

# Astronomía Extragaláctica

## Cap. 4: Galaxias espirales y lenticulares

Profesores: Favio R. Faifer y Sergio A. Cellone

Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas  
Universidad Nacional de La Plata, Argentina

curso 2024

## Cap. 4: Galaxias espirales y lenticulares

- 1 Distribución de brillo superficial
- 2 La secuencia de las galaxias de disco
- 3 Distribución de poblaciones estelares
- 4 El gas
- 5 Cinemática - dinámica
- 6 La estructura espiral
- 7 Barras
- 8 El origen de las S0

# Cap. 4: Galaxias espirales y lenticulares

- 1 Distribución de brillo superficial
- 2 La secuencia de las galaxias de disco
- 3 Distribución de poblaciones estelares
- 4 El gas
- 5 Cinemática - dinámica
- 6 La estructura espiral
- 7 Barras
- 8 El origen de las S0

# Característica distintiva de las S y S0

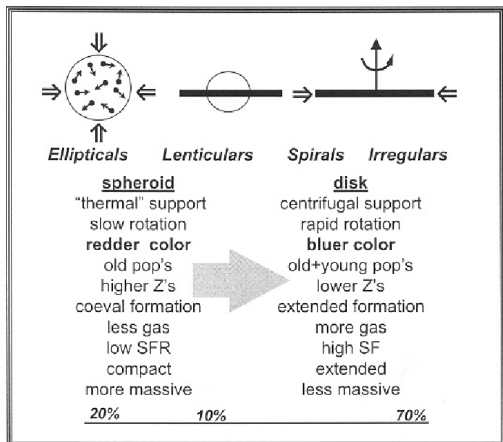


Disco estelar notable y extendido

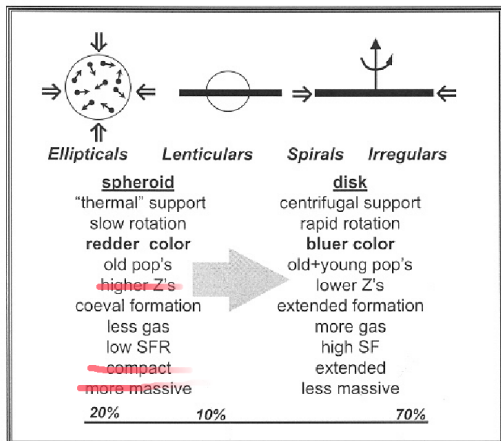


galaxias de disco





$$M_B \lesssim -18$$



$$M_B \gtrsim -18$$

$$\cos^2(i) = \frac{(1 - \epsilon)^2 - q_0^2}{1 - q_0^2}$$

$\epsilon$ : elipticidad (medida)

$q_0 = 0,11 \rightarrow 0,20$ : achatamiento intrínseco

(Courteau, S. 1997, AJ, 114, 2402)

# Perfil de brillo superficial

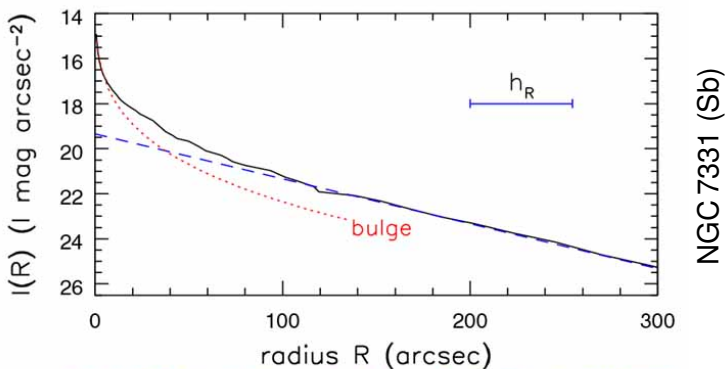


Fig 5.4 (R. Peletier) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

# Perfil de brillo superficial

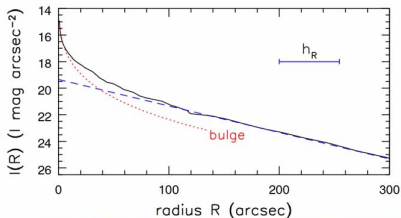


Fig 5.4 (R. Peletier) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007



$$\text{banda } I \rightarrow \begin{aligned} \mu(r=0) &\simeq 15 \text{ mag arcsec}^{-2} \\ \mu(r=300'') &\simeq 25 \text{ mag arcsec}^{-2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{cielo}} &\simeq 19,9 \text{ mag arcsec}^{-2} \\ I(r=0) &\simeq 100 \times I_{\text{cielo}} \\ I(r=300'') &\simeq 0,01 \times I_{\text{cielo}} \end{aligned}$$

# Perfil de brillo superficial

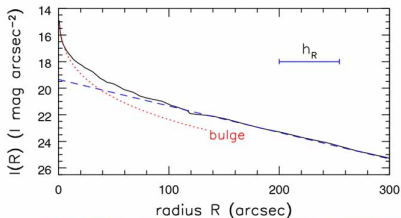


Fig 5.4 (R. Peletier) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

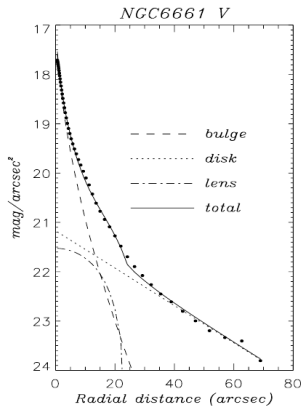
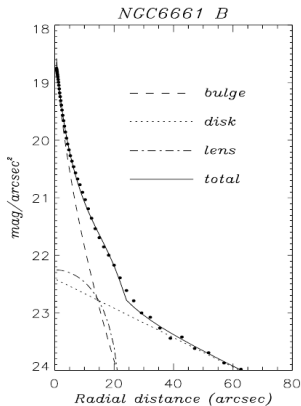


$$\text{banda } I \rightarrow \begin{aligned} \mu(r=0) &\simeq 15 \text{ mag arcsec}^{-2} \\ \mu(r=300'') &\simeq 25 \text{ mag arcsec}^{-2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{cielo}} &\simeq 19,9 \text{ mag arcsec}^{-2} \\ I(r=0) &\simeq 100 \times I_{\text{cielo}} \\ I(r=300'') &\simeq 0,01 \times I_{\text{cielo}} \end{aligned}$$

# Componentes estructurales

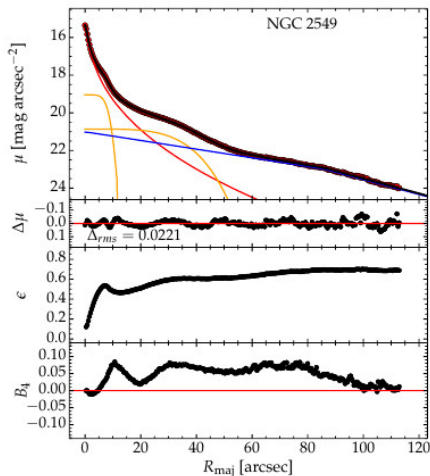
Bulbos, discos, lentes y barras



(Prieto et al. 2001, A&A 367, 405)

# Componentes estructurales

Bulbos, discos, lentes y barras



(Ciambur B., 2016, PASA, 33, 62.)



Hasta fines s XX:

**bulbo:** Ley de *de Vaucouleurs* (LdV)

$$I_B(r) = I_e \exp \left\{ -7,67 \left[ \left( \frac{r}{r_e} \right)^{\frac{1}{4}} - 1 \right] \right\}$$

**disco:** Ley exponencial

$$I_D(r) = I_0 e^{-\left(\frac{r}{r_0}\right)}$$

Actualmente:

bulbo: Ley de Sérsic

$$I(r) = I_e e^{-b_n \left[ \left( \frac{r}{r_e} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right]} \quad (n \leq 4),$$

disco: Ley exponencial

$$I_D(r) = I_0 e^{-\left( \frac{r}{r_0} \right)}$$

# Componentes estructurales

Lentes, barras elíptica y planas, anillos

$$I_{\text{lens}}(r) = I_{0,\text{lens}} \left[ 1 - \left( \frac{r}{r_{0,\text{lens}}} \right)^2 \right] \quad (r \leq r_{0,\text{lens}}).$$

$$I_{\text{bar}}(x, y) = I_{0,\text{bar}} \sqrt{1 - \left( \frac{x}{a_{\text{bar}}} \right)^2 - \left( \frac{y}{b_{\text{bar}}} \right)^2}, \quad (1)$$

$$I_{\text{bar}}(r) = \frac{I_{0,\text{bar}}}{1 + e^{\frac{r-\alpha}{\beta}}},$$

$$I_{\text{ring}}(r) = I_{0,\text{ring}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{r-r_{0,\text{ring}}}{\sigma} \right)^2}.$$

# Componentes estructurales

Lentes, barras elíptica y planas, anillos

$$I_{\text{lens}}(r) = I_{0,\text{lens}} \left[ 1 - \left( \frac{r}{r_{0,\text{lens}}} \right)^2 \right] \quad (r \leq r_{0,\text{lens}}).$$

$$I_{\text{bar}}(x, y) = I_{0,\text{bar}} \sqrt{1 - \left( \frac{x}{a_{\text{bar}}} \right)^2 - \left( \frac{y}{b_{\text{bar}}} \right)^2}, \quad (1)$$

$$I_{\text{bar}}(r) = \frac{I_{0,\text{bar}}}{1 + e^{\frac{r-\alpha}{\beta}}},$$

$$I_{\text{ring}}(r) = I_{0,\text{ring}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{r-r_{0,\text{ring}}}{\sigma} \right)^2}.$$

# Componentes estructurales

Lentes, barras elíptica y planas, anillos

$$l_{\text{lens}}(r) = l_{0,\text{lens}} \left[ 1 - \left( \frac{r}{r_{0,\text{lens}}} \right)^2 \right] \quad (r \leq r_{0,\text{lens}}).$$

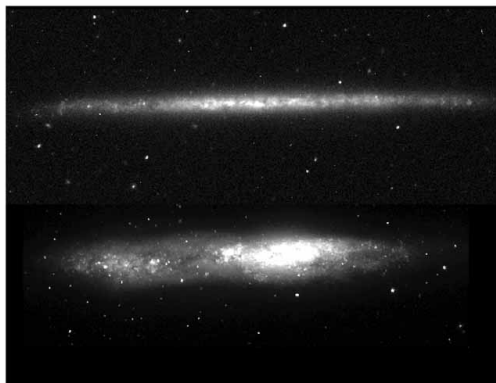
$$l_{\text{bar}}(x, y) = l_{0,\text{bar}} \sqrt{1 - \left( \frac{x}{a_{\text{bar}}} \right)^2 - \left( \frac{y}{b_{\text{bar}}} \right)^2}, \quad (1)$$

$$l_{\text{bar}}(r) = \frac{l_{0,\text{bar}}}{1 + e^{\frac{r-\alpha}{\beta}}},$$

$$l_{\text{ring}}(r) = l_{0,\text{ring}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{r-r_{0,\text{ring}}}{\sigma} \right)^2}.$$

$$I(r, z) = I(r) e^{-\frac{|z|}{h_z}} \quad (h_z \approx 0,1 h_r)$$

Donde usualmente  $I(r)$  es una ley exponencial.



UGC 7321 (Sd)  
("superdelgada")

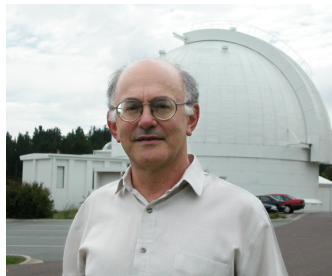
NGC 55 (SBm)

Fig 5.7 (Matthews, Ferguson)'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

(Freeman, 1970, ApJ, 160, 811)

$$\mu_0(B) \simeq 21,7 \text{ mag arcsec}^{-2}$$

para 28/36 galaxias S (RC)

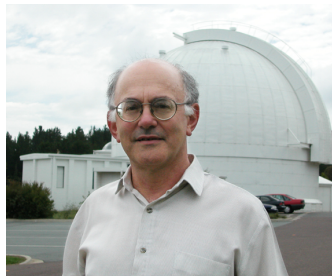


¿Astrofísica o efecto de selección?

(Freeman, 1970, ApJ, 160, 811)

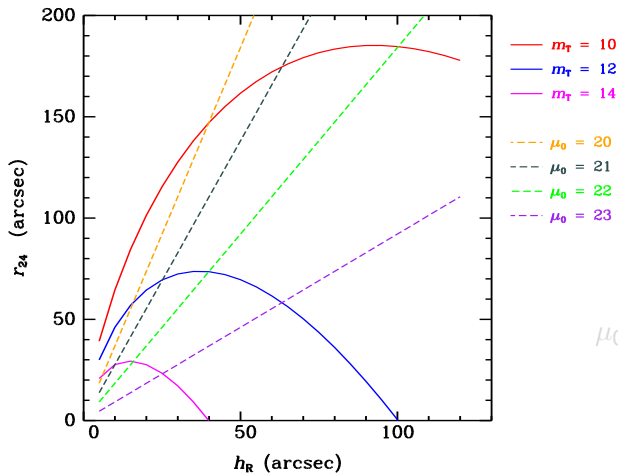
$$\mu_0(B) \simeq 21,7 \text{ mag arcsec}^{-2}$$

para 28/36 galaxias S (RC)



¿Astrofísica o efecto de selección?





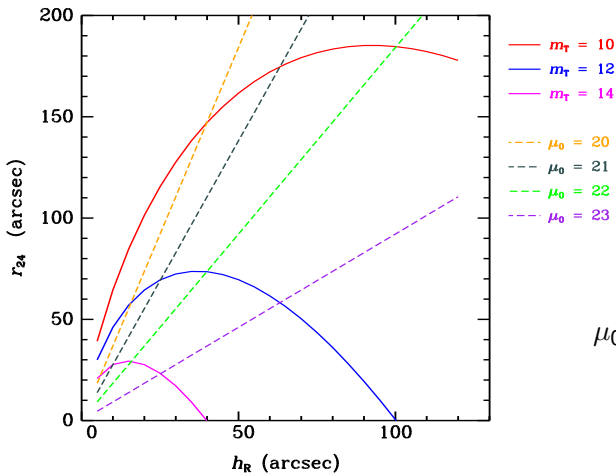
$$\mu_0 \lesssim 22 \text{ mag arcsec}^{-2}$$



$r_{24}$  es máximo

# El disco

La ley de Freeman



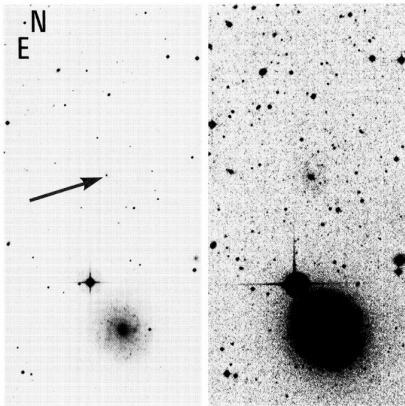
$$\mu_0 \lesssim 22 \text{ mag arcsec}^{-2}$$



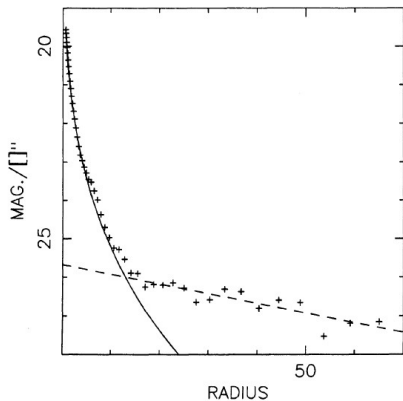
$r_{24}$  es máximo

# Espiraes LSB

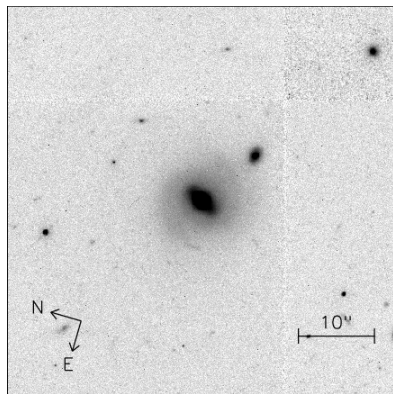
Malin 1



(Bothun, Impey, Malin, 1987, AJ, 94, 23)



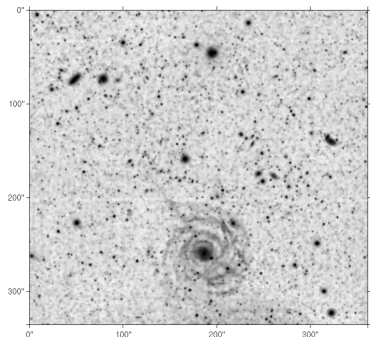
(Bothun, Impey, Malin, 1987, AJ, 94, 23)



(Barth, 2007, AJ, 133, 1085)

# Espirales LSB

Malin 1 - Imágenes profundas de gran campo

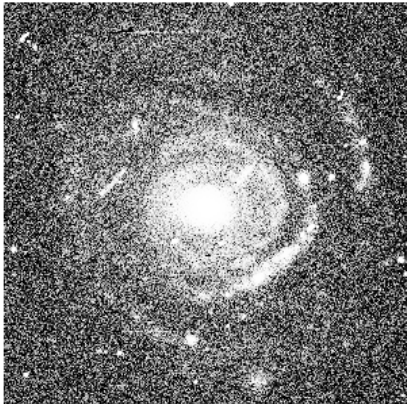


(Gaspar Galaz et al. 2015, ApJ, 815, L29)

Combinación de imágenes  $g$  y  $r$  (telescopio Magallanes 6.5m). Se distinguen el bulbo y una clara estructura espiral + *stream* (derrame), posible interacción pasada (estructuras de hasta  $\sim 28 \text{ mag arcsec}^{-2}$ ). Diámetro de Malin 1: 160 kpc.

# Espiraes LSB

Malin 2



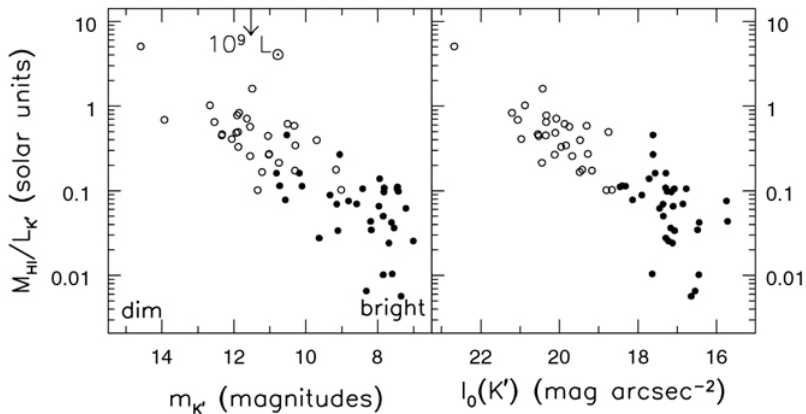
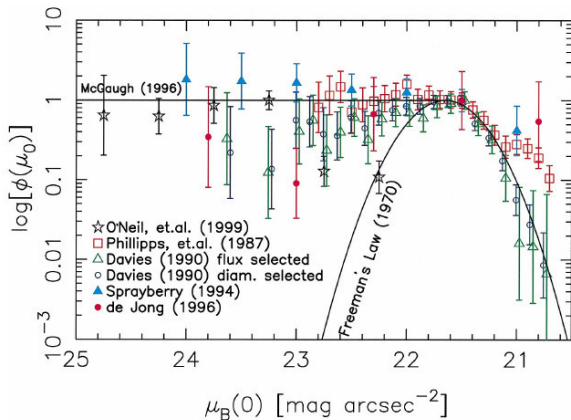


Fig 5.8 (M. Verheijen) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007



Distribución de brillo superficial central en distintas muestras observadas (O'Neil & Bothun, 2000, ApJ, 529, 811).



Elipsoide; contenido estelar:

- población estelar vieja
- y de alta metalicidad



NGC 3115  
S0



M 104  
Sa



M 33  
Sc



SMC  
Im

# El bulbo

NGC 5054 (Sb) - NGC 1365 (SBbc)



ESO PR Photo 06a/99 (27 February 1999)

Barred Galaxy NGC 1365  
(VLT UT1 + FORS1)

© European Southern Observatory



## Cap. 4: Galaxias espirales y lenticulares

- 1 Distribución de brillo superficial
- 2 La secuencia de las galaxias de disco**
- 3 Distribución de poblaciones estelares
- 4 El gas
- 5 Cinemática - dinámica
- 6 La estructura espiral
- 7 Barras
- 8 El origen de las S0

a lo largo de la secuencia de Hubble:

- aumenta la s.f.r. (en el disco)
- decrece la fracción  $\frac{B}{D}$

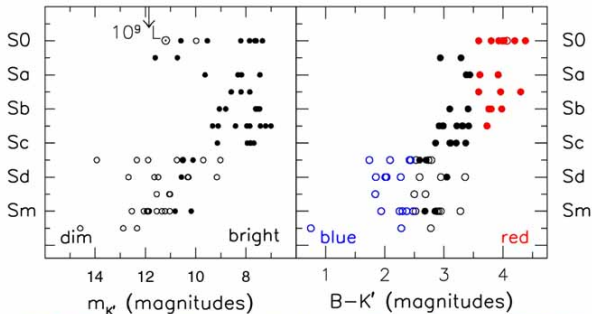
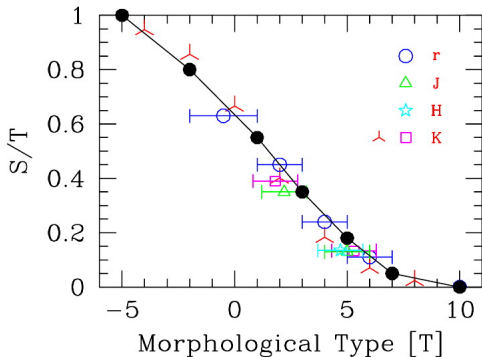


Fig 5.6 (M. Verheijen) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

a lo largo de la secuencia de Hubble:

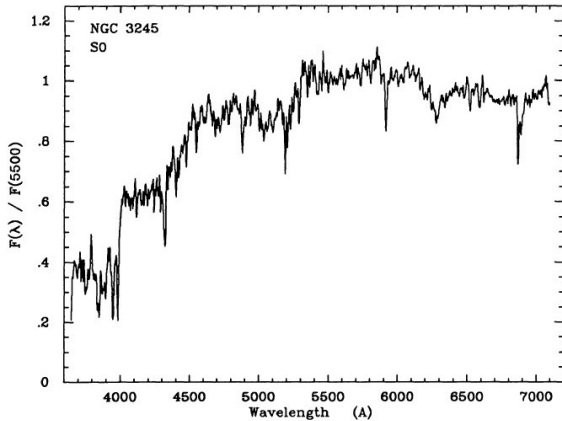
- aumenta la s.f.r. (en el disco)
- decrece la fracción  $\frac{B}{D}$



# La secuencia de galaxias de disco

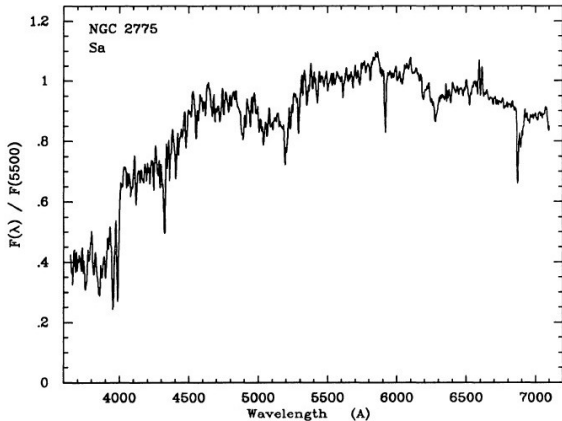
Característica	S0 – Sa	Sd – Sm
Brazos espirales	≠ o apretados	abiertos
Color – TE	rojo: ★ G tardía	azul: ★ F tardía
$B - V$	0,7 → 0,9	0,4 → 0,8
Estrellas jóvenes	pocas	relativ. muchas
Regiones HII	pocas, pequeñas	muchas, luminosas
Gas frío	poco	mucho
$\mathcal{M}(\text{HI})/\mathcal{L}_B$	$\lesssim 0,05 \rightarrow 0,1$	$\sim 0,25 \rightarrow > 1$
$\mathcal{L}_B$	$(1 \rightarrow 4)10^{10} \mathcal{L}_\odot$	$(< 0,1 \rightarrow 2)10^{10} \mathcal{L}_\odot$
$l_0$	alto	bajo
$\mathcal{M}(< R)$	$(0,5 \rightarrow 3)10^{11} \mathcal{M}_\odot$	$(< 0,2 \rightarrow 1)10^{11} \mathcal{M}_\odot$
Rotación	$\frac{dV(R)}{dR}$ alta	$\frac{dV(R)}{dR}$ baja
B/D	alta	baja

# Espectros ópticos



galaxia S0

(Kennicutt 1992)

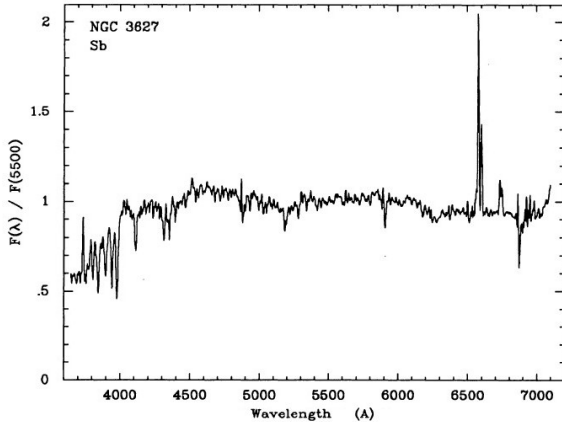


galaxia Sa

(Kennicutt 1992)



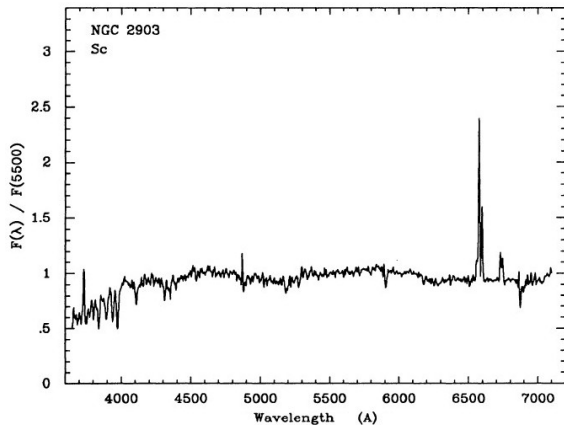
# Espectros ópticos



galaxia Sb

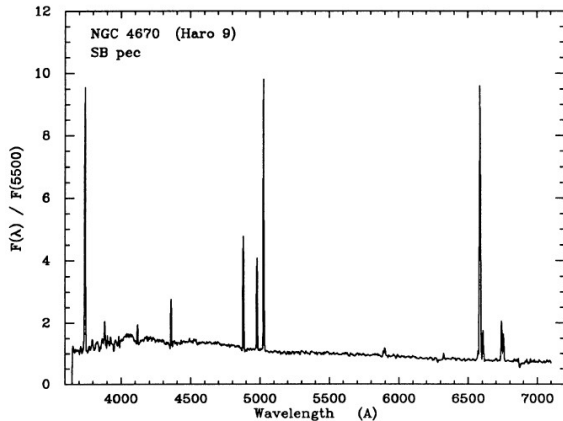
(Kennicutt 1992)

# Espectros ópticos



galaxia Sc

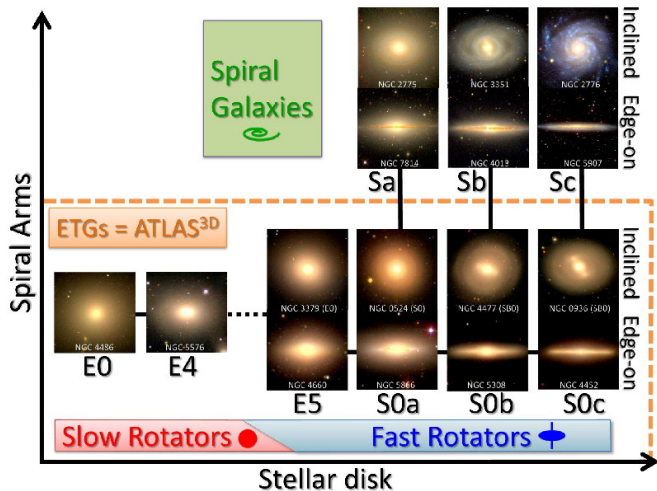
(Kennicutt 1992)



galaxia Sm

(Kennicutt 1992)

# Clasificación cinemática

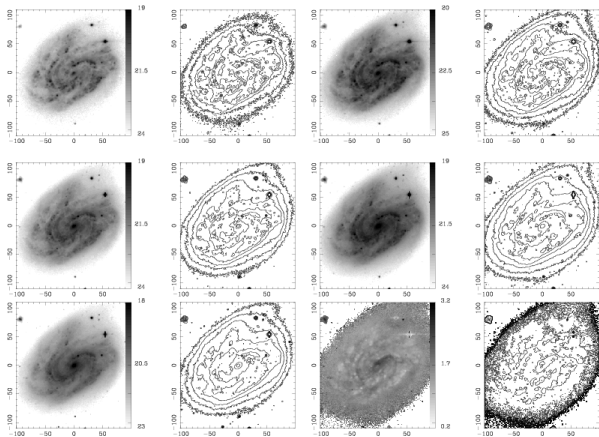


(Cappellari et al. 2011, MNRAS, 416, 1680)

## Cap. 4: Galaxias espirales y lenticulares

- 1 Distribución de brillo superficial
- 2 La secuencia de las galaxias de disco
- 3 Distribución de poblaciones estelares**
- 4 El gas
- 5 Cinemática - dinámica
- 6 La estructura espiral
- 7 Barras
- 8 El origen de las S0

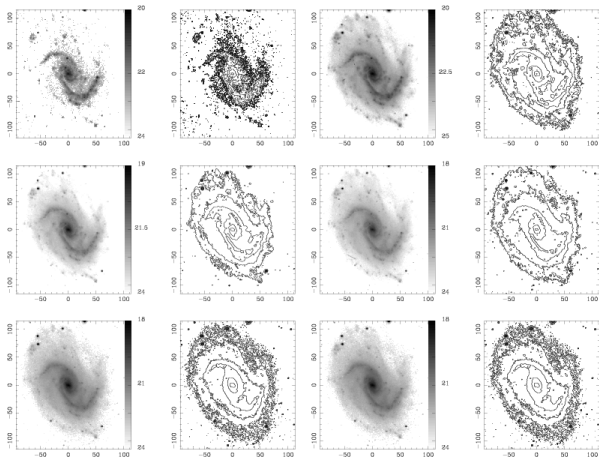
# Distribución de poblaciones estelares



$U$	$B$
$V$	$R$
$I$	$B-I$

NGC 157  
(SABbc)

# Distribución de poblaciones estelares



$U$	$B$
$V$	$R$
$I$	$B - I$

NGC 895  
(Scd)

2003, A&A, 400, 421)

# Distribución de poblaciones estelares

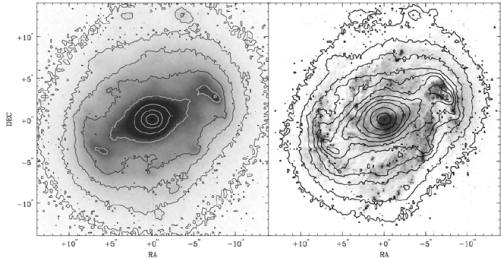


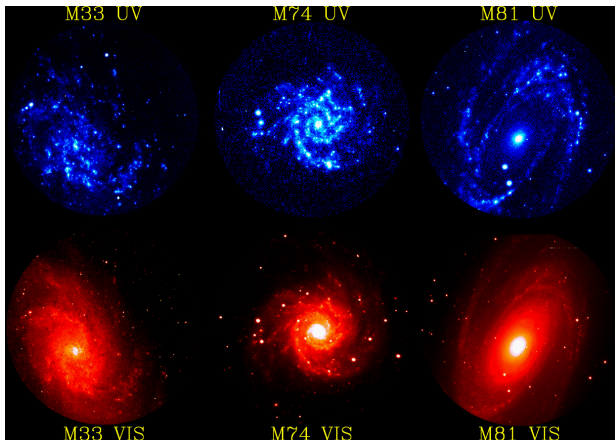
Fig 5.9 (J. Knapen) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

Región central de M 100 (NGC 4321) en óptico (HST, *izq.*) en banda  $K$  ( $2,2 \mu\text{m}$ ) (*centro*) y en  $H_{\alpha}$  (*der.*) + contornos  $K$ .



# Regiones de formación estelar

Observaciones en ultravioleta lejano



Ultravioleta  
lejano  
(UIT)  
 $\lambda = 1521 \text{ \AA}$

óptico

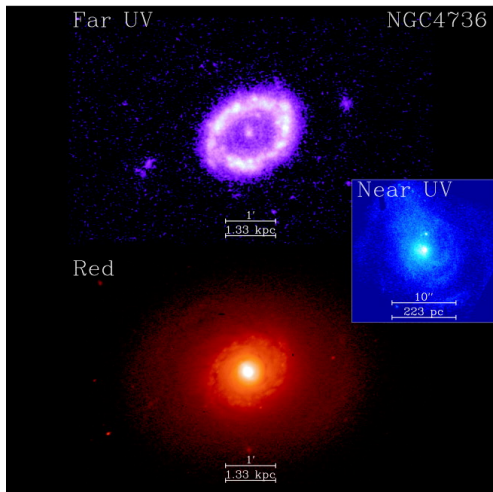
Scd

Sc

Sb

# Regiones de formación estelar

Observaciones en ultravioleta lejano



M 94  
(Sab)

FUV (UIT)  $\lambda = 1521 \text{ \AA}$   
NUV (HST)  $\lambda = 2300 \text{ \AA}$

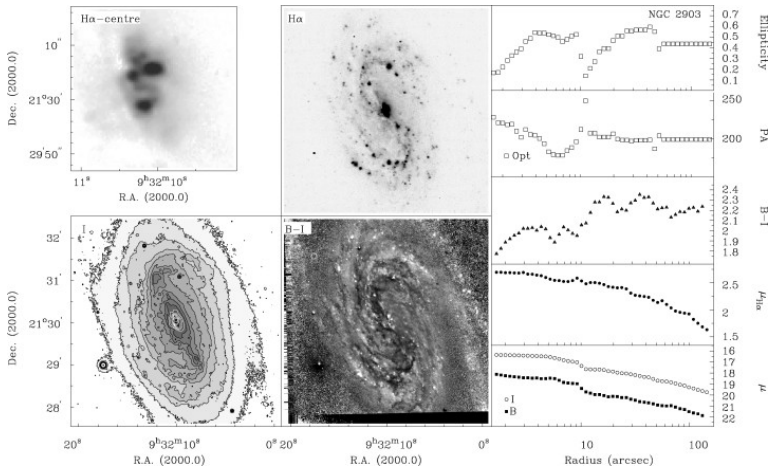
(Waller et al. 2001, AJ, 121,  
1395)

## Cap. 4: Galaxias espirales y lenticulares

- 1 Distribución de brillo superficial
- 2 La secuencia de las galaxias de disco
- 3 Distribución de poblaciones estelares
- 4 El gas**
- 5 Cinemática - dinámica
- 6 La estructura espiral
- 7 Barras
- 8 El origen de las S0

# Regiones de formación estelar

Emisión  $H\alpha$

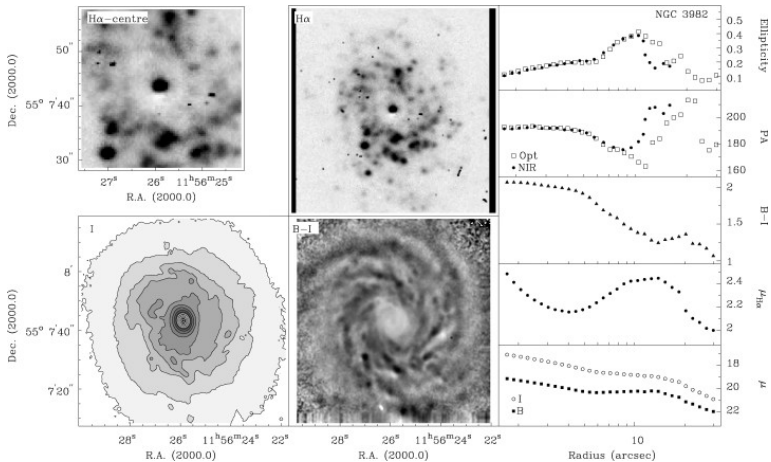


NGC 2903 (SBd)

(Knapen et al., 2002, MNRAS, 337, 808)

# Regiones de formación estelar

Emisión  $H\alpha$

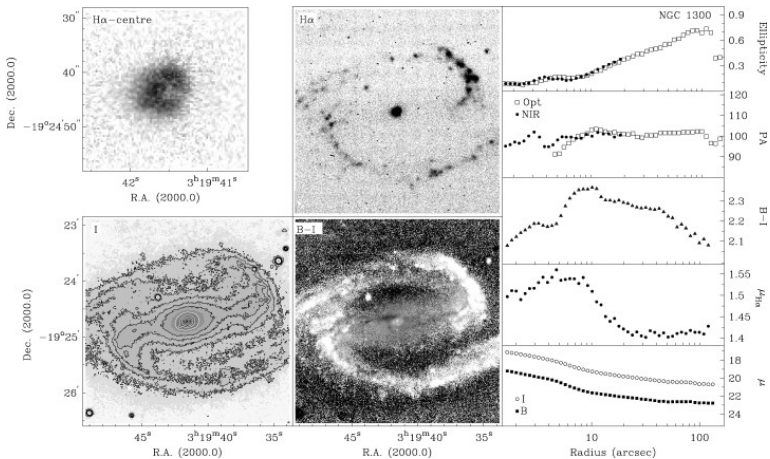


NGC 3982 (SABb)

(Knapen et al., 2002, MNRAS, 337, 808)

# Regiones de formación estelar

Emisión  $H\alpha$

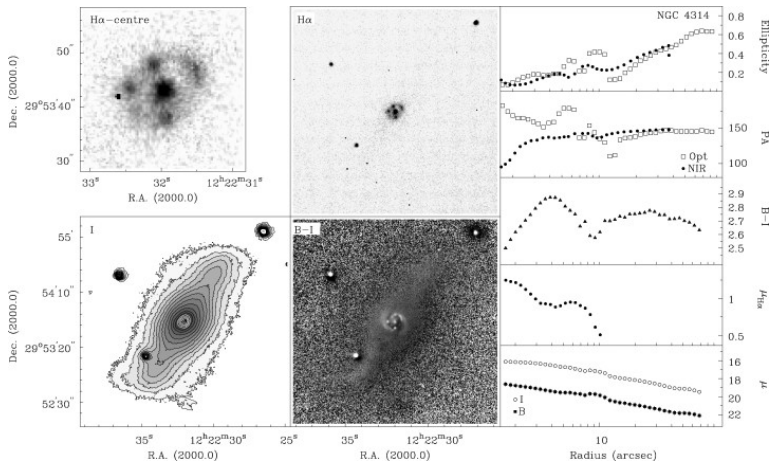


NGC 1300 (SBbc)

(Knapen et al., 2002, MNRAS, 337, 808)

# Regiones de formación estelar

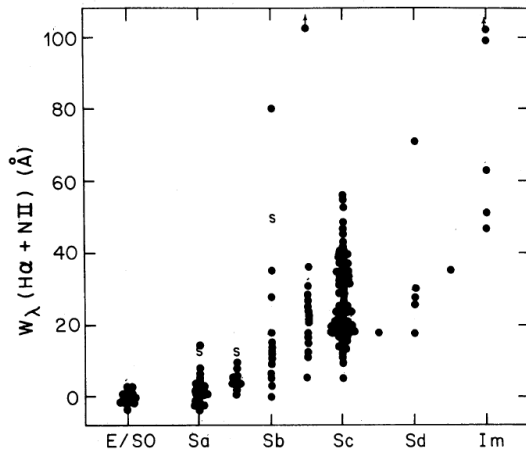
Emisión  $H\alpha$



NGC 4314 (SBa)

(Knapen et al., 2002, MNRAS, 337, 808)

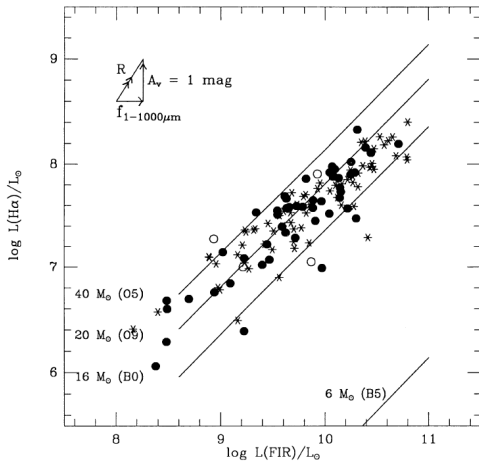
# Relación $H\alpha$ - tipo de Hubble



(Kennicutt & Kent 1983, AJ, 88, 1094)



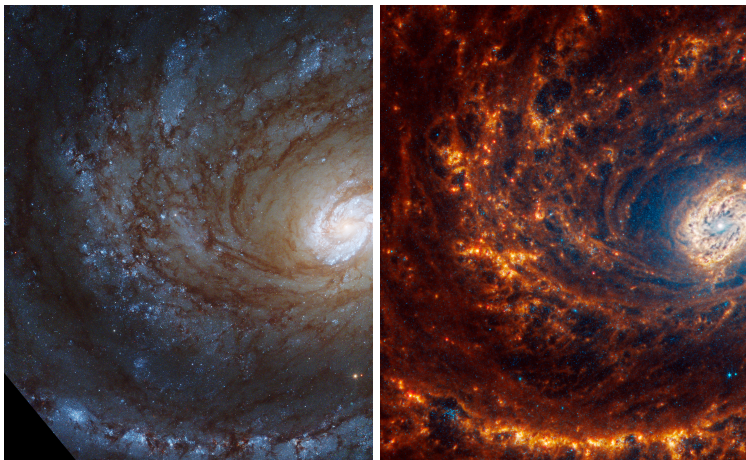
# Relación $H\alpha$ - FIR



(Devereux & Young 1990, ApJ, 350, L25)

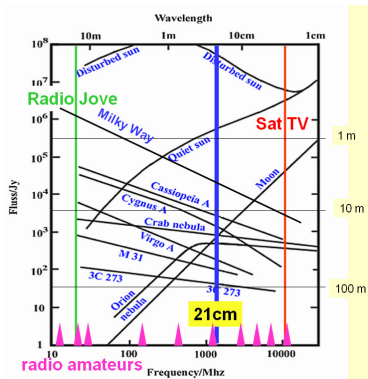
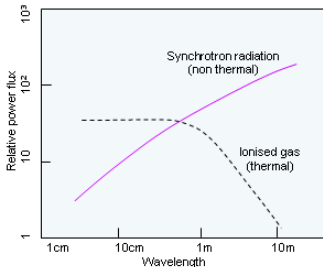
# Galaxias espirales en el IR

JWST



(NASA, ESA, CSA, STScI, Janice Lee (STScI), Thomas Williams (Oxford), PHANGS Team)

# Espectros de fuentes térmicas y no térmicas



Poder resolvente de un telescopio:

$$\theta \simeq \frac{\lambda}{D}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{radio}} &\sim 10^{-1} \text{ m} \\ \lambda_{\text{óptico}} &\sim 5 \times 10^{-7} \text{ m}\end{aligned}$$

para  $\lambda = 21 \text{ cm}$ :

Nombre	$D$ (m)	$\theta$ (arcmin)
IAR	30	24
Efflesberg	100	7
FAST (China)	500	1.4

Para  $\theta = 1''$  (típico en el óptico)  $\rightarrow D \sim 40 \text{ km}$

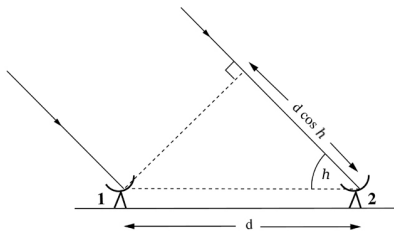


Fig 5.11 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007



# Hidrógeno neutro

## Distribución espacial

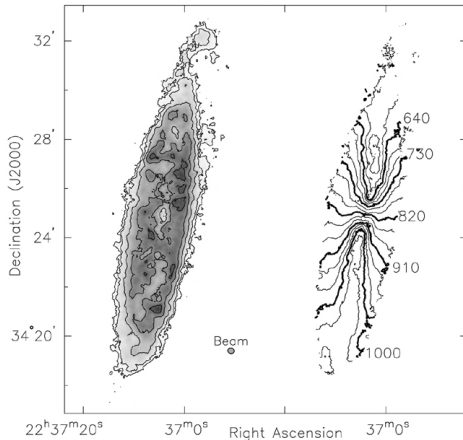


Fig 5.13 (Thorley & Bambi) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

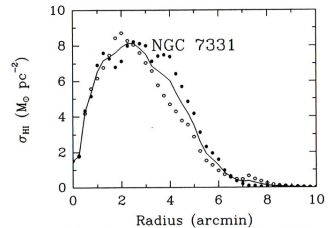


Fig 5.14 (K. Boggan) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

# Hidrógeno neutro

Distribución espacial

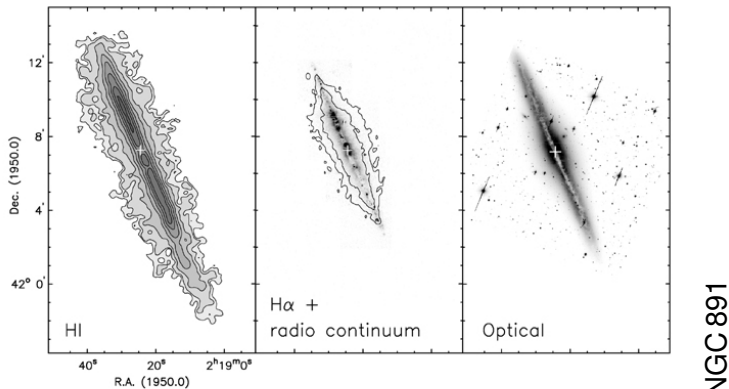


Fig 5.16 (Swaters & Rand) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

# Hidrógeno neutro

Anillos polares

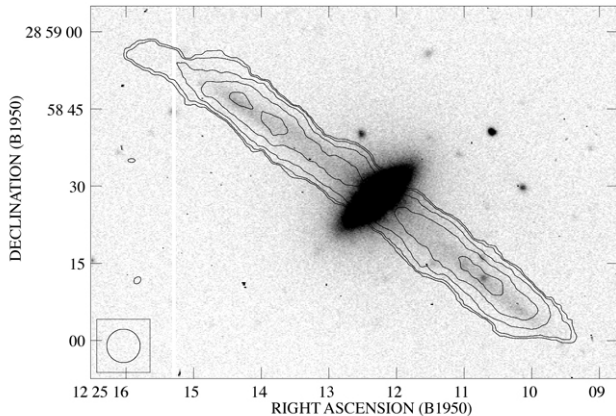


Fig 5.17 (A. Cox) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007



## Cap. 4: Galaxias espirales y lenticulares

- 1 Distribución de brillo superficial
- 2 La secuencia de las galaxias de disco
- 3 Distribución de poblaciones estelares
- 4 El gas
- 5 Cinemática - dinámica**
- 6 La estructura espiral
- 7 Barras
- 8 El origen de las S0

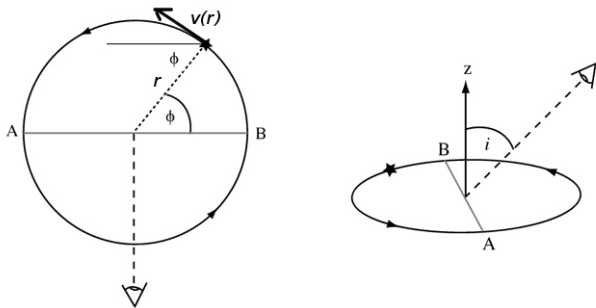


Fig 5.18 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

$$V_r(R, i) = V_{\text{sis}} + V(R) \text{sen}(i) \cos(\phi)$$

# La curva de rotación

## Diagrama de araña

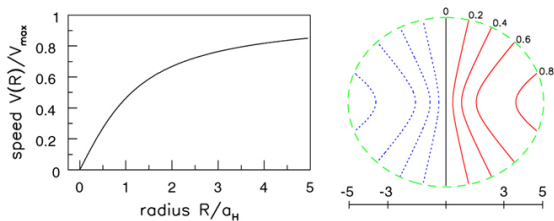


Fig 5.19 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

$$4\pi G \rho_H(r) = \frac{V_H^2}{r^2 + \sigma_H^2}$$

# La curva de rotación

Diagrama de araña

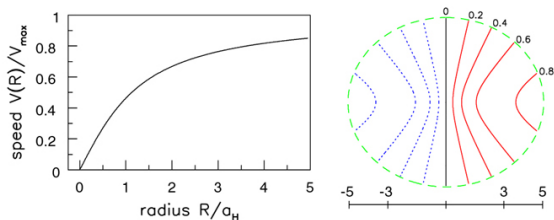
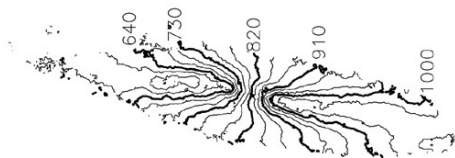


Fig 5.19 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

$$4\pi G \rho_H(r) = \frac{V_H^2}{r^2 + \sigma_H^2}$$



NGC 7331

Diagrama de  
araña

# La curva de rotación

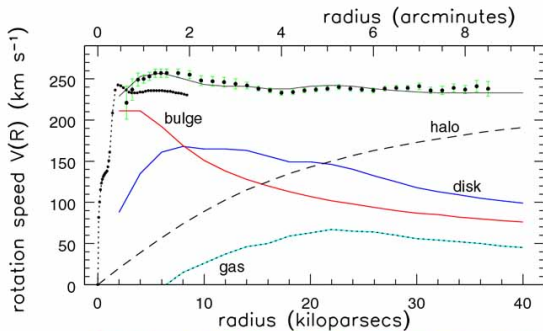
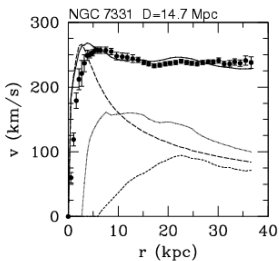
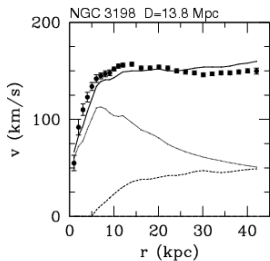
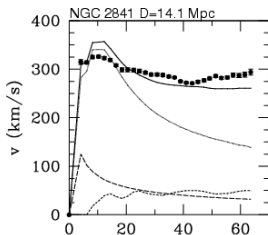
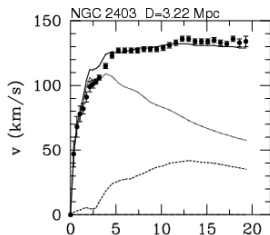


Fig 5.20 (Begeman, Sofue) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

NGC 7331

$$V(R) \approx \text{cte} \quad \Rightarrow \quad \omega(R) = \frac{V(R)}{R} \text{ es decreciente}$$
$$\Rightarrow \text{rotación diferencial}$$

# La curva de rotación



Modified Newton  
Dynamics  
(MOND)

NGC 2403 (Scd),  
NGC 2841 (Sb),  
NGC 3198 (Sc) y  
NGC 7331 (Sb)

(Bottema et al. 2002, A&A  
393, 453)

# La relación Tully-Fisher

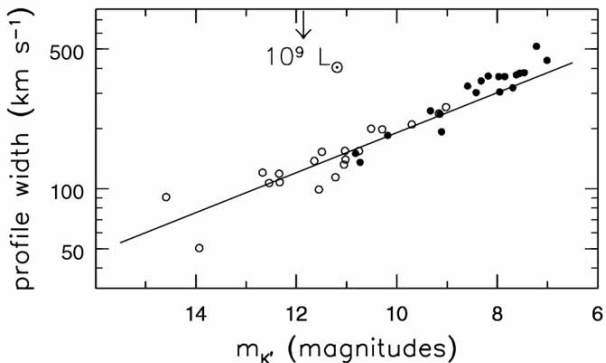


Fig 5.23 (M. Verheijen) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

## Cap. 4: Galaxias espirales y lenticulares

- 1 Distribución de brillo superficial
- 2 La secuencia de las galaxias de disco
- 3 Distribución de poblaciones estelares
- 4 El gas
- 5 Cinemática - dinámica
- 6 La estructura espiral**
- 7 Barras
- 8 El origen de las S0



## Tipos de espirales



NGC 2903 (Sc)

*grand design*

Brazos bien definidos



NGC 7793 (Sbc)

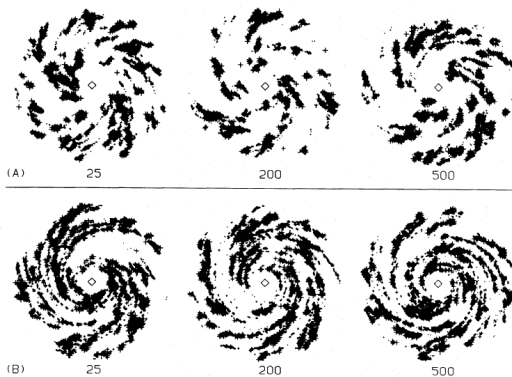
*flocculent*

Varios fragmentos de brazos

# Espirales tipo “grumoso” (*flocculent*)

Formación estelar estocástica autopropagada (SSPSF)

(Gerola & Seiden 1978, ApJ, 223, 129)



# Espirales tipo *grand design*

$$\cos \{m[\phi + f(R, t)]\} = 1$$

$$\frac{1}{\tan i} = \left| R \frac{\partial \phi}{\partial R} \right| = \left| R \frac{\partial f}{\partial R} \right|$$

$i$  (pitch angle)    Sa:  $\langle i \rangle \simeq 5^\circ$      $\rightarrow$     Sc:  $10 < i < 30^\circ$

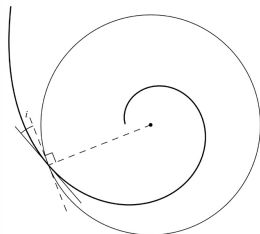
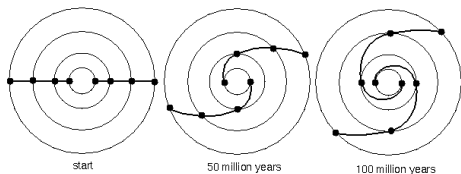


Fig 5.28 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

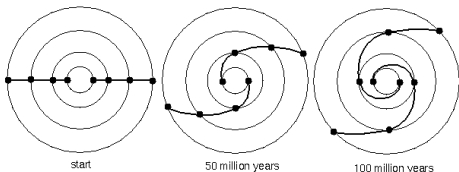
# Espirales tipo “gran diseño” (*grand design*)



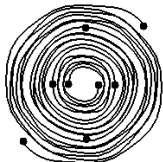
*Differential rotation:* stars near the center take less time to orbit the center than those farther from the center. Differential rotation can create a spiral pattern in the disk in a short time.

(Copyrighted, 1998 – 2006 by Nick Strobel)

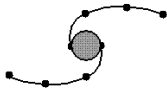
# Espirales tipo “gran diseño” (*grand design*)



*Differential rotation:* stars near the center take less time to orbit the center than those farther from the center. Differential rotation can create a spiral pattern in the disk in a short time.



**Prediction:** 500 million years



**Observation:** 15,000 million years

The “winding problem”: because of differential rotation, the spiral arms should be so wound up after a short time that the spiral structure has disappeared. Observation contradicts the prediction. What keeps the spiral’s loose?

(Copyrighted, 1998 – 2006 by Nick Strobel)



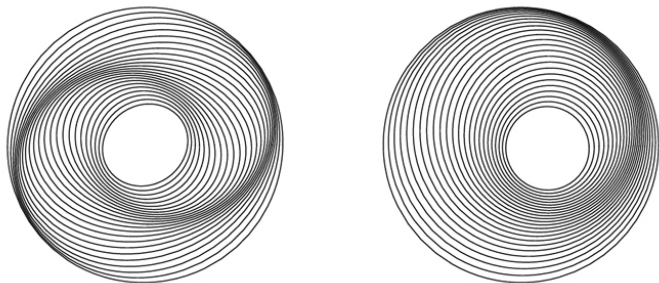
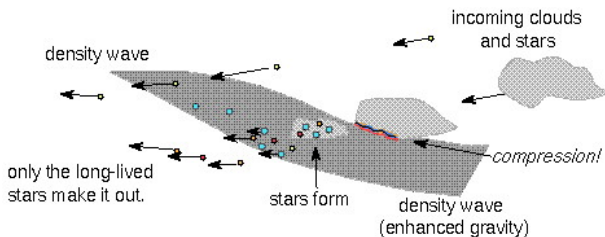
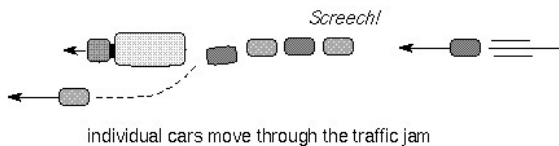


Fig 5.29 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

Para una espiral de  $m$  brazos:  $\psi = m \phi_g(0) \Rightarrow \Omega_p = \Omega - \frac{\kappa}{m}$

# Ondas de densidad





# Ondas de densidad

Resonancias de Lindblad

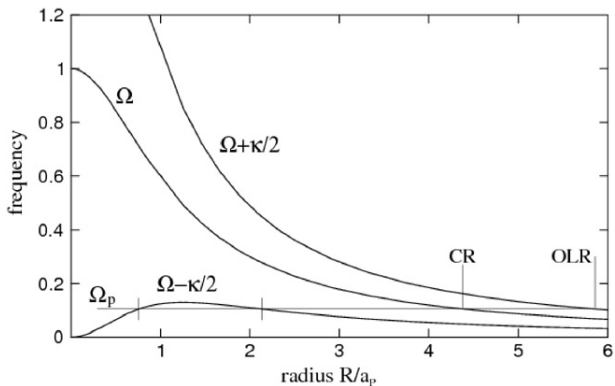


Fig 5.30 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

# Ondas de densidad

Gas - polvo

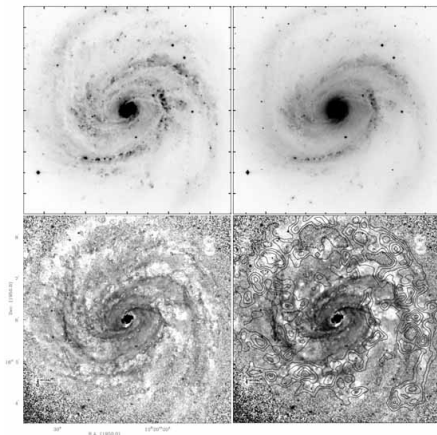


Fig 5.26 (J. Knapen) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

¿Qué es lo que mantiene la onda?

- fuerza interna debida a barra en rotación
- galaxia compañera



## Cap. 4: Galaxias espirales y lenticulares

- 1 Distribución de brillo superficial
- 2 La secuencia de las galaxias de disco
- 3 Distribución de poblaciones estelares
- 4 El gas
- 5 Cinemática - dinámica
- 6 La estructura espiral
- 7 Barras**
- 8 El origen de las S0

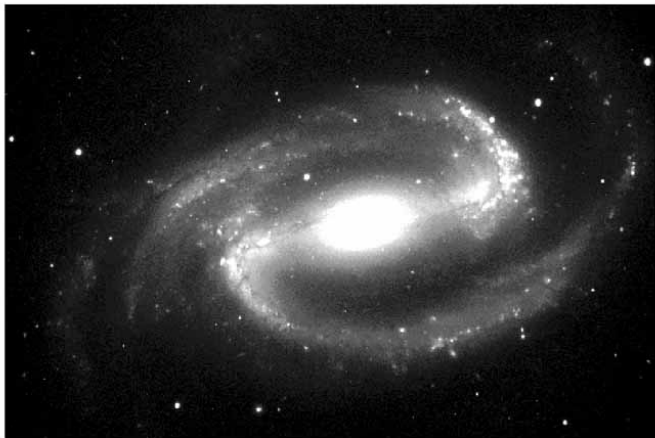


Fig 5.32 (WIYN) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

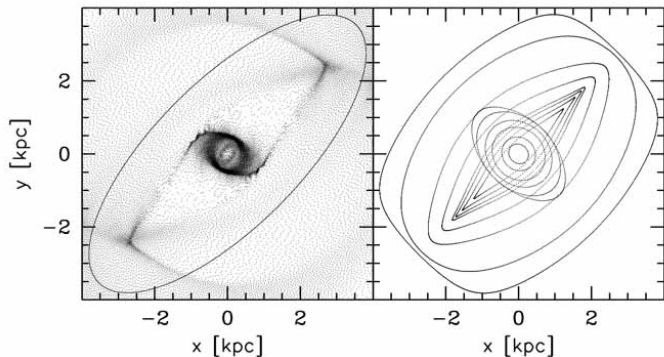


Fig 5.33 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

## Cap. 4: Galaxias espirales y lenticulares

- 1 Distribución de brillo superficial
- 2 La secuencia de las galaxias de disco
- 3 Distribución de poblaciones estelares
- 4 El gas
- 5 Cinemática - dinámica
- 6 La estructura espiral
- 7 Barras
- 8 El origen de las S0**

## Similitudes entre S y S0:

- componentes estructurales: bulbos, pseudo-bulbos, discos, barras, anillos, etc.

## Similitudes entre E y S0:

- poblaciones estelares viejas, sin gas frío ni polvo.
- sin estructura espiral.

## Observaciones:

- en los ambientes de alta densidad, aumenta el número de S0 y disminuye el de S (Dressler et al., 1980).
- la frecuencia de las S disminuye desde  $z = 1$ , mientras que el de las S0 aumenta (Dressler et al., 1997).



## Similitudes entre S y S0:

- componentes estructurales: bulbos, pseudo-bulbos, discos, barras, anillos, etc.

## Similitudes entre E y S0:

- poblaciones estelares viejas, sin gas frío ni polvo.
- sin estructura espiral.

## Observaciones:

- en los ambientes de alta densidad, aumenta el número de S0 y disminuye el de S (Dressler et al., 1980).
- la frecuencia de las S disminuye desde  $z = 1$ , mientras que el de las S0 aumenta (Dressler et al., 1997).

## Similitudes entre S y S0:

- componentes estructurales: bulbos, pseudo-bulbos, discos, barras, anillos, etc.

## Similitudes entre E y S0:

- poblaciones estelares viejas, sin gas frío ni polvo.
- sin estructura espiral.

## Observaciones:

- en los ambientes de alta densidad, aumenta el número de S0 y disminuye el de S (Dressler et al., 1980).
- la frecuencia de las S disminuye desde  $z = 1$ , mientras que el de las S0 aumenta (Dressler et al., 1997).

## Escenarios:

- 1- las galaxias S0 son S que han sido suavemente despojadas de su gas, o bien, han consumido todo el gas frío:
  - Hostigamiento galáctico (*galactic harassment*): efectos de marea
  - Robo del gas por la presión del medio (*ram pressure stripping*): efecto del gas caliente intracúmulo

Problema (Sidney van den Bergh, 2009): ¿existen S0 en el campo, y muchas **en grupos poco densos!**

## Escenarios:

- 1- las galaxias S0 son S que han sido suavemente despojadas de su gas, o bien, han consumido todo el gas frío:
  - Hostigamiento galáctico (*galactic harassment*): efectos de marea
  - Robo del gas por la presión del medio (*ram pressure stripping*): efecto del gas caliente intracúmulo

Problema (Sidney van den Bergh, 2009): ¿existen S0 en el campo, y muchas **en grupos poco densos!**

## Escenarios posibles:

- 2- encuentros, fusiones menores ( $<1:7$ ) y acreciones sobre los discos de la S pueden transformarlas en S0 (Bekki et al., 1998; Bournaud et al. 2005; Diaz et al. 2018) → esto actúa también en ambientes de baja densidad
- 3- las galaxias S0 surgen como tales (Sil'chenko 2013; Saha et al., 2018) → puede darse la transformación de S0 a S por acreción de gas fresco

## Escenarios posibles:

- 2- encuentros, fusiones menores ( $<1:7$ ) y acreciones sobre los discos de la S pueden transformarlas en S0 (Bekki et al., 1998; Bournaud et al. 2005; Diaz et al. 2018) → esto actúa también en ambientes de baja densidad
- 3- las galaxias S0 surgen como tales (Sil'chenko 2013; Saha et al., 2018) → puede darse la transformación de S0 a S por acreción de gas fresco

Escenarios posibles:

- 2- encuentros, fusiones menores ( $<1:7$ ) y acreciones sobre los discos de la S pueden transformarlas en S0 (Bekki et al., 1998; Bournaud et al. 2005; Diaz et al. 2018) → esto actúa también en ambientes de baja densidad
- 3- las galaxias S0 surgen como tales (Sil'chenko 2013; Saha et al., 2018) → puede darse la transformación de S0 a S por acreción de gas fresco

- *Galaxies in the Universe: An Introduction*,  
Linda S. Sparke & John S. Gallagher III (Cambridge  
University Press, 2nd. Edition, 2000).
- *Galactic Astronomy*,  
J. Binney & M. Merrifield (Princeton University Press,  
1998).