La galaxia anfitriona de las Galaxias Compactas Azules



Ricardo O. Amorín Barbieri (IAC, ahora en IAA)
Casiana Muñoz Tuñón (IAC) & J. Alfonso L. Aguerri (IAC)

Proyecto Coordinado "Estallidos de Formación Estelar en Galaxias"

Índice

I. Introducción, motivaciones y objetivos del estudio

II. Modelado de la galaxia anfitriona de las BCGs

III. Propiedades estructurales y relaciones de escala

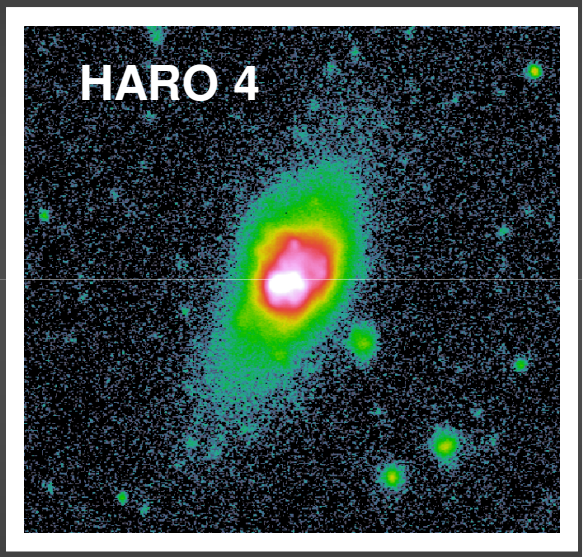
IV. Análisis del contenido molecular en una submuestra de BCGs

V. Otras colaboraciones y proyectos en progreso

VI. Conclusiones

Galaxias Compactas Azules (BCGs)

- Propiedades básicas (p.ej. Sargent & Searle 1970; Thuan & Martin 1981; Kunth & Sargent, 1986; Cairós et al. 2001; Gil de Paz et al. 2003)
  - Poco luminosas y pequeñas: $-12 > M_B > -21$, $d_{starburst} < 1\text{-}5$ kpc
  - Intensas líneas de emisión : EW(Hα ≥ 20 Å)
  - Intensa formación estelar : $0.1\ M_\odot$/año < SFR < $10\ M_\odot$/año
  - Baja metalicidad: $Z_\odot/50 < Z < Z_\odot/3$
  - Ricas en gas neutro: $M_{HI} \sim 10^8\ M_\odot - 10^9\ M_\odot$, $M_{gas}/M_{tot} \sim 30\%$



Las BCGs son galaxias viejas que sufren intensos y recurrentes brotes de formación estelar masiva

(p.ej., Mas-Hesse & Kunth 1999; Sanchez Almeida et al. 2008)

BCGs

- Componentes fotométricas

Regiones de formación estelar (starburst)

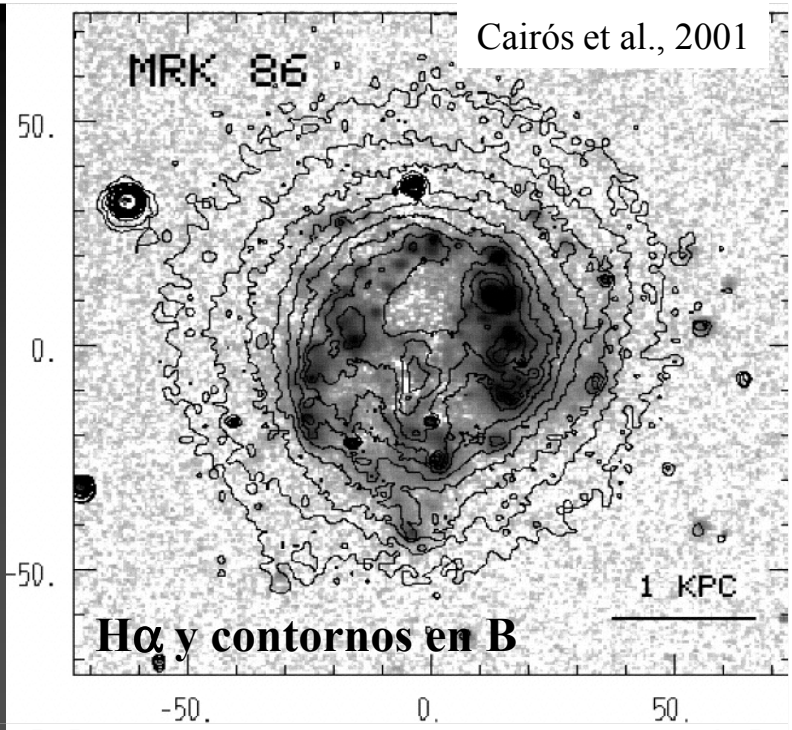
- Estrellas jóvenes (3-10 Myr) + gas ionizado
- Colores azules (B-V < 0.5)
- Alto brillo superficial

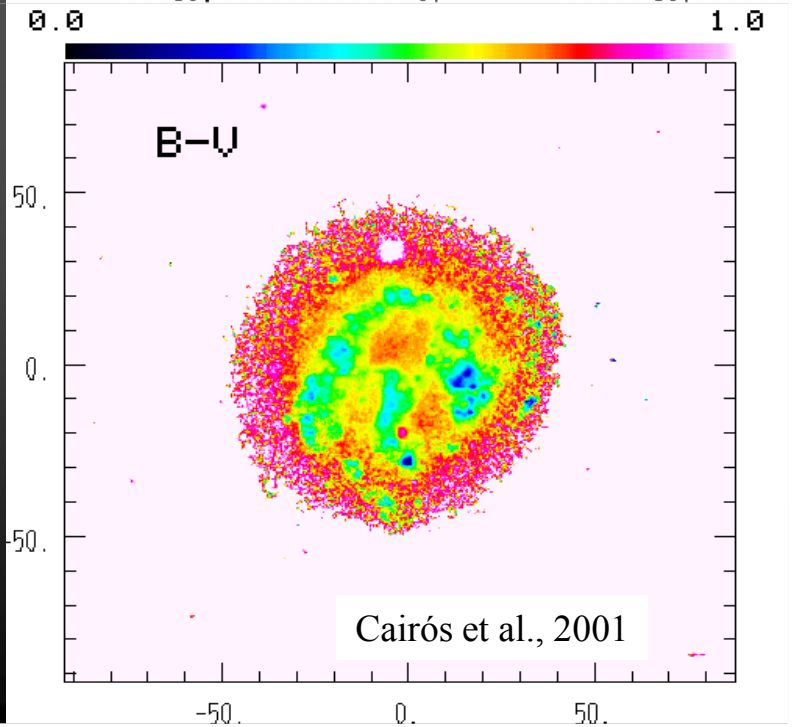
(p.ej., Mass-Hesse & Kunth 1999; Martinez-Delgado PhDT)

Galaxia anfitriona (host)

- Estrellas evolucionadas (> 1Gyr)
- Colores más rojos (B-V > 0.5)
- Bajo brillo superficial (μ_B> 22-24 mag arcsec^{-2})

(p.ej.,Telles 1995; Drozdovsky et al. 2001; Noeske et al., 2003; Cairós et al., 2007)

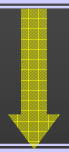




Motivaciones y objetivos I

- Naturaleza de la galaxias anfitriona: muchas preguntas abiertas
  - ¿Cuáles son sus parámetros estructurales?
  - ¿Cuáles son sus colores y edades? ¿Cuáles son sus masas?
  - ¿Qué tipo de galaxia esperamos "ver" cuando cese la formación estelar?

Requiere observaciones de calidad a bajo brillo superficial (en el óptico: 27-28 mag/arcsec^2) y métodos robustos que permitan alcanzar resultados más fiables



Objetivo I: caracterizar la galaxia anfitriona por medio del modelado 2D de su distribución de luz observada. Derivar parámetros estructurales, colores y masas

Motivaciones y objetivos: II

- ¿Cuál es el contenido molecular de las BCGs?
  - ¿Cuáles son sus propiedades y cómo se relacionan con el resto de propiedades globales de la galaxia (metalicidad, contenido estelar, gas neutro y ritmos de formación estelar)?

Requiere esfuerzo instrumental y observacional. Su baja tasa de detección y la inhomogeneidad de los datos limita los estudios



Objetivo II: Detectar la emisión de CO en una muestra de BCGs con mejores instrumentos. Explorar su relación con las propiedades globales de las galaxias

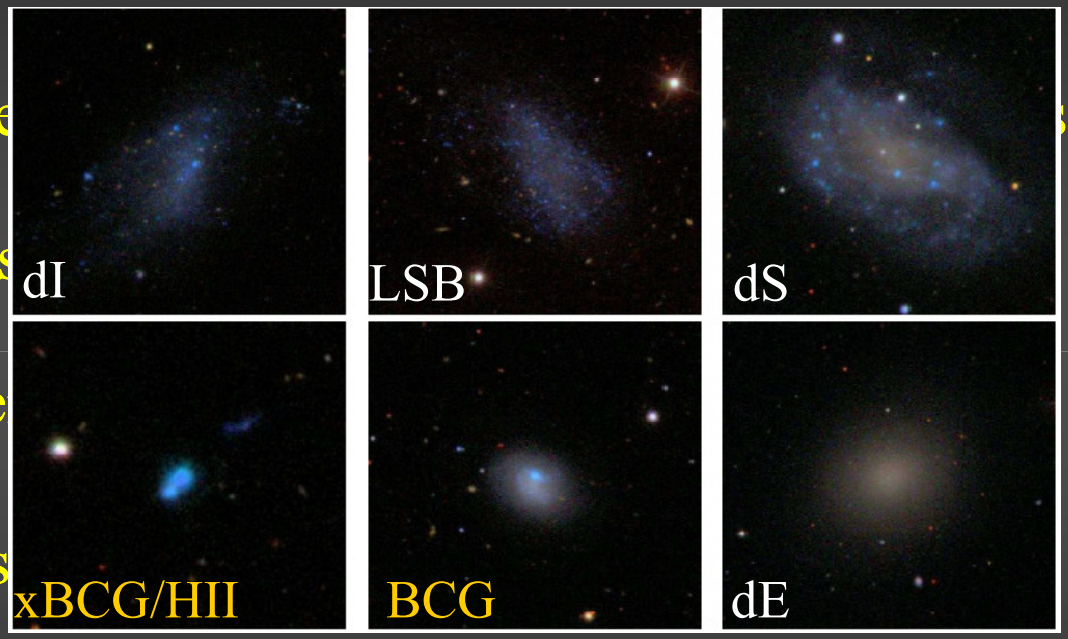
Relevancia y contexto

Conexiones e

Formación es

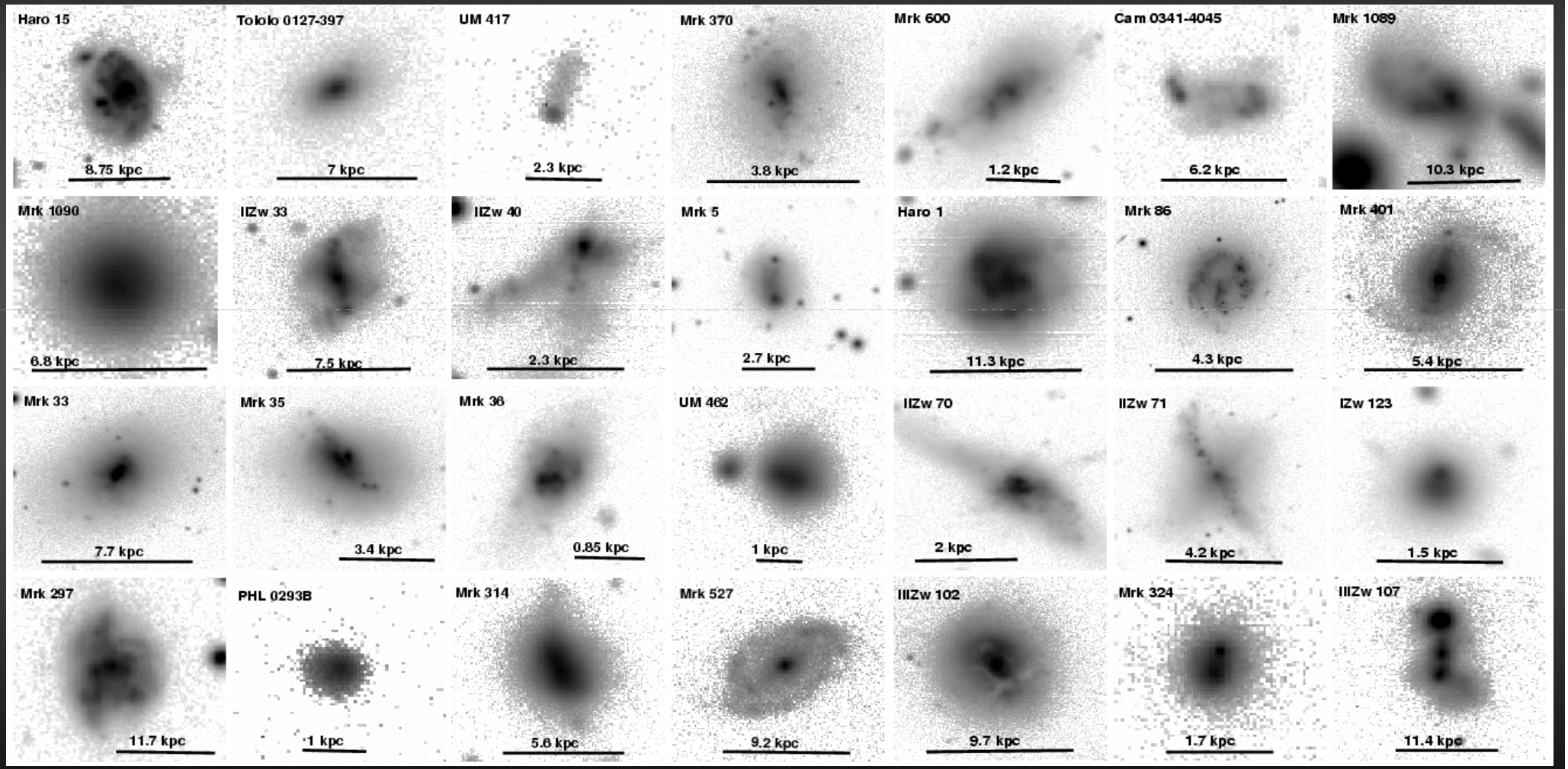
Interacción e

Contexto cos



El estudio de las propiedades de BCGs cercanas puede constituir una excelente referencia en el Universo cercano, esencial para interpretar resultados a mayores distancias

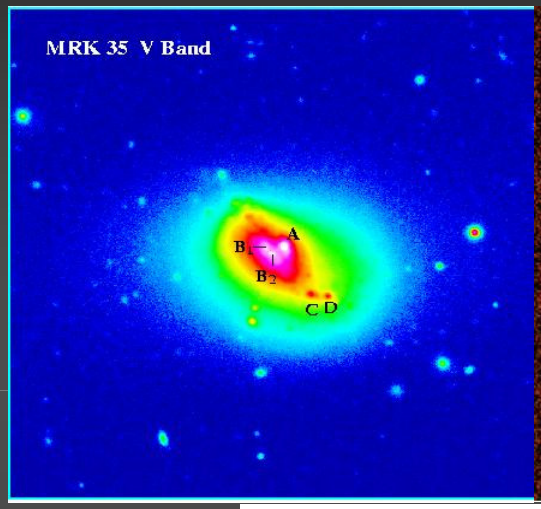
Muestra de galaxias



Datos

Imagen multibanda *BVRI* profunda y Hα

NOT 2.52m, CAHA 3.5m y 2.2m, INT 2.5m,
JKT 1.0m , ESO 1.52m. (Cairós et al. 2001)





Hα neta (Cairós et al., 2007

Datos de la literatura:

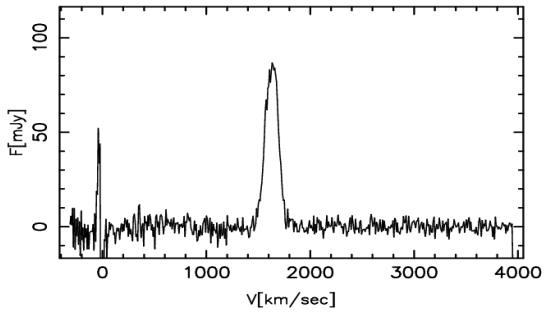
HI (p.ej. Thuan & Martin 1981)

Flujos 1.4GHz (Condon et al. 1998),

Flujos NIR-FIR (2MASS; Moshir et al. 1990)

Metalicidades (Shi et al. 2006)

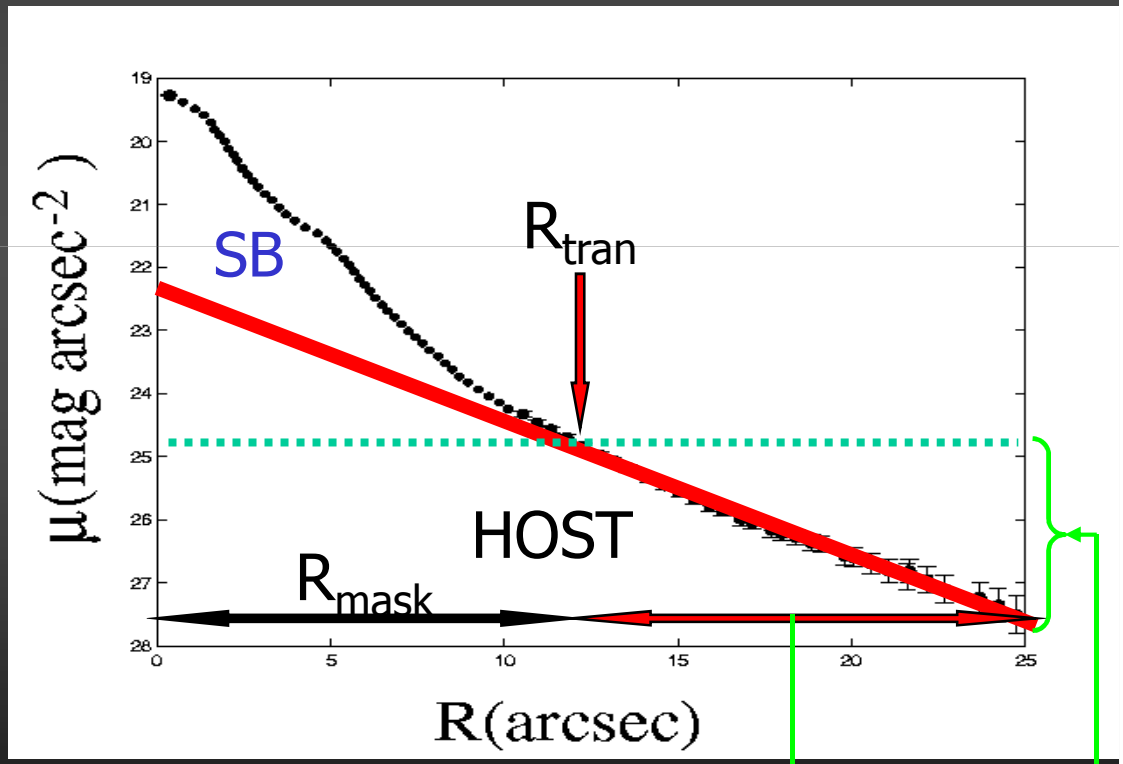
λ21cm Arecibo 315m. (Thuan & Martin 1981)



Ajuste de parámetros estructurales

Fotometría superficial: óptico (Telles 1995, Papaderos et al. 1996, Doublier et al. 1997,1999, Marlowe et al. 1997,1999, Cairós 2000, Cairós 2001ab) e IR (Cairós et al. 2003; Noeske et al. 2003/05)

- Extracción del perfil de las imágenes. Requiere profundidad y calidad
- Identificación de contribuciones:
  - Starburst (SB)
  - Galaxia anfitriona (Host)
  - Determinación precisa del radio de transición (R_{tran})
- Ajuste del perfil externo a R_{tran}
  - Modelo analítico adecuado: Exponencial / Sérsic ($r^{1/n}$)
  - Rango suficiente en R y en μ
  - Cielo y S/N



Una nueva aproximación: Modelado 2D

- Permite ajustar diversas funciones analíticas (exponencial, $r^{1/4}$, Sérsic) directamente a las imágenes sin necesidad de extraer un perfil radial.
- Permite utilizar máscaras
- Permite ajustar un fondo de cielo simultaneamente
- Permite convolucionar los modelos con una PSF
- Correcto tratamiento estadístico

$$\chi^2 = \frac{1}{N_{dof}} \sum_{x=1}^{nx} \sum_{y=1}^{ny} \frac{(flujo_{x,y} - modelo_{x,y})^2}{\sigma^2{}_{x,y}}$$

Herramienta: GALFIT (*v*2.03b, Peng et al. 2002)

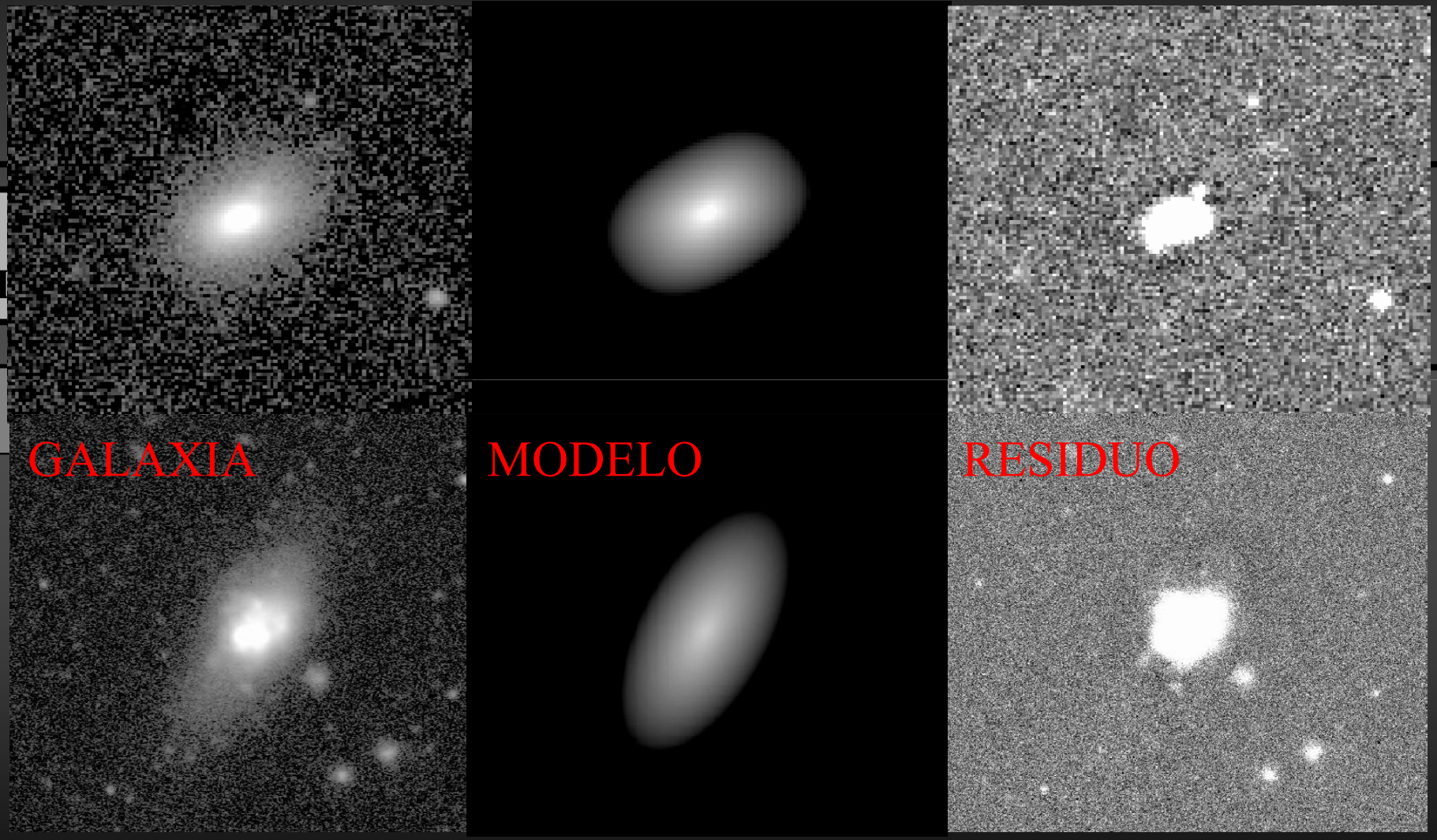
(Software público)

`http://zwicky.as.arizona.edu/~cyp/work/galfit/galfit.html`

II. Modelado de la galaxia anfitriona de las BCGs

Procedimiento

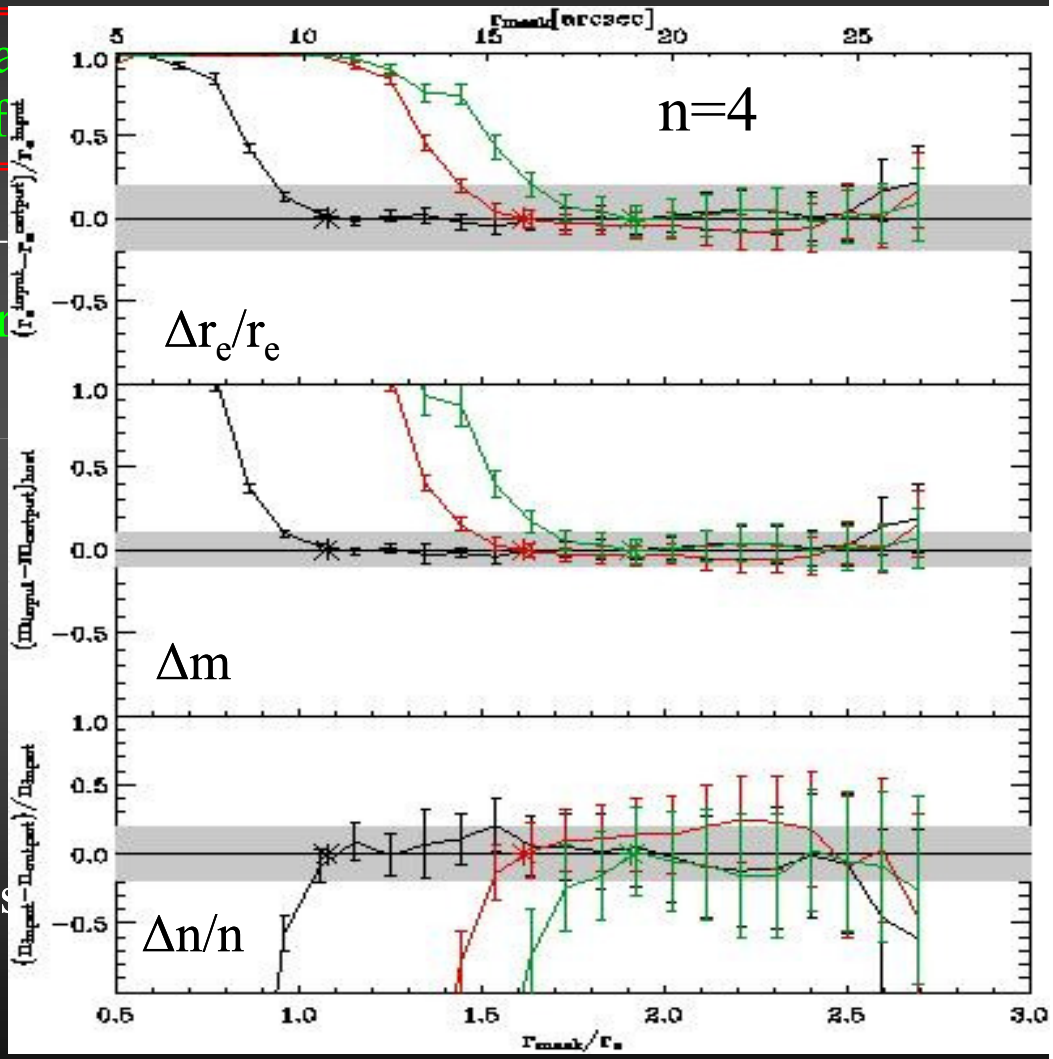
(Amorin et al. A&A,2007)



Simulaciones (Amorin et al. A&A,2007)

¿Cuánto nos equivocamos al recuperar los pa
enmascarar el starburst o sustraemos mal el f

- Modelos sintéticos: perfiles de Sérsic 2D +
- Objetivos: Comprobar el funcionamiento, r



Resultados:

- R_{tran} bien determinado
- Estabilidad si $R_{mask} > R_{tran}$.
- Ajuste del cielo OK ($\sigma_{cielo} \sim$ 0.2-0.5% cielo)
- Sersics de n bajo: desviaciones ~ 10-15%
- Sersics de n alto: desviaciones ~ 20-30%
- Índice n más sensible a errores sistemáticos

Ajuste sobre una muestra real de BCGs

I- SUB-MUESTRA DE REFERENCIA (Amorin et al. 2007):

8 BCGs de Caon et al. (2005) : elegidas por la calidad y profundidad de sus imágenes *BVR* (buena S/N, $\mu_B > 26$ mag arcsec^{-2}, buen seeing...

Objetivos: Analizar el funcionamiento del método en una muestra real de calidad. Establecer criterios de consistencia.Analizar ventajas y limitaciones del método. Contraste con simulaciones y discutir 1D vs. 2D.

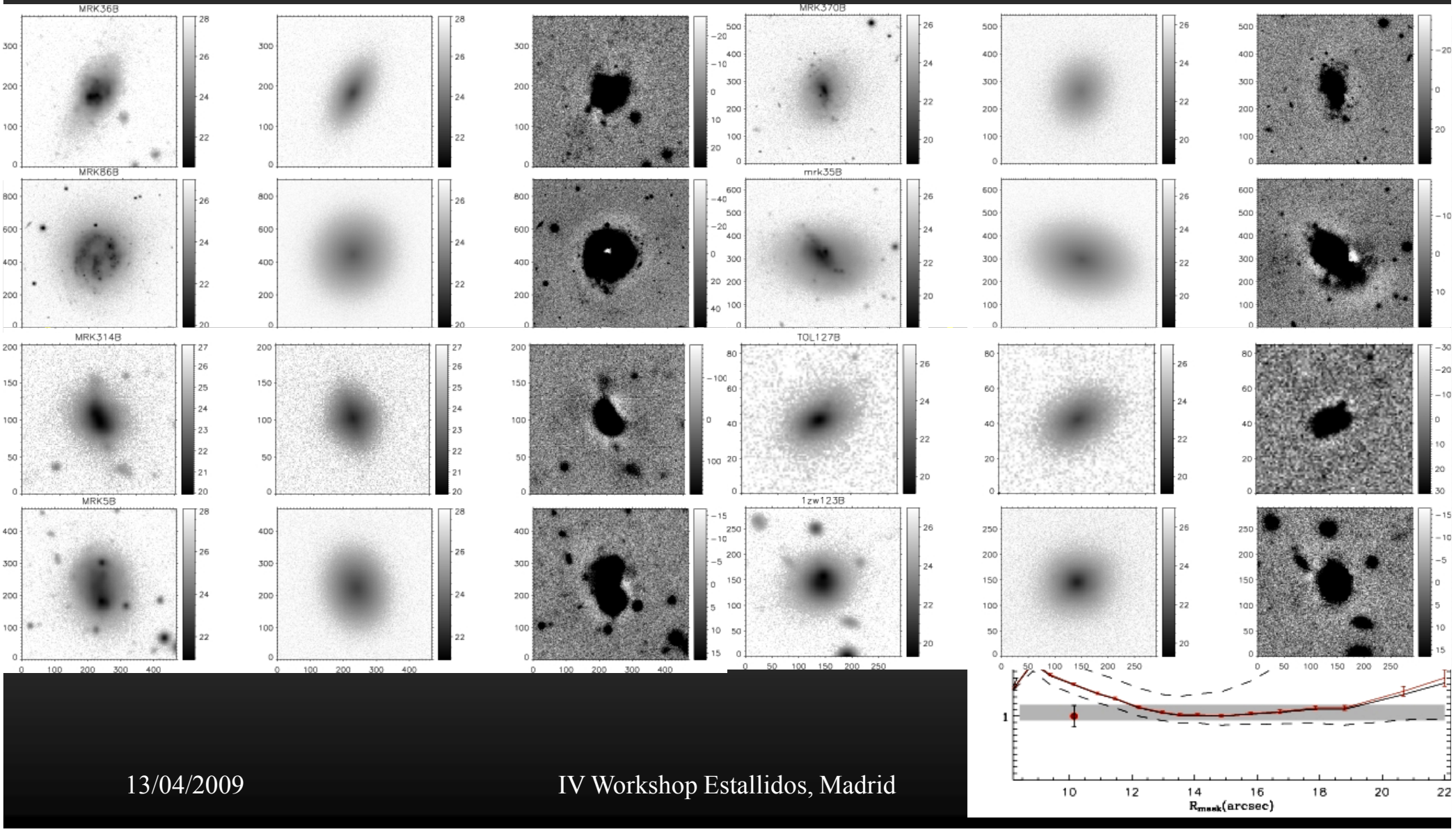
II- MUESTRA RESTANTE (Amorín et al. 2009, aceptado)

20 BCGs Junto a las 8 de referencia completan la muestra de Cairós et al. (2001a,b). Imágenes *BVRI* de menor calidad

Objetivos: Obtener parámetros estructurales fiables de una muestra representativa y extensa de objetos. Discutir los resultados analizando correlaciones y relaciones de escala. Comparar con parámetros estructurales de otras galaxias

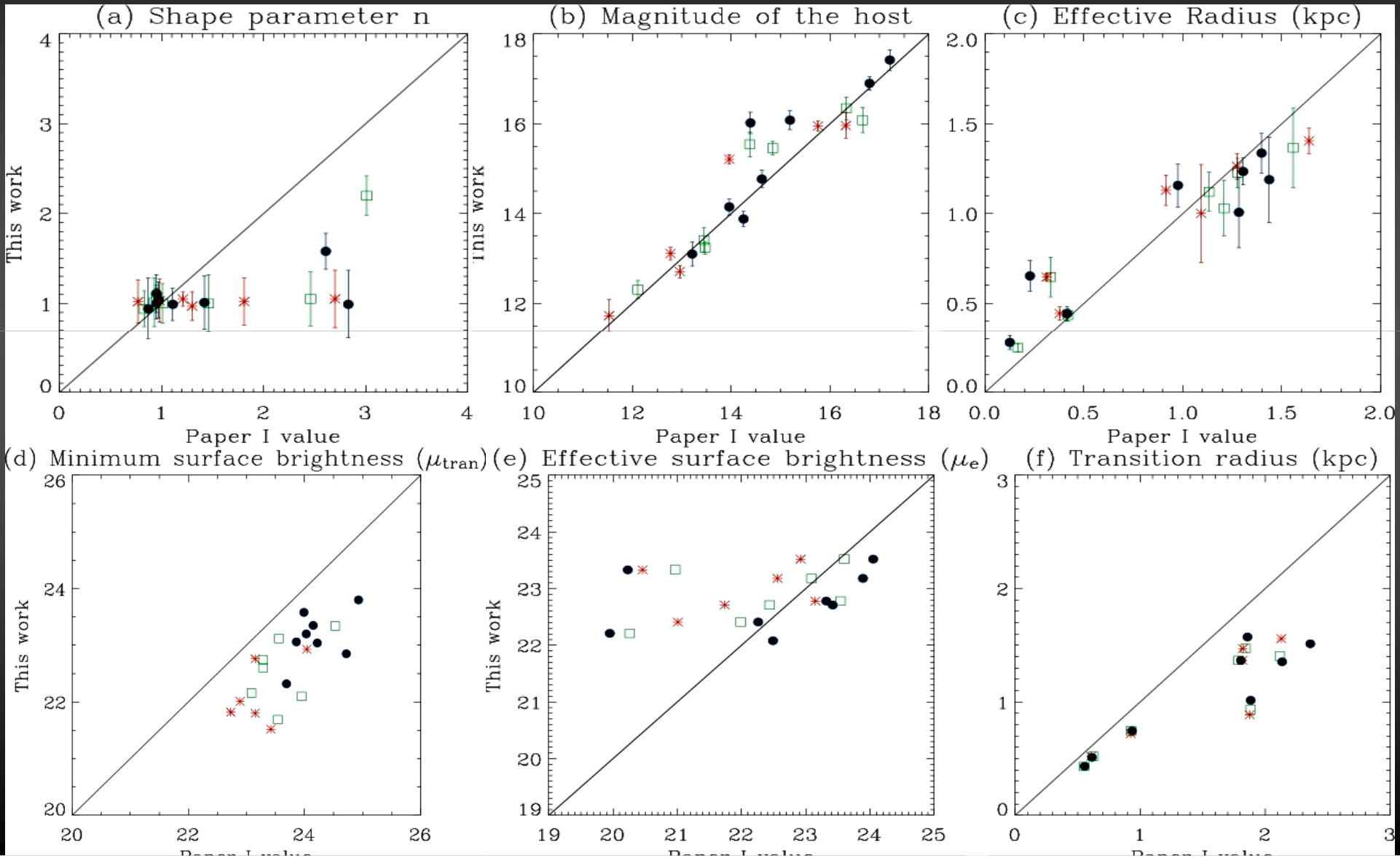
II. Modelado de la galaxia anfitriona de las BCGs

Resultados: I



II. Modelado de la galaxia anfitriona de las BCGs

Comparación 1D vs. 2D



Resultados:II

Ajustes seleccionados por su calidad a partir de criterios de consistencia:

20/28 galaxias
- errores globales < 30%
- ajustes estables

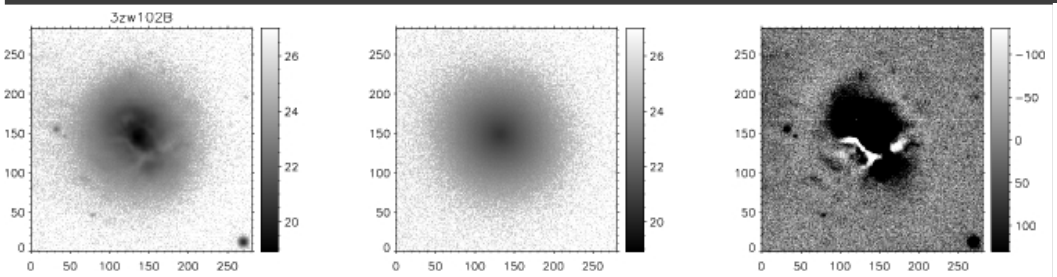
8/28 galaxias
- datos de peor calidad
- morfologías complejas, objetos luminosos y/o con signos de interacción

Fuera del análisis posterior...

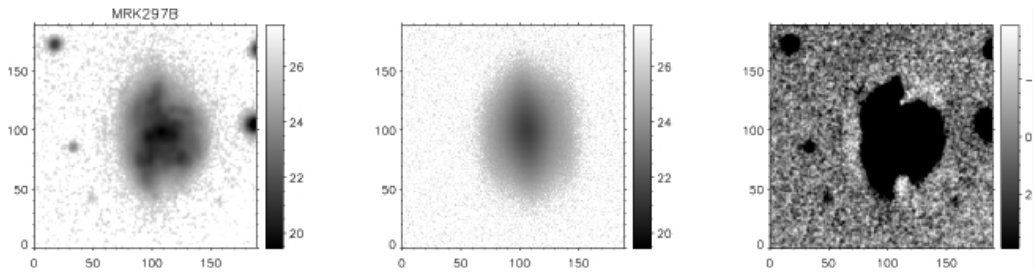
Valores medios y dispersión de la muestra

Parámetro	B	V	R
n	1.15 (0.55)	1.12 (0.44)	1.12 (0.45)
r_s [kpc]	1.11 (0.74)	1.05 (0.71)	1.09 (0.60)
μ_s [mag arcsec^{-2}]	22.59 (0.68)	22.19 (0.75)	21.95 (0.76)

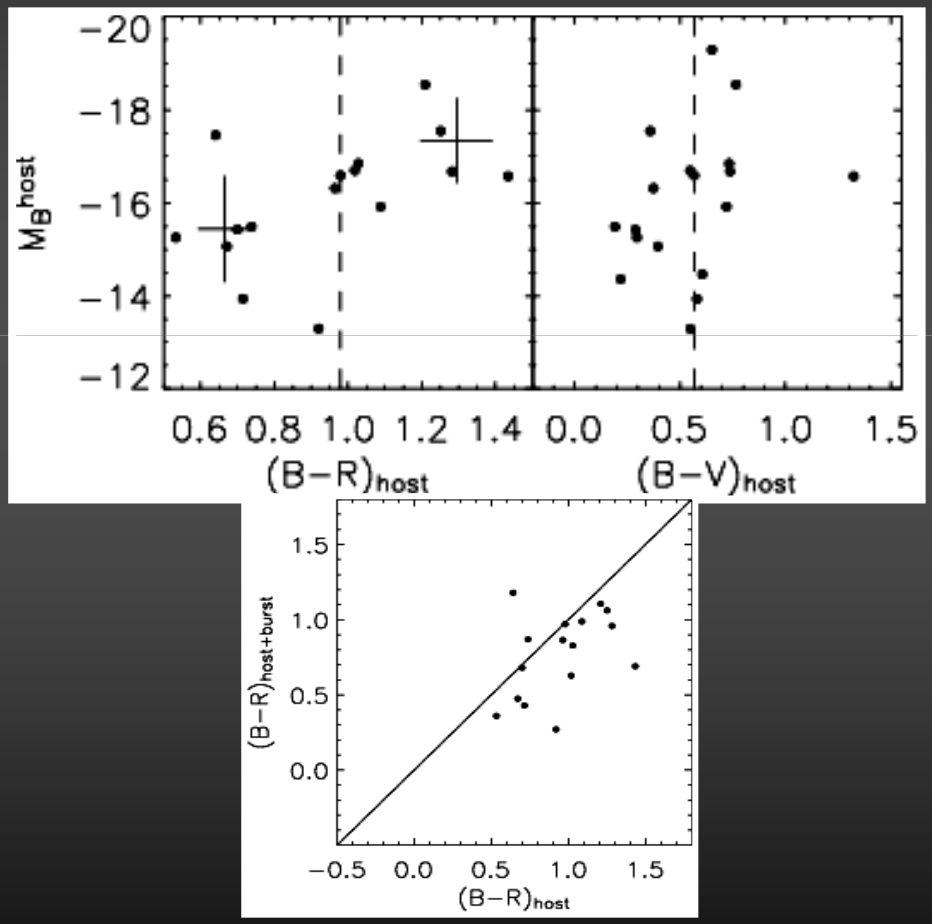
Ejemplo: IIIZw102

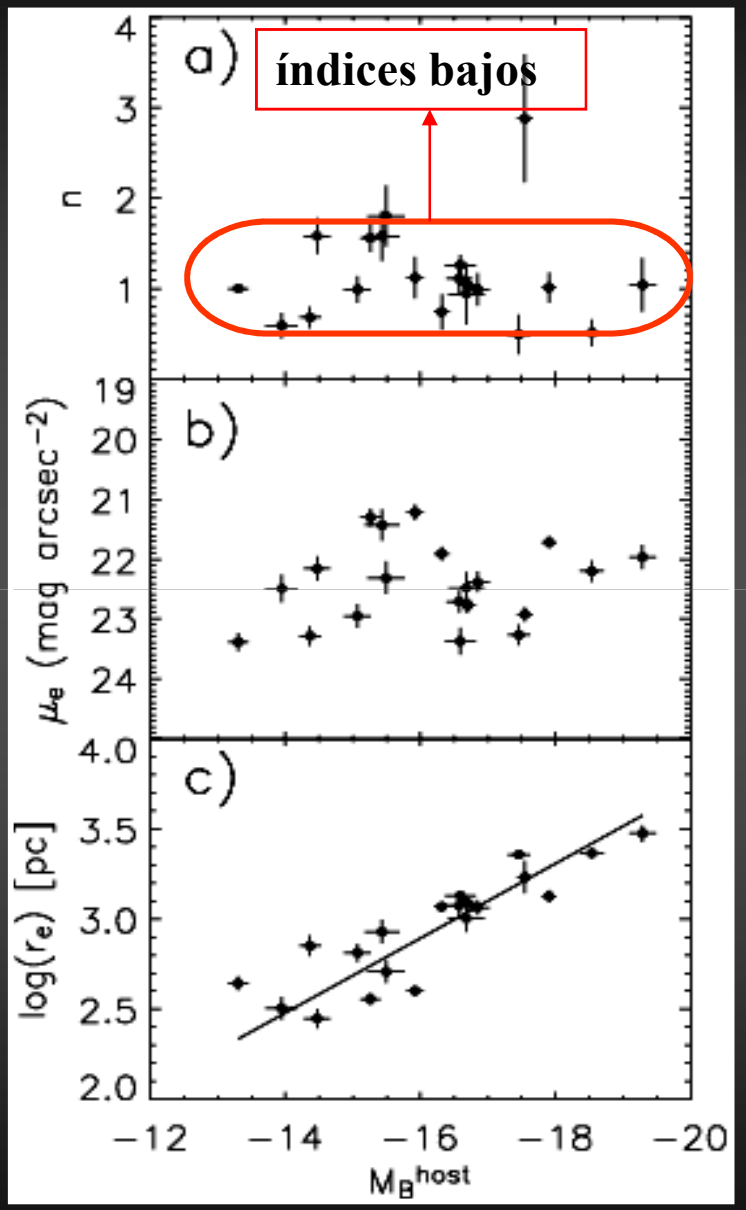


Ejemplo: Mrk 297



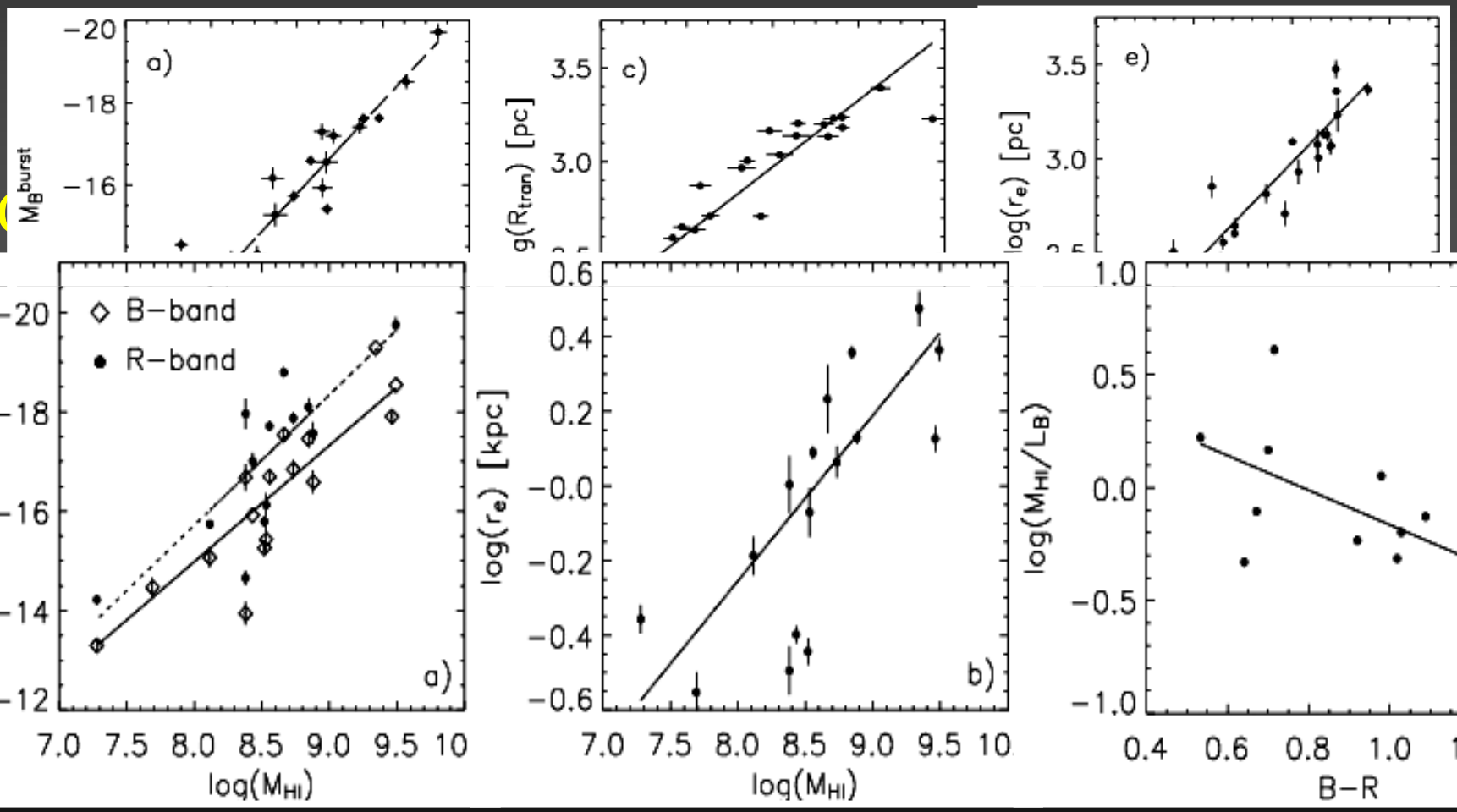
Colores y estructura





Correlaciones

- Luminosidades y tamaños del starburst y el host
- (

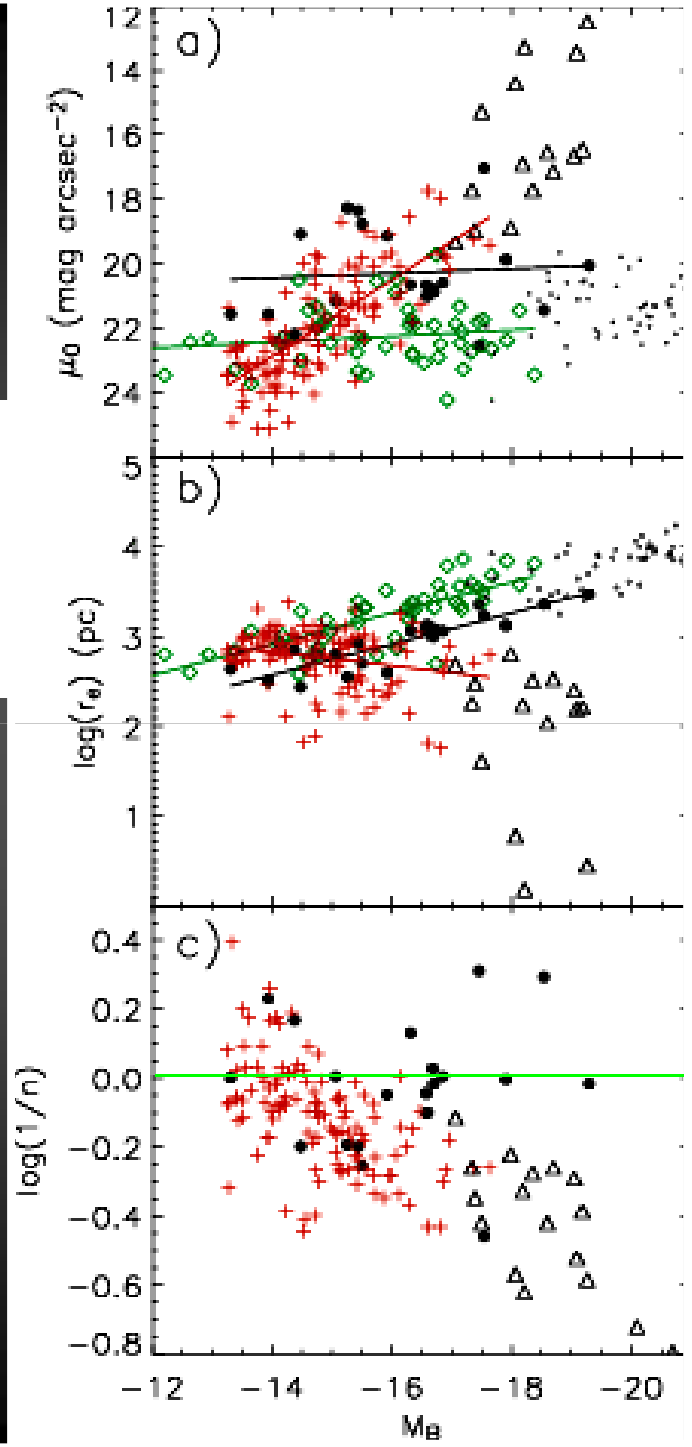


Conexiones evolutivas entre BCGs y otras clases de galaxias

- Comparación de parámetros estructurales

  En promedio, las BCGs:
  - Son dos magnitudes más brillantes y un factor dos más concentradas que las dI´s
  - Tienen tendencias diferentes a las galaxias tempranas (dE y E/S0) y similares a las tardías (dI y espirales)
  - Posible evolución restringida a cambios morfológicos y estructurales

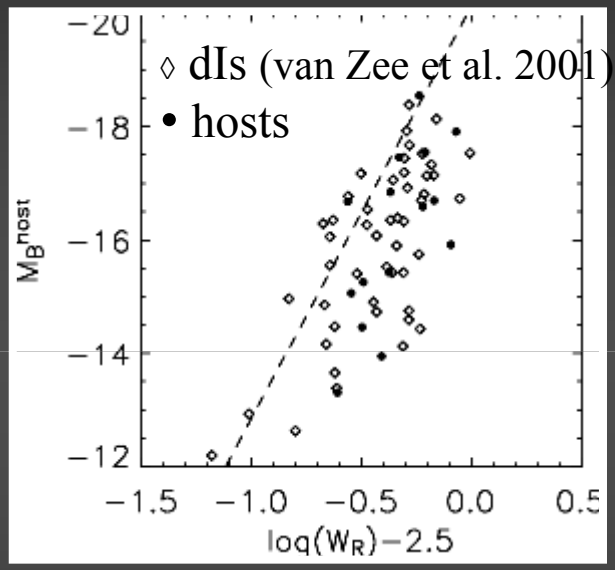
Datos: dI´s (van Zee et al. 2001); dE´s (Binggeli & Jerjen 1998; Graham & Guzmán, 2003); E/S0 (Caon et al., 1993; D´Onofrio et al., 1994); discos espirales (Graham 2003)



III. Propiedades estructurales y relaciones de escala de las BCGs

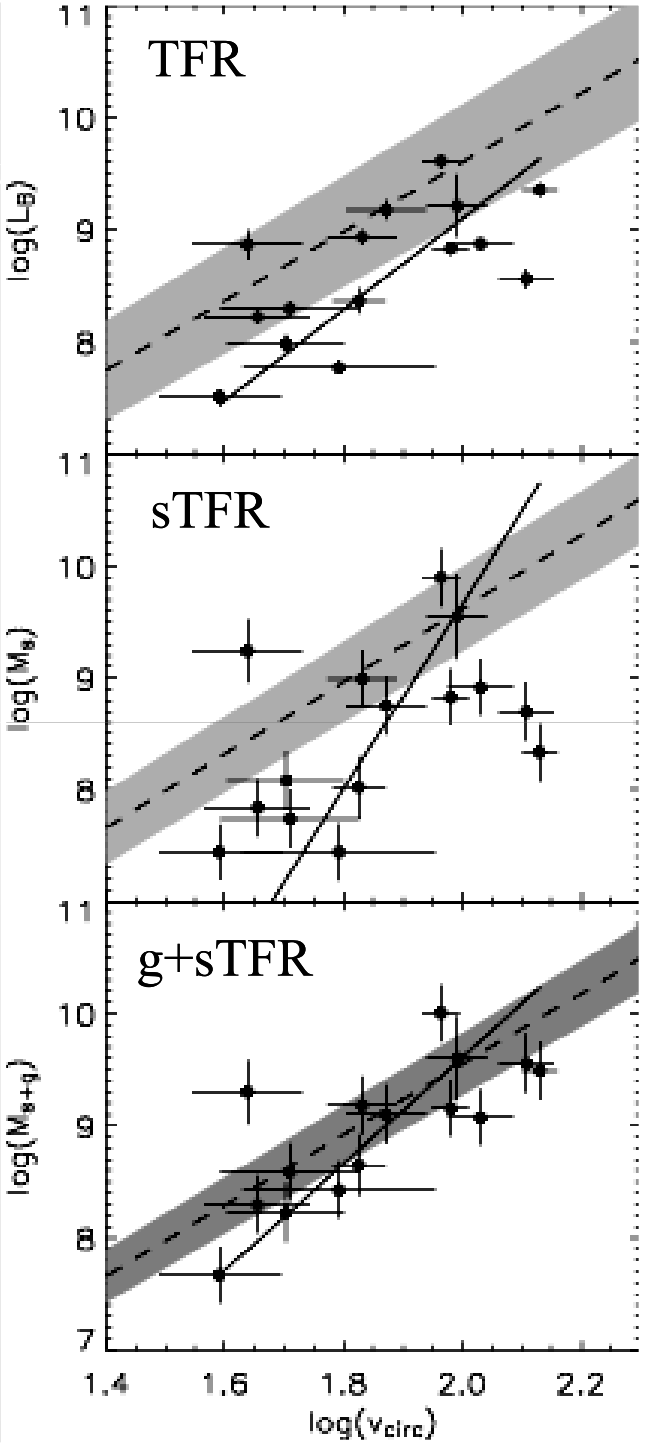
La relación Tully-Fisher (Tully &

¿Dónde se encuentran las BCGs?



BCGs indistinguibles de las dI´s

- Desviación sistemática con respecto a galaxias tardías más luminosas
- Gran dispersión al introducir masas estelares. Mayor diferencia de pendiente
- Disminución del alejamiento al usar la masa bariónica



Madrid

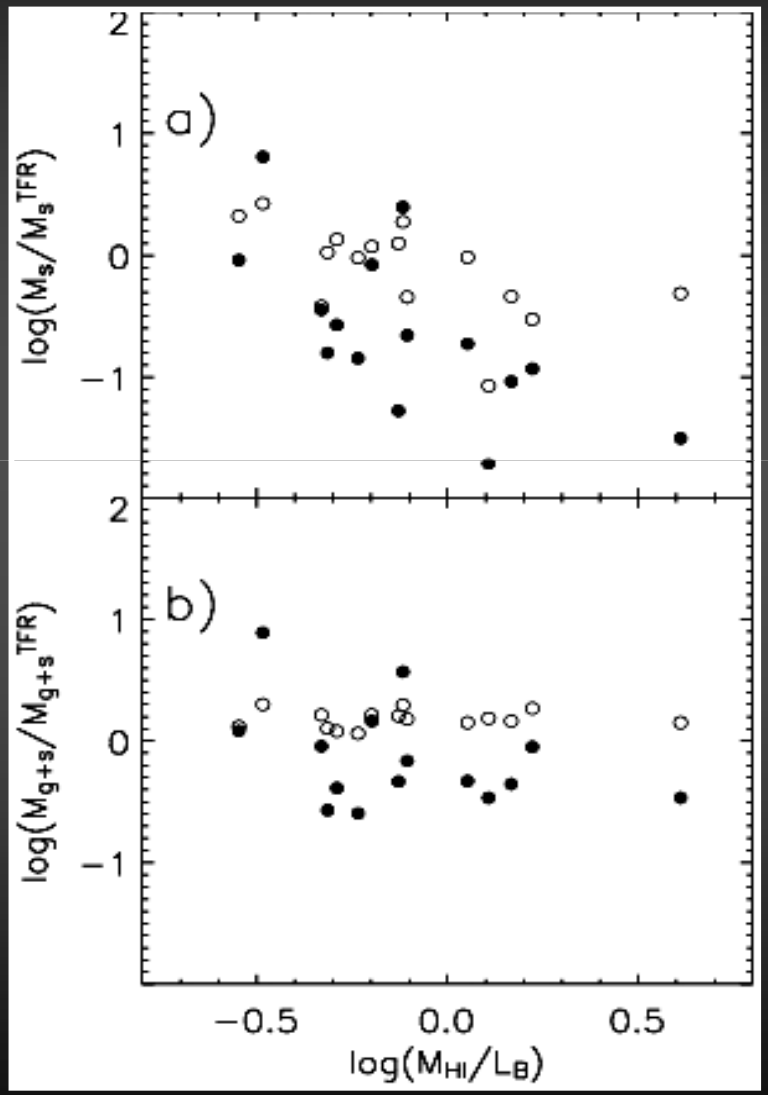
La relación Tully-Fisher: análisis

Razones del alejamiento

(p.ej., Stil & Israel 1998; Pierini 1999; Begum et al., 2008)

- ¿Pérdida de masa?
- ¿baja eficiencia de formación estelar?
- ¿problemas con la distancia?

Las BCGs ricas en gas (más azules) tienen masa bariónica "normal" pero un contenido estelar menor al de galaxias de disco brillantes.
→ Baja eficiencia en de formación estelar
Antecedentes en dI´s y LSBG´s
(p.ej., Warren et al. 2007)



Gas molecular en BCGs

- Las nubes de gas molecular frío (H_2) son el medio donde se produce la formación estelar masiva → especialmente importante en BCGs !!
- ^{12}CO es la molécula más abundante para trazar H_2 (Young & Scoville, 1991)
- Índice de detección bajo en galaxias enanas (< 25%, p.ej., Leroy et al., 2005)

Posibles razones:

a) Baja metalicidad → baja abundancia de C y O → Factor H_2-CO dependiente de metalicidad (Rubio et al. 1993; Taylor et al. 1998)
b) Poco polvo → mayor fotodisociación (Combes et al. 2001)
c) Sensibilidad instrumental insuficiente (Barone et al. 2000, Leroy et al. 2005)

Nuevos receptores mejorados en antenas de gran área permiten explorar la detección de CO en BCGs con mayor profundidad

Observaciones de ^{12}CO (J=1→0, J=2→1)



IRAM 30-m (P. Veleta - Granada)

Banco de filtros 1- 4 MHz y
receptores heterodinos:
A100, B100 (1→0) ~ 115GHz (λ3mm)
A230, B230 (2→1) ~ 230GHz (λ1.3mm)

Colaboración con Dr. Pere Planesas

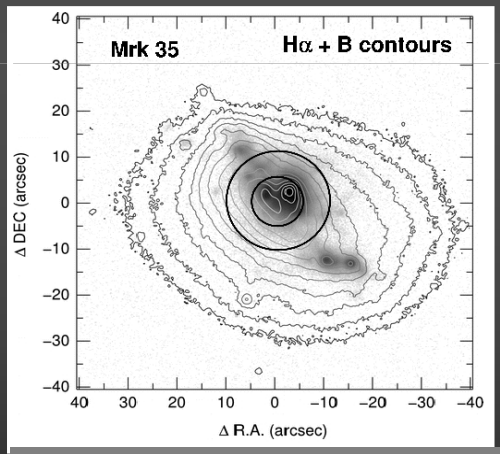
(OAN-Madrid, APEX-Chile)

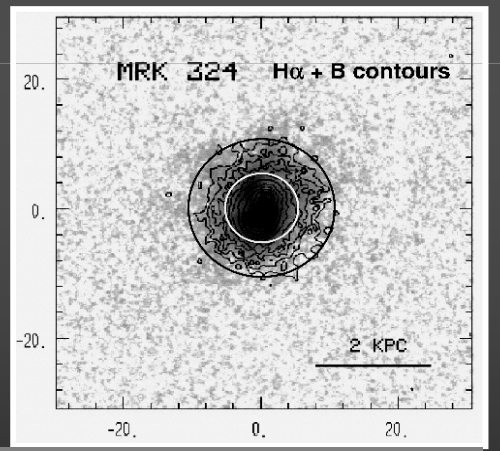
Muestra: 10 BCGs (Amorín et al. 2009, en prep.)

- δ > 15°, Diámetro óptico > 2′
- Emisión en Hα, FIR, banda K y/o 1.4 GHz

Apuntados centrales

Haz: 22′′ (1→0) y 11′′ (2→1)

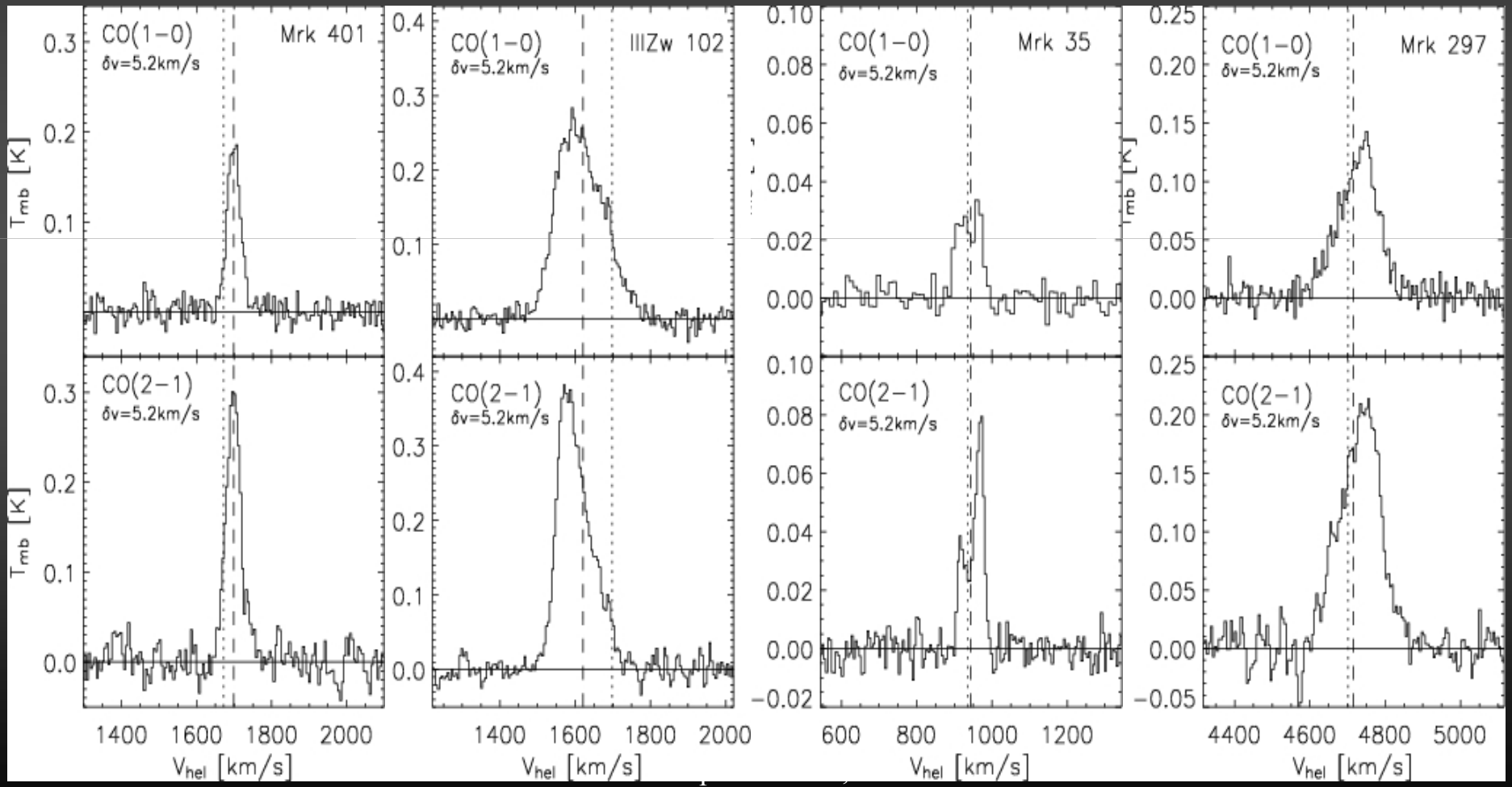




- Calibración y eliminación de contribución de ruido instrumental durante las observaciones → T_A* [mJy]
- Reducción mediante paquetes GILDAS/CLASS

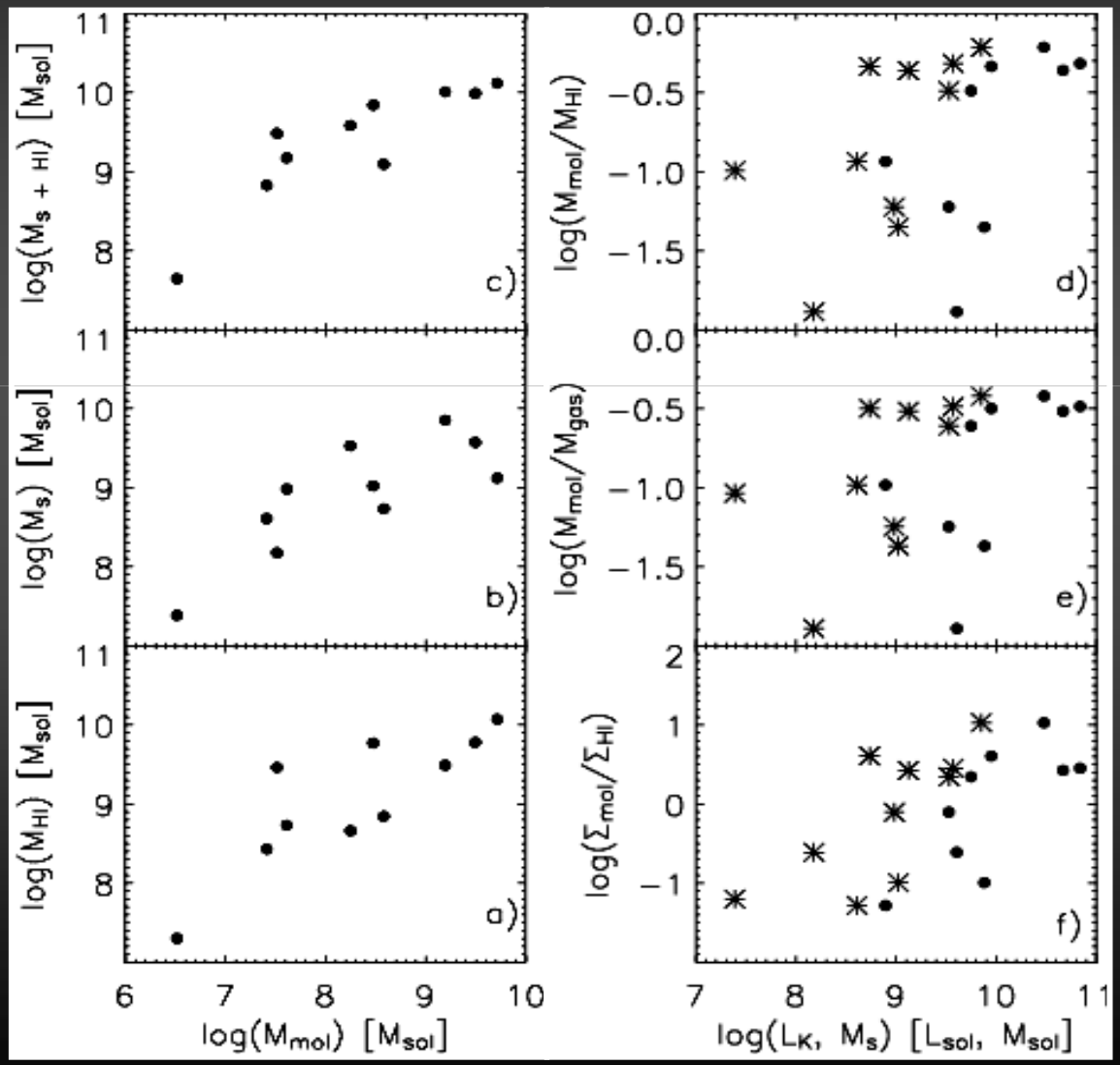
Perfiles de CO

- Detección en 7 de 10 objetos



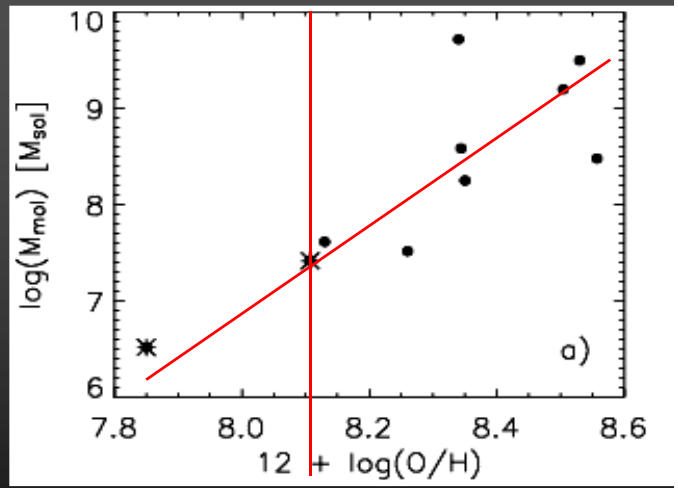
Resultados

- Masa moleculares: correlaciones



Gas y estrellas

Metalicidad

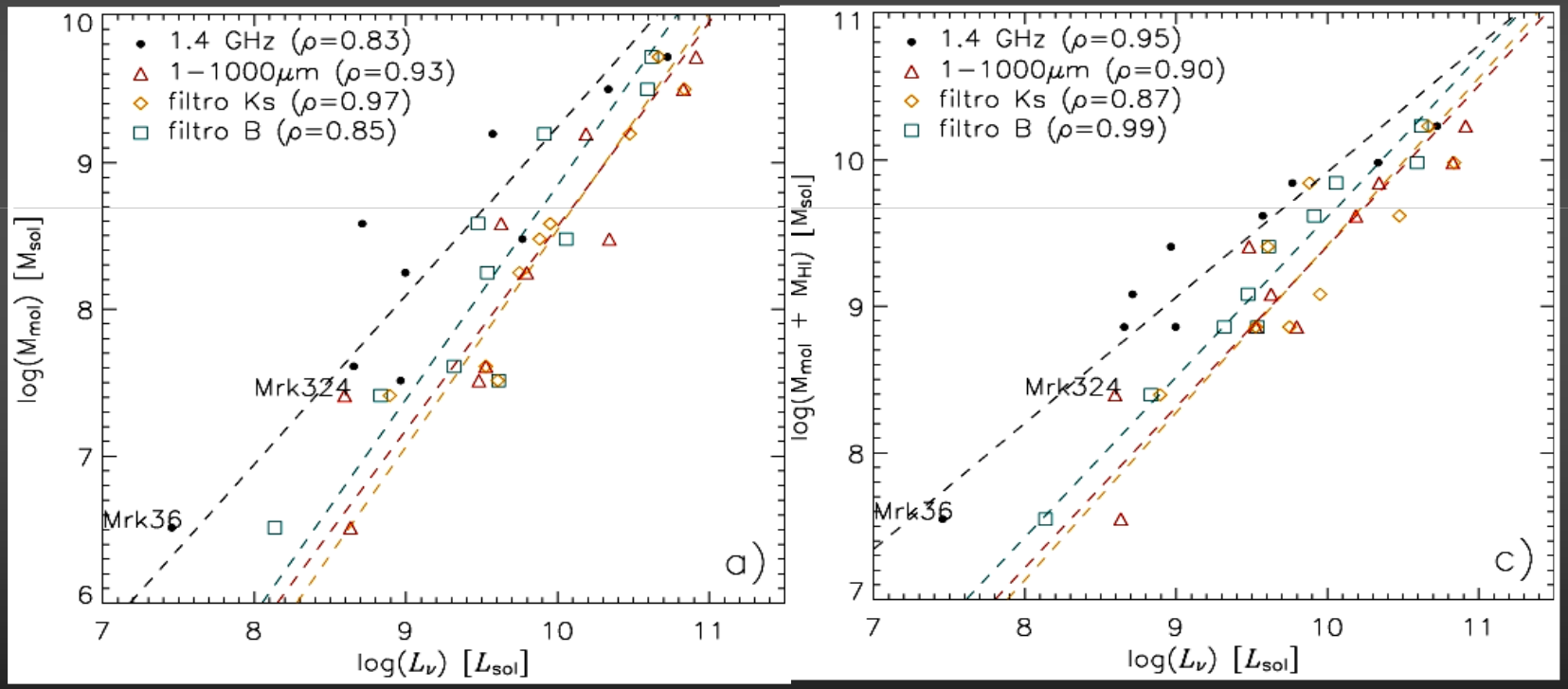


Límite de detección ~8.1 dex

Resultados

- Masa moleculares: correlaciones

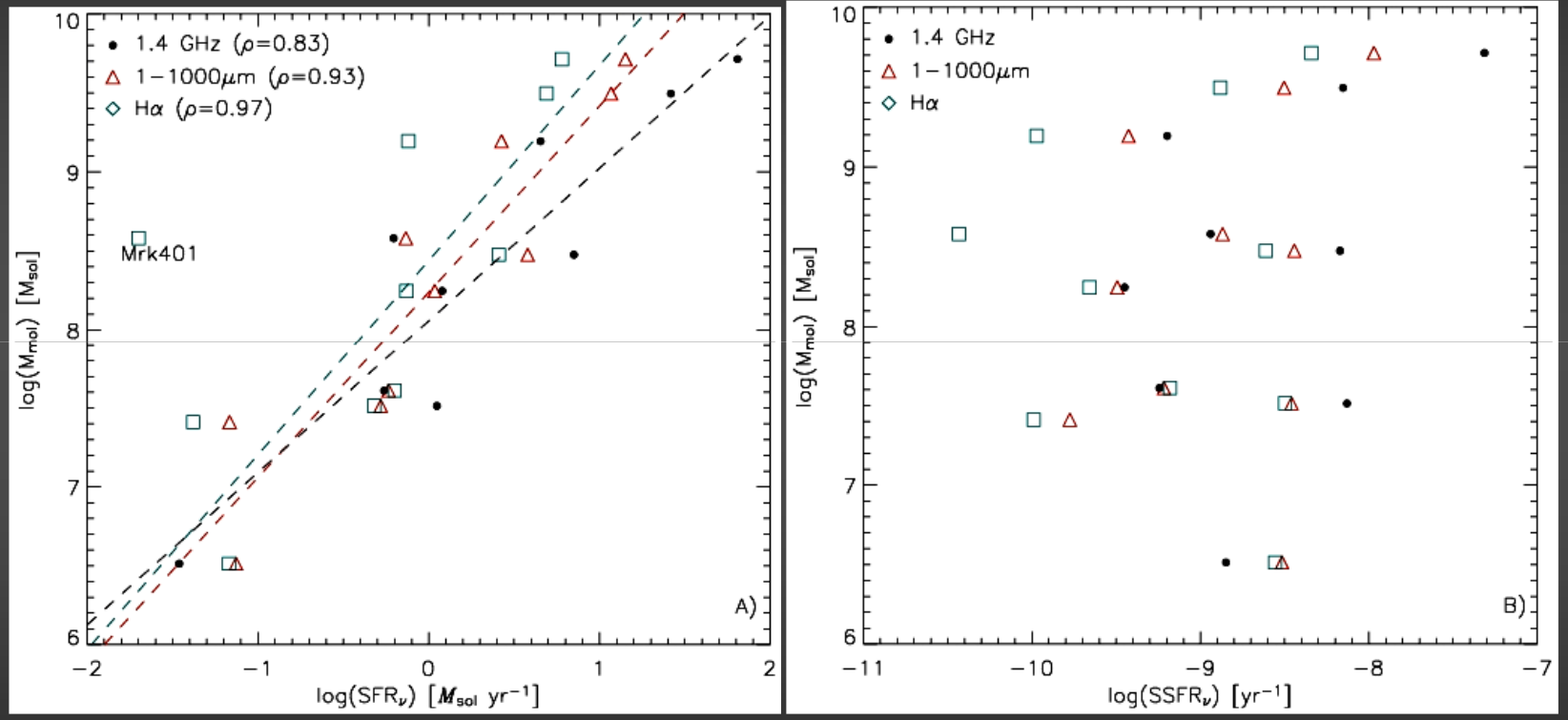
Masa y luminosidad



→ NIR-FIR predicen mejor la detección del CO

Resultados

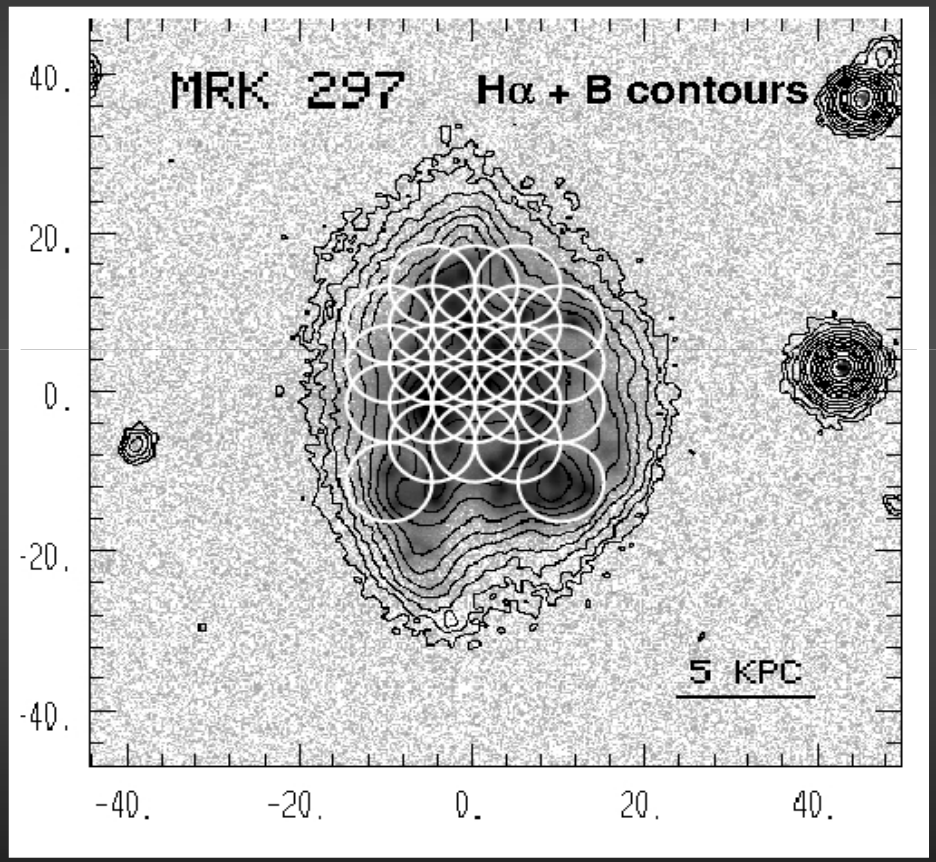
- Masa moleculares: correlaciones

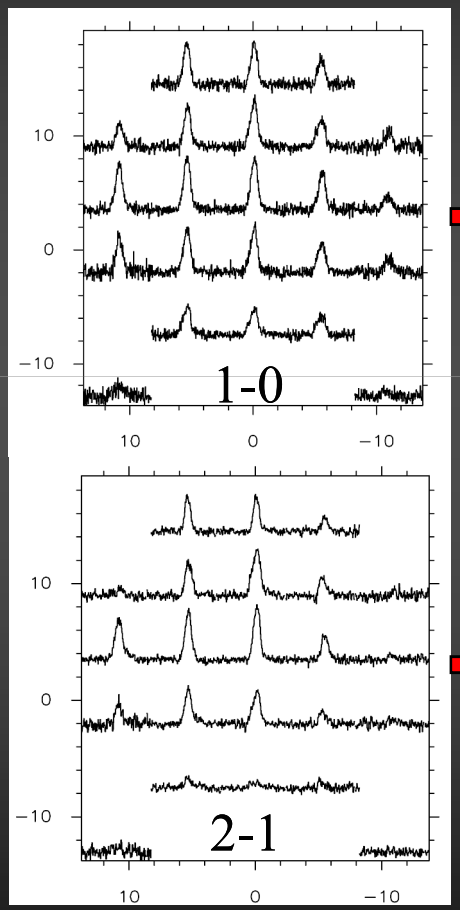


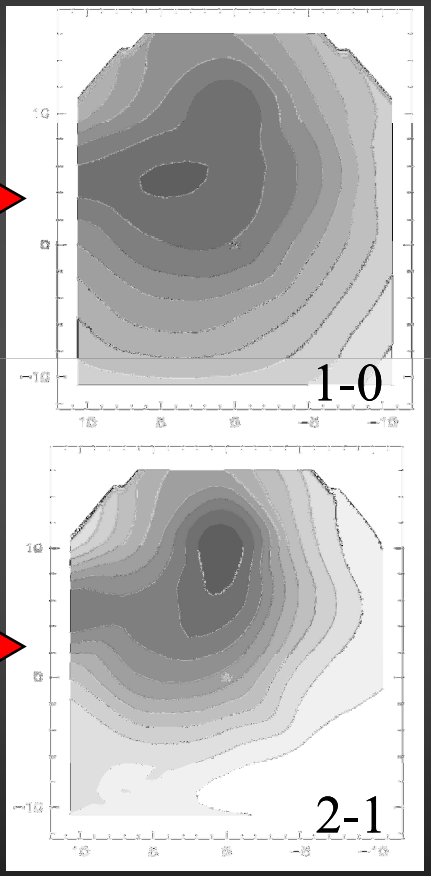
Masa y ritmos de formación estelar

...en preparación...

- Emisión molecular: mapas de emisión, mapas cinemáticos...







Sumario y Conclusiones

- Método innovador de ajustes 2D para el "host" de las BCGs. Uso de máscaras precisas
- Fiabilidad probada mediante simulaciones y una muestra extensa de BCGs.
- El host de las BCGs muestra modelos de Sérsic de índices *n* bajos
- Nuestros resultados sugieren una formación estelar auto-regulada.
- Los hosts de las BCGs son más compactos y luminosos que las demás galaxias enanas. Una evolución entre ellas implicaría cambios morfológicos y estructurales substanciales.
- Las BCGs no siguen la relación Tully-Fisher de las espirales masivas.
- Las BCGs más azules y ricas en gas presentan relaciones de escala similares a las dIs y tienden a ser poco eficientes formando estrellas a pesar de poseer un contenido normal de masa bariónica.
- Detección de CO en las 7 BCGs más luminosas y metálicas de una muestra de 10. Mayoría de perfiles complejos y masas en un amplio rango.
- Las BCGs de mayor contenido molecular presentan mayor emisión NIR-FIR, sin mostrar ninguna correlación con el ritmo de formación estelar por unidad de masa estelar.
- Parte de esta tesis forma parte de tres estudios sobre historia de la formación estelar, evolución y caracterización de las BCGs utilizando datos multibanda y de grandes bases de datos. (Cairós et al. 2007; Sanchez Almeida et al. 2008; Amorín & Sánchez-Janssen 2009 en prep.)

...y mi último y mejor “trabajo”...

Bonatto & Amorín (2008)



Muchas gracias, Estallidos !