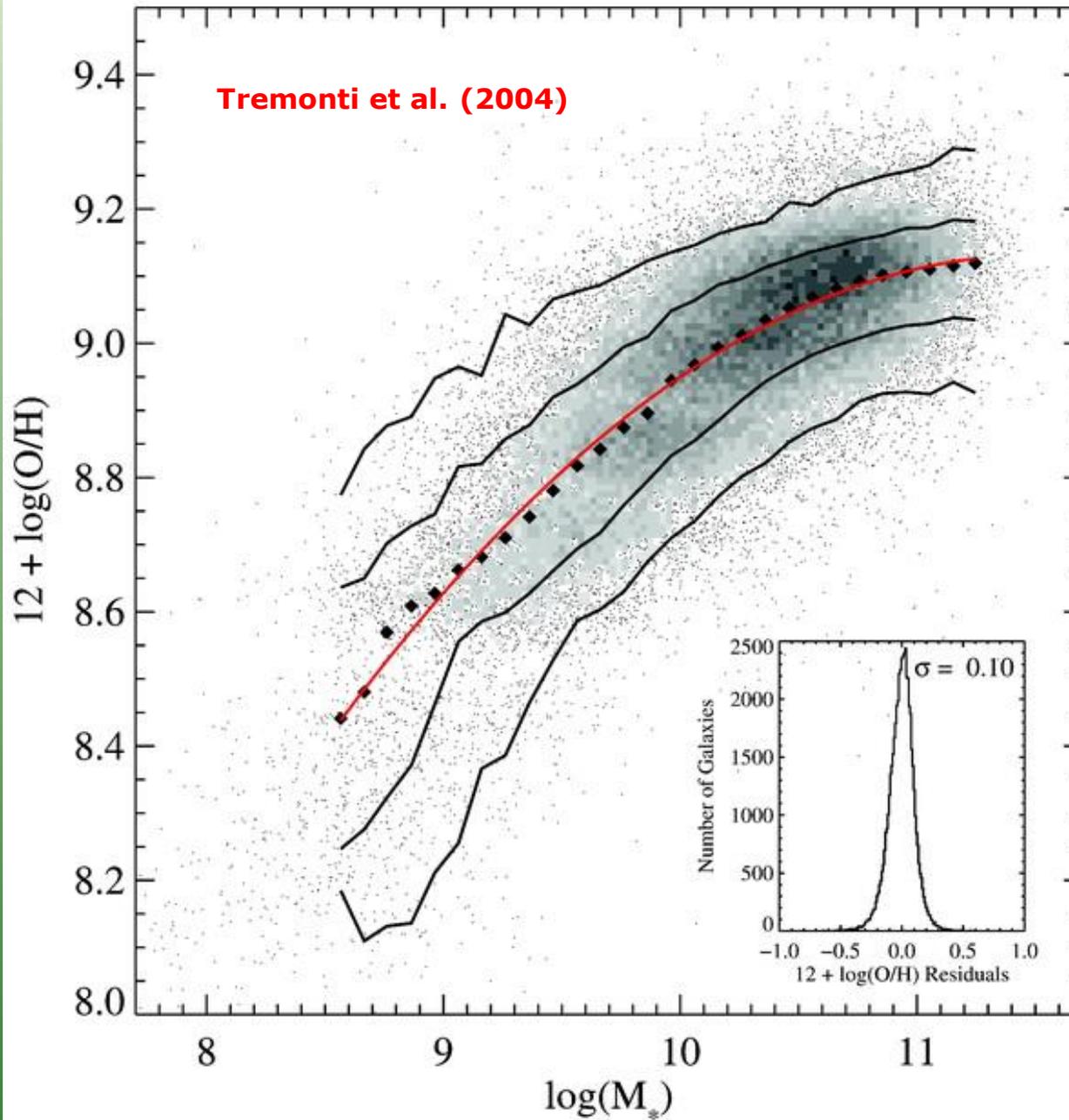
6.8. Emisión cósmica



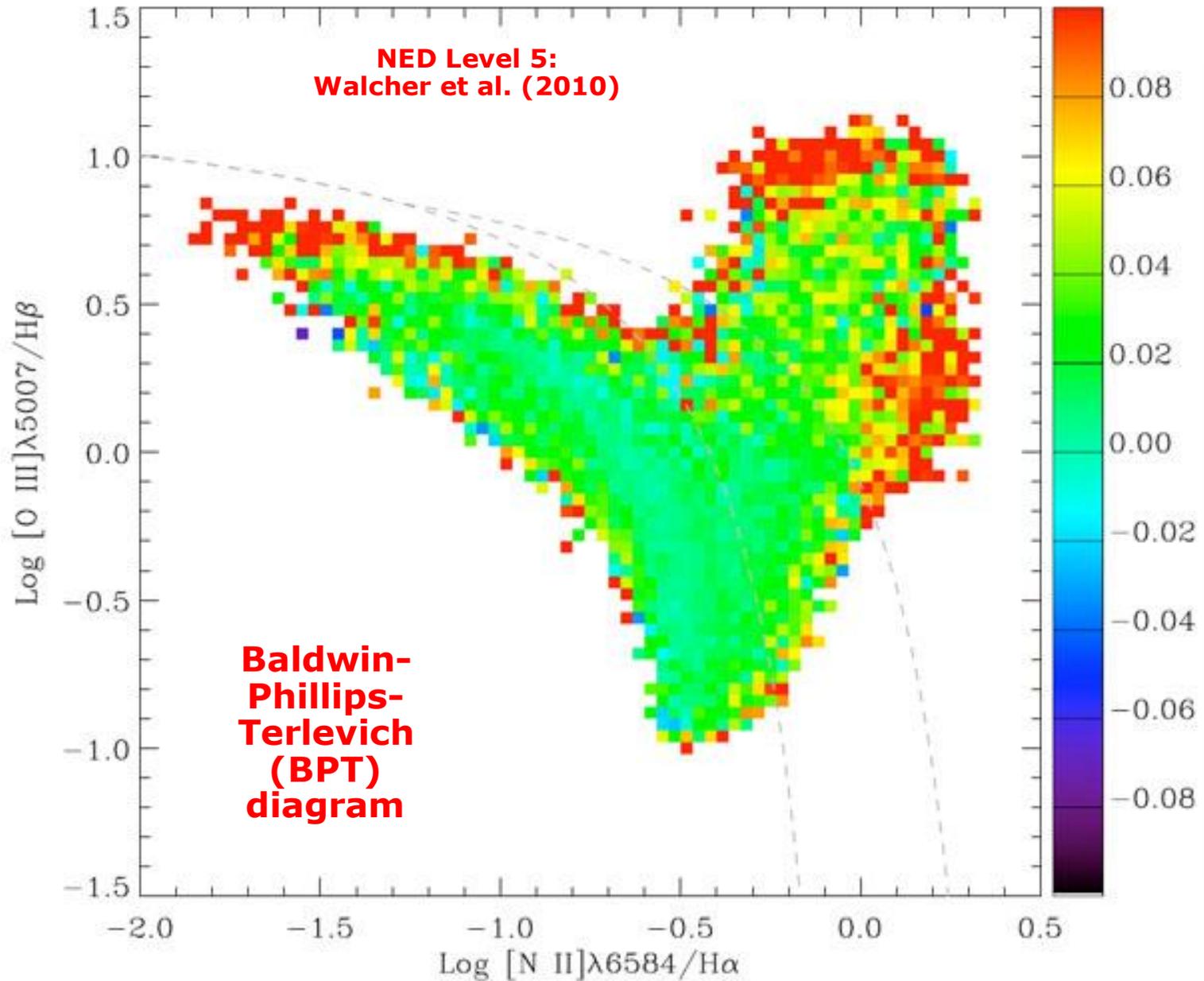
6.8. Emisión cósmica



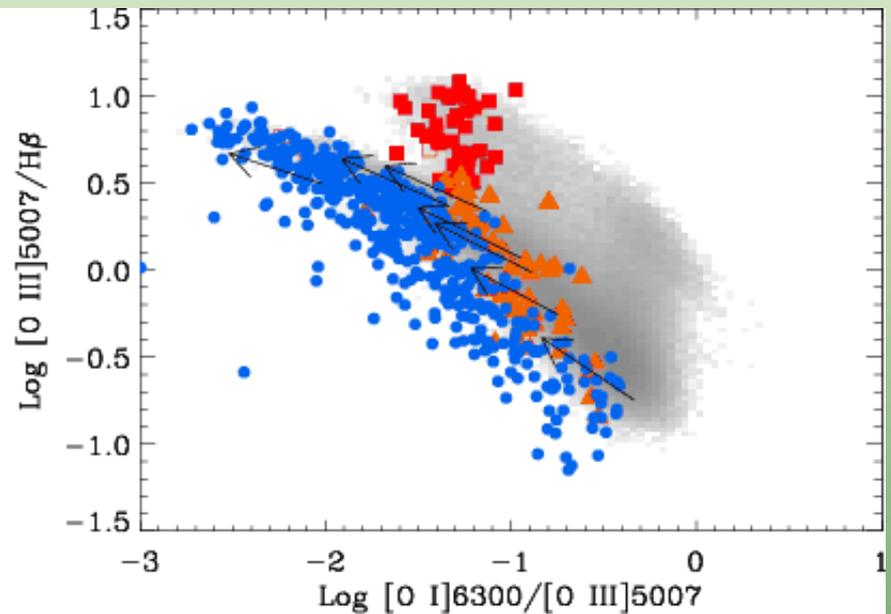
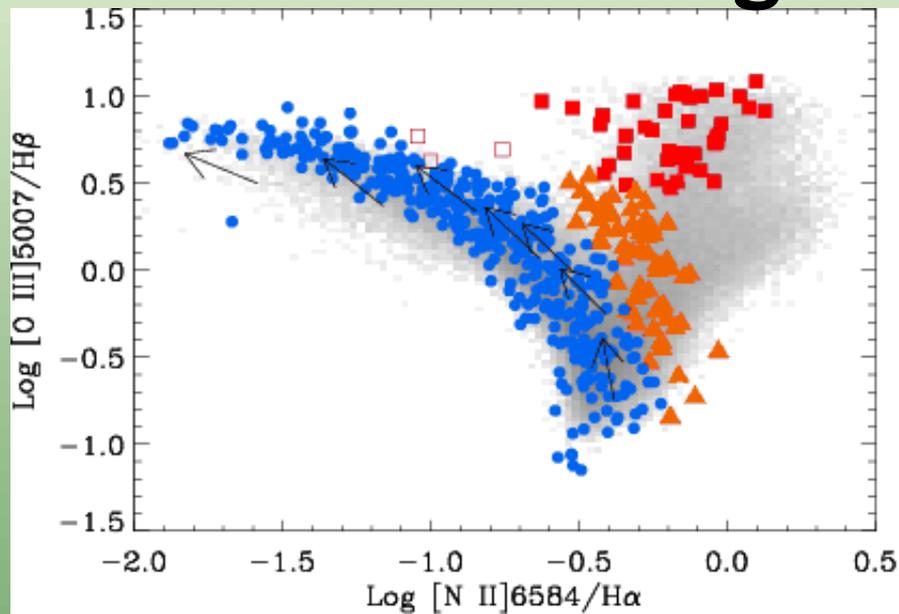
6.9. Relación masa-metalicidad



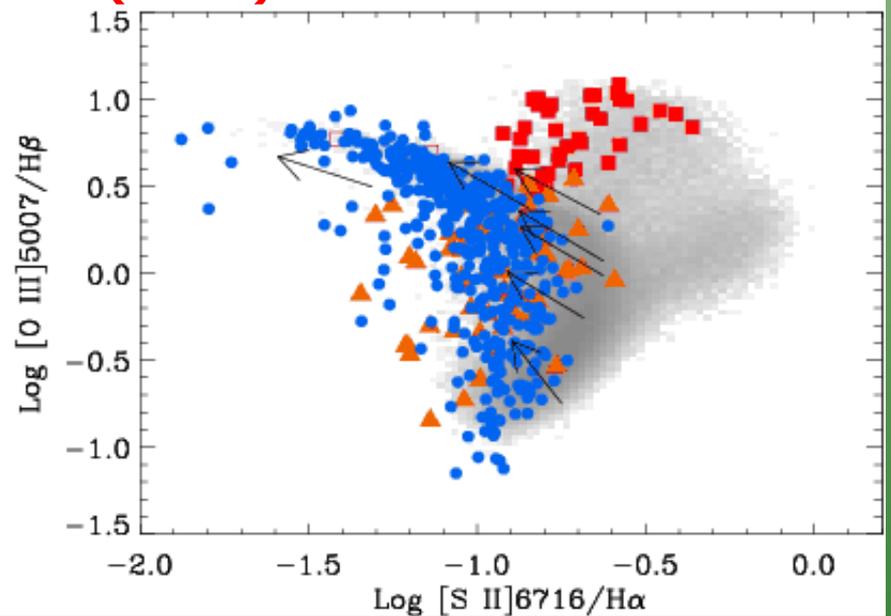
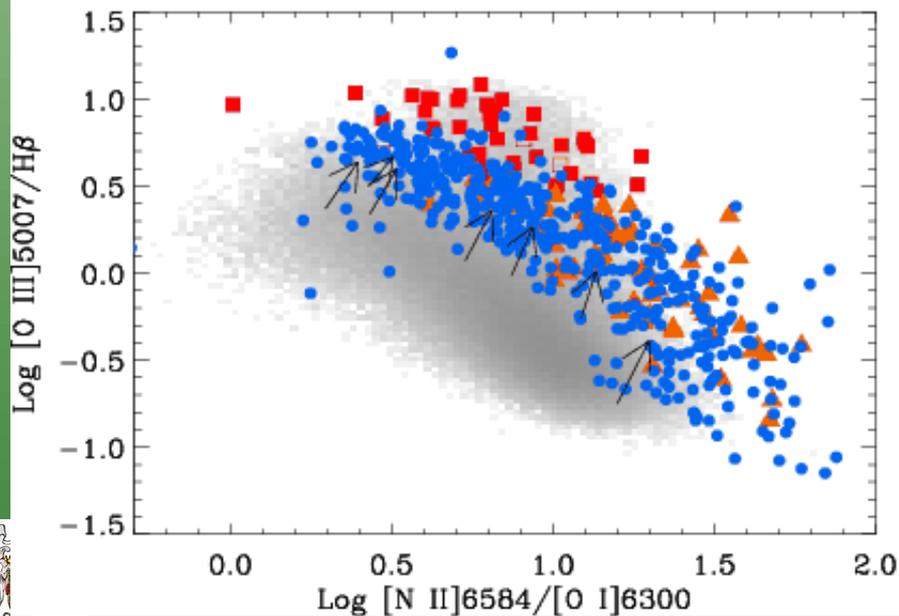
6.9. Diagnóstico AGN-SB



6.9. Diagnóstico AGN-SB



Brinchmann et al. (2008)



6.9. Otras relaciones entre parámetros

Otras relaciones importantes (quizás básicas) entre parámetros:

- ◆ FP: plano fundamental.
- ◆ T-F: Tully-Fisher.
- ◆ Schmidt-Kennicutt.
- ◆ Magorrian.
- ◆ SFR vs. extinción.
- ◆ ...



Resumen

- **¿Cómo se distribuyen las galaxias en parámetros como la magnitud, el color, el tipo morfológico, etc...?**
- **¿Qué podemos aprender de las relaciones entre parámetros?**
- **Propiedades de la función de luminosidad (o masa, o SFR,etc).**
- **Conteo de galaxias.**
- **Efectos de selección en las exploraciones de galaxias.**

