

00386



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

2EJ

Actividad Nuclear y Extranuclear en Radiogalaxias Débiles

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE
DOCTOR EN CIENCIAS
(ASTRONOMIA)
P R E S E N T A
RENE CARRILLO MORENO

DIRECTORA DE TESIS
DRA. IRENE CRUZ-GONZALEZ ESPINOSA

México, D. F.

1995

FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Facultad de Ciencias
Universidad Nacional Autónoma de México

ACTIVIDAD NUCLEAR Y EXTRANUCLEAR EN RADIOGALAXIAS DEBILES¹

René Carrillo Moreno
Instituto de Astronomía, U.N.A.M.

Director de Tesis: *Dra. Irene Cruz-González*
Instituto de Astronomía, U.N.A.M.

Resumen

En este trabajo presentamos los resultados de un estudio de radiogalaxias débiles, miembros del segundo catálogo de Boloña, B2. El objetivo principal es determinar la presencia de actividad nuclear y extranuclear, a partir de la construcción de un acervo de imágenes ópticas de banda ancha (V, R e I) y de interferencia centrados en las líneas de emisión H α + [NII] y [OIII]. Los resultados obtenidos más importantes son los siguientes:

- A partir de las observaciones en banda ancha encontramos que un gran número de estas fuentes presentan peculiaridades morfológicas (i.e. puentes, cáscaras, bandas de polvo, etc.), que son producidas por fusiones entre galaxias. Los índices de color R-I encontrados para las radiogalaxias débiles son claramente diferentes de los de las galaxias del mismo tipo morfológico; las radiogalaxias débiles son más azules que las galaxias elípticas normales, lo cual refuerza la idea de que como producto de la actividad de fusión entre galaxias se pueden producir brotes de formación estelar.

¹ Tesis basada en observaciones obtenidas en el Observatorio Astronómico Nacional en San Pedro Mártir, B.C. y procesadas en el Instituto de Astronomía, U.N.A.M.

- Encontramos que la frecuencia de que existan regiones extendidas con líneas en emisión en radiogalaxias débiles es muy alta, con un porcentaje comparable al de otros núcleos activos de galaxias estudiados (radiogalaxias potentes y galaxias Seyfert), lo cual implicaría que la fuente de ionización puede ser la misma. Este resultado se ve reforzado por las correlaciones entre las luminosidades de radio y del óptico. Igualmente, las radiogalaxias débiles y potentes son comparables en morfología, radios, densidad electrónica y masa del gas que está emitiendo.
- Al comparar luminosidades de radio y óptico, es evidente que la fuente de energía o “máquina central” no sólo es la causante de la emisión extendida en radio, sino también de la ionización del gas que se encuentra a varios kpc de la región central, aunque no descartamos posibles mecanismos secundarios como: ionización por choques entre el radio *jet* y el gas de las regiones extendidas.
- Nuestro estudio muestra que las diferencias en luminosidades, radios, etc., de las regiones extendidas con líneas en emisión de las radiogalaxias son debidas a la potencia de la fuente central y como efecto secundario, al medio ambiente de la galaxia huésped. Estos resultados muestran que los escenarios que se han planteado para las radiofuentes potentes y débiles, en que las diferencias se explican como consecuencia de tener “máquinas centrales” cualitativamente diferentes son innecesarios y apuntan a diferencias de tipo cuantitativo. Esto permite ligar las propiedades de las radiogalaxias débiles con las radiogalaxias potentes, cuasares radio ruidosos, galaxias Seyfert y otros tipos de núcleos activos de galaxias.

Facultad de Ciencias
Universidad Nacional Autónoma de México

NUCLEAR AND EXTRANUCLEAR ACTIVITY IN WEAK RADIO GALAXIES¹

René Carrillo Moreno
Instituto de Astronomía, U.N.A.M.

Thesis Director: *Dra. Irene Cruz-González*
Instituto de Astronomía, U.N.A.M.

Abstract

In this work we show the results of a study of weak radio galaxies from the Second Bologna Survey, B2. Our goals are to improve the understanding of the nuclear and extranuclear activity in these sources, based on our optical broad-band (V, R and I) and narrow-band $H\alpha$ + $[NII]$ and $[OIII]$ observations. Our main results are:

- Based on the broad-band observations we have found that most sources are strongly peculiar (i.e. bridges, shells, dust features, etc.) in their optical morphology. The peculiar features are the result of galaxy merging. We find anomalous R-I color indices for weak radio galaxies compared to normal galaxies, the weak radio galaxies being bluer than normal elliptical galaxies. This supports the interpretation that starbursts can be produced in the merging process.
- We establish that spatially extended emission-line regions are quite common in weak radio galaxies. The presence of these regions has the same proportion of

¹ Thesis based on observations obtained at the Observatorio Astronómico Nacional, San Pedro Mártir, B.C. and processed at the Instituto de Astronomía, U.N.A.M.

detections as that found in other AGNs (powerful radio galaxies and Seyfert galaxies). This result suggests a common origin for the ionization source and is strongly supported by the correlation between the radio and optical luminosities. Furthermore, weak and powerful radio galaxies have strong similarities in morphology, radii, electron density and emitting gas mass.

- The central engine is not only the energy source of the emission but is also responsible for the gas ionization at several kpc from the nucleus. This is supported by the correlation found between the emission-line and radio luminosities. However, this does not rule out secondary mechanisms for the ionization such as shocks between the radio jet and the gas in the extended regions.
- Our study indicates that the main differences of the properties of the extended emission-line regions in radio galaxies such as luminosities, radii, etc., are mainly due to the power of the central engine, and, as a secondary effect, to the host galaxy environment. These results suggest that different scenarios of the central engines for weak and powerful radio galaxies are not necessary. Our results allow us to link naturally the properties of weak radio galaxies with those of powerful radio galaxies, radio loud quasars, Seyfert galaxies and other AGNs.

**A Raquel y Enrique
Por su cariño y apoyo.**

**A Reyna y, ahora, a René
Por su amor, apoyo y por lo que representan
para mí.**

AGRADECIMIENTOS

Mi profunda gratitud a mi madre Raquel, mi hermano Enrique y a mi esposa Reyna por su apoyo, cariño e infinita paciencia y a René por la alegría que nos ha traído y por lo que representa para nosotros.

Quiero agradecer a la Dra. Irene Cruz-González el haber dirigido esta tesis, además por su confianza y apoyo en mi formación académica desde mi tesis de licenciatura.

Igualmente desea agradecer a los Dres. Silvia Torres, Deborah Dultzin, Miriam Peña, Elsa Recillas, José Franco y J. Antonio García-Barreto por su valiosa ayuda, críticas y sugerencias hechas al presente trabajo, así como por la confianza a lo largo del posgrado y por haber aceptado a participar como sinodales.

También deseo expresar mi agradecimiento al Dr. José Guichard por su amistad y ayuda en las observaciones, al Dr. Jesús Galindo por haber sido parte de mi comité asesor a lo largo del posgrado y por los comentarios a la presente tesis. A los estudiantes asociados al Instituto de Astronomía por su compañerismo y amistad, en especial a Pedro Colín, Erika Benítez, Paola D'aleccio, Julia Espresate, Javier Ballesteros, Sandra Ayala, Ma. Eugenia Contreras, Lorenzo Olguín, Barbara Pichardo, Daniel Peña, Ma. Guadalupe Cordero y Fidel Cruz. A los miembros del departamento de cómputo por su ayuda y paciencia, en particular a Luis Artemio Martínez y Franco Toledo. Y en general, a los investigadores y trabajadores del Instituto de Astronomía y del Observatorio Astronómico Nacional por su amistad y apoyo, disculpen que no los nombre, pero son tantos y tan buenos amigos que me sentiría mal si omitiera por descuido a alguno de ustedes.

No quiero dejar pasar por alto a mis compañeros de física que igualmente tuvieron mucho que ver en la culminación de mi doctorado, en particular a J.

Carlos Santamaría, Isidro Godínez y Adán Colín.

Y finalmente agradezco al Instituto de Astronomía de la UNAM por todas las facilidades que me brindaron como estudiante de tesis de licenciatura, de posgrado y por creer que se pueden formar astrónomos en México, al CONACYT y a la DGAPA-UNAM por el apoyo económico a lo largo de la maestría y doctorado, respectivamente y finalmente al programa PADEP-TESIS Doctorado-UNAM por su apoyo económico para la impresión de esta tesis.

INDICE

Resumen	i
Agradecimientos	vi
Capítulo 1: INTRODUCCION GENERAL	1
1.1 Núcleos Activos de Galaxias	2
1.2 Emisión Extendida	9
1.2.1 Formas y Radios de las RELE	10
1.2.2 Condiciones Físicas y de Ionización	14
1.2.3 Las RELE y los Modelos de Unificación	17
1.3 Radiogalaxias	18
1.3.1 Radiogalaxias Potentes (FR II)	19
1.3.2 Radiogalaxias Débiles (FR I)	20
1.4 Objetivos y Contenido de la Tesis	23
1.5 Referencias	24
Capítulo 2: RADIOGALAXIAS DEBILES I: IMAGENES OPTICAS DE BANDA ANCHA	29
2.1 Introducción	29
2.2 Observaciones	31
2.2.1 Selección de la Muestra	31
2.2.2 Instrumentación	33
2.2.3 Observaciones Fotométricas	33
2.3 Análisis de las Imágenes	34
2.4 Resultados Fotométricos y Morfológicos	35
2.4.1 Imágenes	35
2.4.2 Mediciones Fotométricas y Geométricas	36

2.5	Discusión	37
2.5.1	Morfología Óptica	37
2.5.2	Angulo de Posición en Radio y Óptico	39
2.5.3	Medio Ambiente de Galaxias B2	40
2.5.4	Índice de Color	40
2.5.5	Galaxias Individuales	42
2.6	Conclusiones	48
2.7	Referencias	49
2.8	Tablas y Figuras	52
2.8.1	Tablas	52
2.8.2	Figuras	67
 Capítulo 3: RADIOGALAXIAS DEBILES II: IMAGENES OPTICAS DE BANDA ANGOSTA		 95
3.1	Introducción	95
3.2	Observaciones	97
3.2.1	Selección de la Muestra	97
3.2.2	Instrumentación	97
3.2.3	Observaciones Fotométricas	98
3.3	Análisis de las Imágenes	99
3.4	Resultados Fotométricos y Morfológicos	100
3.4.1	Imágenes	100
3.4.2	Propiedades de las Regiones con Líneas en Emisión	101
3.5	Discusión	102
3.5.1	Características de las RELE	102
3.5.2	Comparación con otros NAGs	103
3.5.3	Parámetros Físicos de las RELE	105
3.5.4	Descripción de Galaxias Individuales	108
3.6	Conclusiones	114
3.7	Referencias	116
3.8	Tablas y Figuras	118
3.8.1	Tablas	118

3.8.2	Figuras	125
Capítulo 4:	RADIOGALAXIAS DEBILES III: CONDICIONES FISICAS	135
4.1	Introducción	135
4.2	Correlaciones Energéticas	137
4.2.1	Resultados	137
4.2.2	Discusión	139
4.3	Propiedades Físicas de RGD	140
4.3.1	Resultados	140
4.3.2	Discusión	142
4.4	Emisión Infrarroja	143
4.4.1	Resultados	143
4.4.2	Discusión	143
4.5	Comparación en Multifrecuencias	145
4.5.1	Distribución de Densidad de Flujo de Energía	145
4.6	Visión General de Radiogalaxias	146
4.6.1	Hipótesis de Unificación	146
4.6.2	Implicaciones	148
4.7	Conclusiones	149
4.8	Referencias	150
4.9	Tablas y Figuras	152
4.9.1	Tablas	152
4.9.2	Figuras	155
Capítulo 5:	CONCLUSIONES GENERALES	163
5.1	Resultados Generales	163
5.2	Trabajos Futuros	167

Capítulo 1

INTRODUCCION GENERAL

Resumen

El estudio en multifrecuencias de la actividad nuclear y extranuclear en los núcleos activos de galaxias, ha permitido conocer más de los mecanismos que actúan en estas fuentes a distintas escalas. En particular, en el óptico el trabajo en las "Regiones Extendidas o Extranucleares con Líneas en Emisión" ha mostrado que la actividad se puede extender hasta distancias del orden de 100 kpc del núcleo lo cual plantea una serie de interrogantes como: ¿cuáles son los mecanismos de ionización a diferentes escalas?, ¿cuál es el origen del gas ionizado?, ¿cuál es el mecanismo de la anisotropía de la emisión?, etc. Muchas de estas preguntas tienen que ver no sólo con la fuente central, que se considera como la productora de la actividad, sino también con las propiedades de la galaxia huésped. Algunas de las interrogantes planteadas ya se han tratado de resolver para algunos tipos de núcleos activos de galaxias, en particular para las fuentes muy potentes en radio: cuasares intensos en radio (radio ruidosos) y radiogalaxias potentes, así como para las fuentes de baja actividad en radio: galaxias Seyfert, cuasares poco intensos en radio (radio callados), dejando de lado a las fuentes de radio de potencia intermedia: radiogalaxias débiles. Sin embargo, el poder contar con la información a diferentes intervalos de potencias permitiría contestar algunas de las cuestiones planteadas de forma general para los núcleos activos de galaxias. Debido a esto, consideramos a las radiogalaxias de baja potencia del segundo catálogo de Boloña como una muestra adecuada para hacer observaciones en el óptico, que junto con las que ya existen en radio e infrarrojo, nos permitan contestar estas preguntas.

1.1 Núcleos Activos de Galaxias

El estudio de la actividad en galaxias a diferentes escalas se ha visto favorecido como resultado del desarrollo instrumental durante las últimas décadas, por ejemplo: nuevas generaciones de detectores bidimensionales (MEPSICRON, CCDs, CIDs, etc.), sondas espaciales astronómicas (Hubble Telescope, IRAS, IUE, ROSAT, etc.), así como interferometría de base larga en varios intervalos de longitudes de onda de radio (centimétricas, milimétricas y próximamente en submilimétricas). En particular un pequeño número de galaxias, los núcleos activos de galaxias (que denominaremos NAG en adelante) con $\sim 10,000$ fuentes (Verón-Cetty & Verón 1993; Hewit & Burbidge 1991, 1993; Burbidge & Crowne 1979), se han podido estudiar en multifrecuencias, de ondas de radio a rayos- γ , permitiendo conocer más de los procesos físicos relevantes en estas fuentes.

La actividad en NAGs se entiende como actividad energética, la cual es cuantitativa y cualitativamente anormal, esto es, no está asociada con la evolución de estrellas normales, y puede ser conectada directa o indirectamente con el núcleo de la galaxia. Esta actividad se manifiesta como:

1. La energía liberada es mucho mayor que la que presentan las galaxias "normales".

$$L_{G.Nor.} \sim 10^{38-43} \text{ ergs s}^{-1} \quad L_{NAG} \sim 10^{44-47} \text{ ergs s}^{-1}$$

2. Hay emisión de continuo no térmico (sincrotrónico), con excesos en el UV, IR, radio, rayos-X y rayos- γ .
3. Presentan emisión extendida y colimada, hasta Mpc, observada preferentemente en radio frecuencias (*jets*, lóbulos, etc.). Aunque también se han observado en el óptico (p. ej. 3C 273, Lelièvre et al. 1984; M 87, Tarenghi 1981).
4. Muestran líneas anchas en emisión permitidas que corresponden a velocidades de cientos de miles de km s^{-1} y/o líneas en emisión permitidas, y prohibidas que corresponden a velocidades de cientos de km s^{-1} .
5. Hay variabilidad en el continuo (multifrecuencias) y en las líneas en emisión.

Cada una de estas muestras de actividad se presentan en distintas escalas espaciales. La Fig. 1.1 muestra la frecuencia y el tamaño asociado a las diversas formas de actividad.

La secuencia que se muestra en la Fig. 1.1, en orden de tamaño decreciente corresponde a los *jets* extendidos que alcanzan distancias de Mpc (radio), los núcleos de brotes de formación estelar con tamaños de kpc (lejano infrarrojo), las regiones de líneas anchas en emisión de escalas de pc (óptico), discos de acreción con escalas de algunos miliparsecs (UV), y la "máquina central" de dimensiones de μ pc, la cual corresponde posiblemente a la magnetósfera de un hoyo negro (rayos-X).

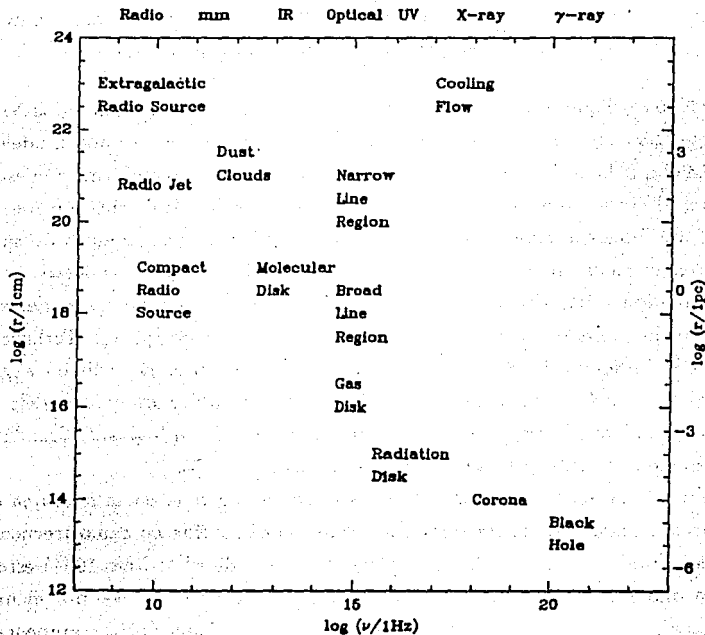


Fig. 1.1 Ilustración esquemática de la actividad asociada con los NAG, se grafican las frecuencias y las escalas en las que se observan (Blandford 1990).

En el modelo estandar de los NAGs (p. ej. Begelman, Blandford & Rees 1984; Rees 1984) la actividad nuclear se determina fundamentalmente por dos parámetros: la masa de la "máquina central" (posiblemente un hoyo negro masivo) y la tasa de acreción central. Sin embargo, existen otros dos puntos relevantes además de estas propiedades:

1. Hay reprocesamiento de la radiación primaria del NAG. Esto involucra reprocesamiento a bajas energías, como el caso de radiación térmica por polvo, y a altas energías, como es dispersión Compton-inversa de la radiación sincrotrónica.
2. Hay emisión anisotrópica en los NAGs. Esta se da por la emisión de haz relativista de la fuente de radio compacta, y/o por el obscurecimiento por gas y polvo de un toroide (p. ej. Antonucci & Miller 1985).

Este cuadro es el que se ha considerado como la explicación clásica para los NAGs. Sin embargo, recientemente se ha planteado otro escenario, el llamado modelo de *warmers*, en el que la actividad nuclear se debe a brotes intensos de formación estelar (*starbursts*) y el continuo es formado por cúmulos de estrellas WR, ricas en metales. Así mismo, las líneas anchas en emisión son producidas por remanentes de supernovas compactos en un medio circunestelar de alta densidad. La variabilidad, en este modelo, es debida a explosiones de supernovas. En este escenario no es necesario considerar un hoyo negro para producir el continuo observado (p. ej. Terlevich & Melnick 1988; Terlevich 1988; Franco et al. 1993). Sin embargo, existen algunas propiedades de los NAGs que todavía no se han podido resolver con este modelo, por ejemplo los radio jets. También hay otros autores que plantean la posibilidad de que son complementarios ambos escenarios (Dultzin-Hacyan 1995).

El estudio de la actividad en NAGs no sólo se ha centrado en la máquina central, sino que a partir de los trabajos en la emisión extendida en radio frecuencias (*jets*, lóbulos, halos; ver una revisión en Begelman, Blandford & Rees 1984) este estudio se ha extendido a la galaxia huésped y al entorno de ésta. Así por ejemplo, se ha encontrado que la emisión en radio y líneas en emisión ópticas aumenta en galaxias que se encuentran en grupos o pares, comparadas con las que se encuentran aisladas (p. ej. Balick & Heckman 1982). Las fusiones entre galaxias parecen ser más importantes para fomentar la actividad. La mayor emisión extendida en radio

preferentemente ocurre en galaxias elípticas, muchas de las cuales son galaxias D o cD. Algunas muestran bandas de polvo a lo largo de y perpendiculares al radio eje. Algunas galaxias Seyfert son excepcionalmente ricas en polvo. Y finalmente, existen NAGs que muestran regiones extranucleares de gas ionizado (siguiente sección), cuya presencia parece ser más una resultante de la actividad, que la causante de ésta.

La taxonomía que se ha planteado para los NAGs es muy confusa, ya que ésta se ha hecho en base a los diferentes intervalos de frecuencias en los que se han observado. Esta taxonomía pocas veces depende de los procesos físicos y en general reflejan la sensibilidad de los instrumentos usados, algunos ejemplos de estas clasificaciones son: objetos cuyo continuo presenta o no líneas en emisión (objetos BL Lacertae vs. cuasares), objetos con alta polarización (blazares vs. cuasares), etc. Así, se tienen que algunos casos de fuentes que parecían de un cierto tipo, p. ej. algunas galaxias Seyfert 2 al ser observadas con otras técnicas (espectro-polarimetría) muestran que tienen un núcleo de galaxia Seyfert 1 (Antonucci & Miller 1985). La posible presencia o ausencia de líneas en emisión (cuasares u objetos BL Lacertae) parece ser debida a un efecto de direccionalidad al observar de lado o de frente el haz interno de los radio jets (Blandford & Rees 1978).

Estas y otras propiedades observadas en los núcleos activos de galaxias han llevado a plantearse escenarios de unificación, por ejemplo que las radiogalaxias, los radio cuasares (Barthel 1989), los objetos BL Lacertae y los cuasares violentamente variables en el óptico, pueden ser producidos por un mismo mecanismo físico y donde las diferencias se tratan de explicar por un efecto geométrico entre el ángulo de los polos del disco de acreción de un hoyo negro y el eje de visión del observador (p. ej. Krolik & Begelman 1986). Otros escenarios de unificación ó "escenarios propios de unificación", explican la diferencia entre galaxias Seyfert 1 y 2 por la existencia de un toroide de material absorbente entre las regiones de líneas anchas y delgadas en emisión; así dependiendo del ángulo del observador se observa a uno u otro tipo de galaxia Seyfert (Seyfert 1 de frente y Seyfert 2 de lado al toroide). En este caso se supone que el toroide es coplanar al disco de acreción del hoyo negro (p. ej. Antonucci & Miller 1985; Antonucci 1993). Esta visión se ilustra en la Fig. 1.2 en la que mostramos un dibujo con estos escenarios y la imagen óptica de NGC 4261, tomada con el telescopio espacial Hubble, la que se compara con su estructura en radio frecuencias (Jaffe et al. 1993).

Aunque estos escenarios son muy atractivos, presentan una serie de problemas que son difíciles de explicar considerando sólo un efecto geométrico; por ejemplo la proporción de galaxias Seyfert 2 a 1, la proporción de radiogalaxias de líneas anchas a angostas en emisión en el catálogo 3C, el porcentaje de cuasares radio callados ($\sim 90\%$) a radio ruidosos ($\sim 10\%$), etc. Sin embargo, lo que se ha hecho con cierto éxito, es considerar clasificaciones que, aunque en un principio empíricas, han demostrado que parecen seguir una distribución real de energías para diferentes intervalos de frecuencias.

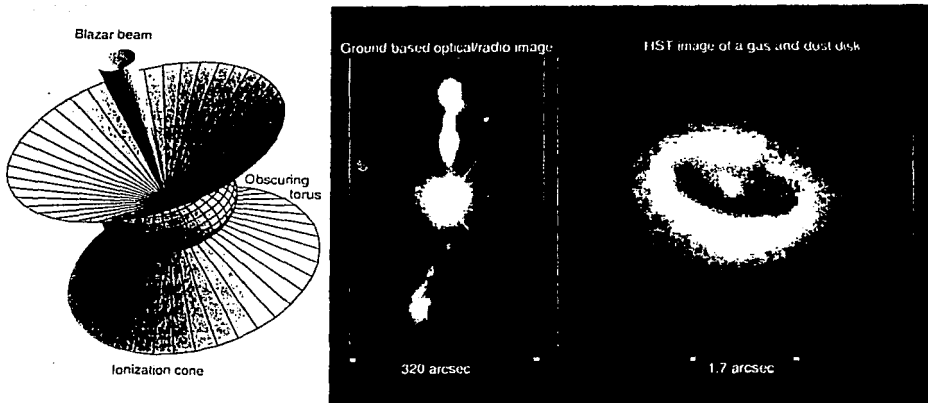


Fig. 1.2 Ilustración esquemática de: a) escenario propuesto para los NAGs, suponiendo que las diferentes características se pueden explicar por emisión anisotrópica debido a discos de acreción y/o un toroide de material opaco y la presencia de un haz, b) imagen óptica del observatorio espacial Hubble de la galaxia NGC 4261 y comparación con su estructura en radio (Jaffe et al. 1993), en la primera se muestra la presencia de un "toroide" y como de su centro sale el jet visto en radio frecuencias.

La clasificación para fuentes de radio, se hace en fuentes de radio intensas y poco intensas. Las poco intensas tienen potencias menores a $P_{total}^{1.4GHz} = 10^{23.3} W/Hz$, corresponden a galaxias Seyfert, mientras que las intensas tienen potencias por arriba de este valor, incluyen a los radio cuasares, radiogalaxias, etc.; a su vez estas fuentes

se separan en dos grupos: FR I, y FR II (Fanaroff & Riley 1974; Bridle & Perley 1984).

A continuación se describen las características de ambos tipos de radiofuentes FR I y II.

FR I:

- son fuentes con radiopotencias débiles
- tienen estructuras en radio con bordes no bien definidos
- hay ausencia de fuentes compactas brillantes ó *hot spots*
- su radio estructura es principalmente bipolar
- la luminosidad de la emisión de la fuente extendida domina a la luminosidad de la emisión de la fuente compacta

FR II:

- son fuentes con radiopotencias fuertes
- tienen estructuras en radio con bordes brillantes y bien definidos
- tienen intensas regiones compactas brillantes ó *hot spots*
- su radio estructura es principalmente en una sola dirección
- la luminosidad de la emisión de la fuente compacta domina a la luminosidad de la emisión de fuentes extendida

La potencia que separa a ambos tipos de fuentes es: $\frac{P_{1.4GHz}}{total} = 10^{24.5} W/Hz$, ó $P_{5GHz}^{centro} = 10^{23} W/Hz$.

La clasificación descrita no sólo separa a fuentes con diferentes potencias y con diferentes características morfológicas en radio, sino que también parece separar a

fuentes con diferencias en otras frecuencias. En particular en el óptico parece haber diferencias entre la presencia o ausencia de líneas en emisión, en el tipo de galaxia huésped y el ambiente en el que se encuentran (densidad de galaxias), así como la presencia o ausencia de peculiaridades morfológicas que se pueden interpretar como producto de fusiones entre galaxias.

En particular, se ha desarrollado una clasificación en el óptico que engloba las propiedades que tienen que ver con la galaxia huésped y las propiedades en radio que tienen que ver con la fuente central (Heckman et al. 1986). A continuación describimos los puntos sobresalientes.

Clase A:

- son fuentes con morfología del tipo FR II
- se encuentran en un ambiente de baja a moderada densidad de galaxias
- tienen líneas en emisión intensas
- presentan peculiaridades morfológicas, indicativas de *mergers* o colisiones

Clase B:

- son fuentes con morfología del tipo FR I
- se hallan en un ambiente de alta densidad de galaxias
- tienen líneas en emisión débiles o están ausentes
- son principalmente galaxias elípticas luminosas o cD

1.2 Emisión Extendida

Una de las propiedades de los NAGs es la presencia de regiones extendidas con emisión observadas preferentemente en radio continuo, las cuales tienden a ser colimadas y pueden alcanzar extensiones hasta de Mpc. Estas regiones extendidas consisten de: *jets*, lóbulos (con o sin *hots spots*) y halos que presentan emisión no térmica. En algunos casos se ha observado que hay coincidencia espacial entre la estructura en radio y su contraparte espacial en otras frecuencias, por ejemplo los *jets* ópticos en M87 (Tarengi 1981) y en Cen A (NGC 5128) (Brodie, Königl & Browyer 1983) coinciden espacialmente con sus *jets* observados en radio; los lóbulos en rayos-X en Cen A (Schreir, Burns & Feigelson 1981) coinciden a diferentes escalas espaciales con sus lóbulos en radio.

También en el óptico se ha encontrado regiones extendidas con emisión de continuo y en líneas en emisión, esto se detectó a fines de la década de los años 60s, a partir de trabajos de espectroscopía (Schmidt 1965; Searle & Bolton 1968). La emisión en líneas se detectó hasta distancias del orden de kpc. Sin embargo, es hasta la última década, con el uso de detectores bidimensionales, cuando estas regiones se han podido resolver espacialmente a partir de imagen directa y espectroscopía de rendija larga.

A estas regiones con líneas en emisión se les suele referir como "Regiones Extranucleares o Extendidas con Líneas en Emisión" (que denominaremos RELE en adelante) o "Regiones Extendidas con Líneas Angostas en Emisión". De acuerdo a la definición de Tadhunter (1990): "... estas son regiones con líneas en emisión que se distinguen espacialmente de los núcleos de los NAGs, las cuales tienen espectros claramente diferentes con respecto a las regiones HII normales ...".

Se ha observado que esta actividad ocurre en casi todos los tipos de NAGs (radiogalaxias, galaxias Seyfert, cuasares). Las diferencias, como en el caso de la emisión observada en radio, dependen del tipo de NAG involucrado. Así por ejemplo, mientras las extensiones en radio continuo llega hasta escalas de Mpc, en el óptico las regiones extendidas con líneas en emisión puede llegar hasta ~ 100 kpc. El número de NAGs con RELE es relativamente pequeño ~ 183 (Durret 1989), pero este ha ido aumentando a medida que se han depurado las técnicas de observación, así como con el uso de nuevas generaciones de CCDs más sensibles.

El estudio de las RELE ha permitido tener una idea más completa de la estructura de radiación del NAG a gran escala y su efecto en la galaxias huésped.

1.2.1 Formas y Radios de las RELE

Las RELE varían en radio y forma dependiendo del tipo del NAG, como ocurre en las extensiones en radio frecuencias. A continuación presentamos las características en los distintos objetos:

- Cuasares con bajo corrimiento al rojo ($0.36 \leq z \leq 0.91$). Se han podido resolver las RELE, en [OII] y [OIII], las cuales parecen seguir la estructura de la galaxia huésped (Stockton & Mac Kenty 1987). Algunas de las RELE tienen formas irregulares y otras parecen estar alineadas con la estructura extendida de radio. La ocurrencia de las RELE en cuasares es $\geq 60\%$ (en 47 fuentes) y es mayor en los cuasares radio ruidosos que en los radio callados. Los radios típicos de las RELE son del orden de decenas de kpc (Hutchings 1992). Un ejemplo de esta estructura en cuasares se presenta en la Fig. 1.3 (Hutchings 1992).

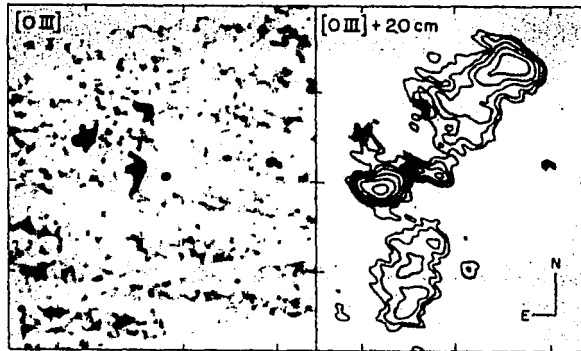


Fig. 1.3 Cuasar 0903+169. a) Observaciones de RELE en [OIII]. b) Comparación de estas observaciones en [OIII] (imagen gris) con su estructura en radio a 20 cm (isocontornos). Se muestra la coincidencia espacial de los tres máximos en el óptico con algunos de radio (Hutchings 1992).

- Cuasares con mayores corrimientos al rojo ($z \geq 0.8$ y $z \geq 2$). En observaciones de [OII] y $L\alpha$, se encuentra que la emisión en radio y las RELE parecen tener una mejor correlación espacial que en los casos de bajo corrimiento al rojo y además las RELE no parecen seguir el continuo óptico (McCarthy et al. 1991; Heckman et al. 1991).
- Radiogalaxias potentes. El estudio en este tipo de fuentes ha sido más intenso debido al tamaño y potencia de los radio *jets* y lóbulos. En estas fuentes los radios típicos de las RELE varían de ~ 10 kpc hasta ~ 100 kpc. Algunos ejemplos de estos casos extremos son: 3C 277.3 (Coma A) (Miley et al. 1981; van Breugel et al. 1985), Centaurus A (de Young 1981) y 3C 405 (Cygnus A) (Tadhunter, Scarrott & Rolph 1990). En estas fuentes potentes la relación espacial con la extensión en radio parece ser mayor que en cuasares. El caso de 3C 277.3 se muestra en la Fig. 1.4 (van Breugel et al. 1985).

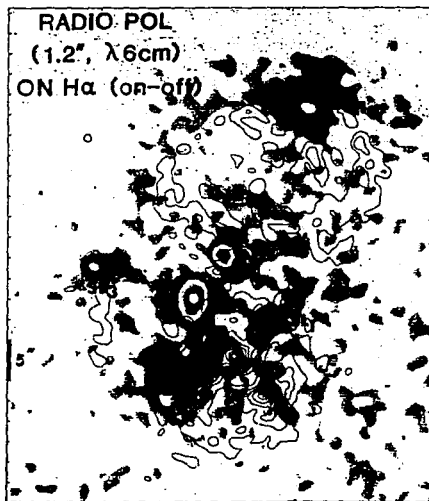


Fig. 1.4 Radiogalaxia potente 3C 277.3, observaciones de RELE en $H\alpha$, imagen gris, comparada con su estructura en radio a 6cm (van Breugel et al. 1985), isocontornos, se muestra la coincidencia espacial entre ambas estructuras.

Las RELE en radiogalaxias potentes tienen un amplio rango de morfologías; la mayoría tienen formas ovaladas, o elípticas, centralmente condensadas (p. ej. 3C 33; Hansen, Nørgaard-Nielson & Jørgensen 1987), otras, como en el caso de los cuasares son estructuras caóticas (p. ej. M 87; Ford & Butcher 1978). También existen casos en que las estructuras son en forma de disco o anillos (p. ej. PKS 2158-380; Fosbury et al. 1982), y los casos más extremos llegan a ser formas elongadas de tipo filamentario (p. ej. Cen. A; Morganti, Robinson & Fosbury 1989). Además, parece existir un aumento en el radio de las regiones con emisión extendida con el corrimiento al rojo (McCarthy & van Breugel 1989). Los estudios y encuestas (*surveys*) en estas fuentes potentes muestran que el porcentaje de incidencia de las RELE es alto $\sim 85\%$ (Baum et al. 1988), en observaciones con filtros de interferencia centrados en: [OIII] y $H\alpha$.

En radiogalaxias débiles el estudio no ha sido tan amplio y en general lo que se hace es interpolar las propiedades de las radiofuentes fuertes, hacia las de menor actividad (ver siguiente sección).

- Galaxias Seyfert. También se han encontrado RELE en galaxias de tipo espiral como son las galaxias Seyfert. En estos casos las RELE presentan radios típicos menores a 5 kpc. Las RELE se han encontrado en todos los tipos de galaxias Seyfert, aunque preferentemente en galaxias Seyfert 2. La ocurrencia de RELE en galaxias Seyfert, independientemente de los tipos, es bastante alta: $\geq 60\%$ (Pogge 1989; Haniff, Wilson & Ward 1988; Wilson, Ward & Haniff 1988; Haniff, Ward & Wilson 1991).

Como en el caso anterior, las formas varían desde formas ovaladas centralmente condensadas (p. ej. NGC 4235; Pogge 1989a) a estructuras en forma de "S" (p. ej. NGC 3516, Pogge 1989b; Ulrich & Péquignot 1980) y en los casos más espectaculares en forma de conos bien definidos (p. ej. NGC 4388, Pogge 1988; Shields & Filippenko 1988; NGC 5252, Tadhunter & Tsvetanov 1989; Prieto & Freudling 1993). En los casos en que se tienen mapas en radio parecen coincidir los máximos centrales de radio con las RELE (p. ej. Wilson, Ward & Haniff 1988). Algunos ejemplos los mostramos en la Fig. 1.5a (NGC 3516, Pogge 1989b), y como uno de los casos más representativos de conos en la Fig. 1.5b (NGC 5252, Tadhunter & Tsvetanov 1989; Wilson & Tsvetanov 1994).

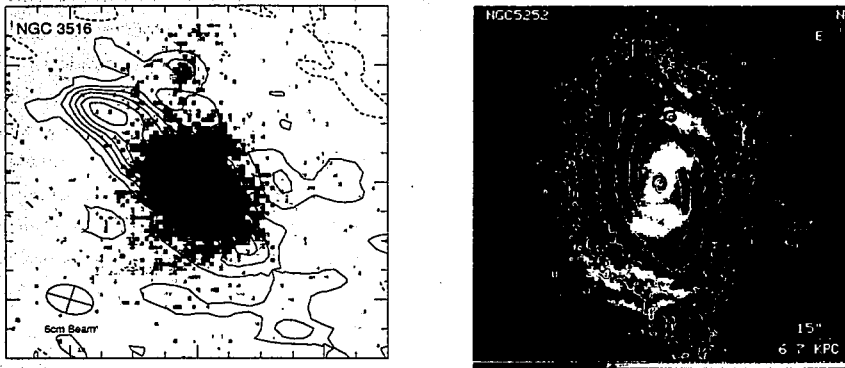


Fig. 1.5 Galaxias Seyfert. a) NGC 3516 observaciones de RELE en [OIII], imagen en gris, comparada con su estructura en radio a 6 cm, isocontornos (Pogge 1989a). Se muestra la coincidencia espacial de una extensión de forma ovalada con uno de los máximos en radio. b) NGC 5252 observaciones de la RELE en [OIII], imagen gris, comparada con el continuo en V, contornos externos, y la estructura en radio a 20 cm, isocontornos internos (Tadhunter & Tsvetanov 1989; Wilson & Tsvetanov 1994). Este es uno de los casos en que mejor se muestran las RELE con forma de dos conos bien definidos y que no necesariamente coinciden con el continuo estelar y si con los máximos en radio.

¿Qué determina la ocurrencia y extensión de las RELE en NAGs?. Es difícil poder contestar debido a lo heterogéneo de las muestras que incluyen: galaxias elípticas, galaxias espirales, con altas y bajas potencias de radio, diferentes corrimientos al rojo, etc. Consideramos dos de estos aspectos:

1. La fuerte actividad de los NAGs.
2. El tipo de galaxia huésped al que pertenece el NAG.

El primer punto depende de la disponibilidad de fotones ionizantes y el segundo se refiere a la distribución del gas en la galaxia huésped. En galaxias elípticas el gas tiene una distribución más extendida, no solamente en el disco como ocurriría con las galaxias espirales, y de poca densidad, debido a que pudo haber sido capturado en un encuentro o fusión entre galaxias (p. ej. Schweizer 1980), o haber sido condensado de un halo caliente el cual por inestabilidades térmicas se ha enfriado y acreta a la galaxia huésped (p. ej. Fabian et al. 1985). Esto permite que los fotones ionizantes puedan alcanzar amplias zonas extendidas de la galaxia huésped. En galaxias espirales, debido a que el gas está en un disco grueso, los fotones ionizantes tienen menos probabilidad de escapar para ionizar las zonas externas, excepto quizás por los polos.

1.2.2 Condiciones Físicas y de Ionización

Con técnicas de rendija larga se han podido obtener espectros de la región central y de las RELE, lo mismo en galaxias Seyfert como en radiogalaxias potentes (p. ej. Baum, Heckman & van Breugel 1992). Así por ejemplo, presentamos los casos de la radiogalaxia PKS 2158-380 (Fosbury et al. 1982) y la galaxia Seyfert NGC 3516 (Pogge 1989b), en las Figs. 1.6a y 1.6b, respectivamente.

En todos los casos en los que se han podido resolver espectroscópicamente las RELE, se ha encontrado que los espectros de estas regiones son parecidos a los de las galaxias Seyfert 2 o radiogalaxias de líneas angostas. En estos espectros se han estimado densidades electrónicas de $n_e \sim 10^2 \text{ cm}^{-3}$, luminosidades de $L_{H\beta} \sim 10^{41} \text{ ergs s}^{-1}$ (Danzinger et al. 1984) y masas para el gas en estas regiones de $M \sim 10^7 - 10^8 M_{\odot}$ (p. ej. Ulrich & Péquignot 1980). Lo cual es típico para las regiones con líneas angostas en emisión (p. ej. Netzer 1990; Osterbrock 1989).

Una manera para determinar los mecanismos de ionización es usar diagramas de diagnóstico (Baldwin, Phillips & Terlevich 1981; Veilleux & Osterbrock 1987), en los que se obtienen que en casi todos los casos las RELE se encuentran en la zona de objetos fotoionizados por leyes de potencias, independientemente del tipo de NAG, lo que sugiere que los procesos físicos pueden ser los mismos. Algunos ejemplos de estos diagramas los mostramos en las Figs. 1.7a y 1.7b. Para radiogalaxias (Robinson 1989) y galaxias Seyfert (Schommer et al. 1988; Pogge 1989), respectivamente.

Se han planteado varios modelos de fotoionización, en particular en las Figs. 1.7a, 1.7b, mostramos los de Robinson et al. (1987) y Ferland & Netzer (1983), respecti-

vamente. En estos casos se supone ionización por fuentes con espectro de la forma:

$$S_\nu \propto \nu^\alpha \quad (1.1)$$

con $-1.25 \leq \alpha \leq -1.75$, y variando el parámetro de ionización:

$$U = \frac{Q_H}{4\pi r^2 n_e c} \quad (1.2)$$

entre $0.1 \leq U \leq 0.01$ y abundancias solares. En la ecuación 1.2, Q_H es el número de fotones ionizantes emitidos por segundo, r la distancia entre la nube y el centro ionizante y n_e la densidad electrónica.

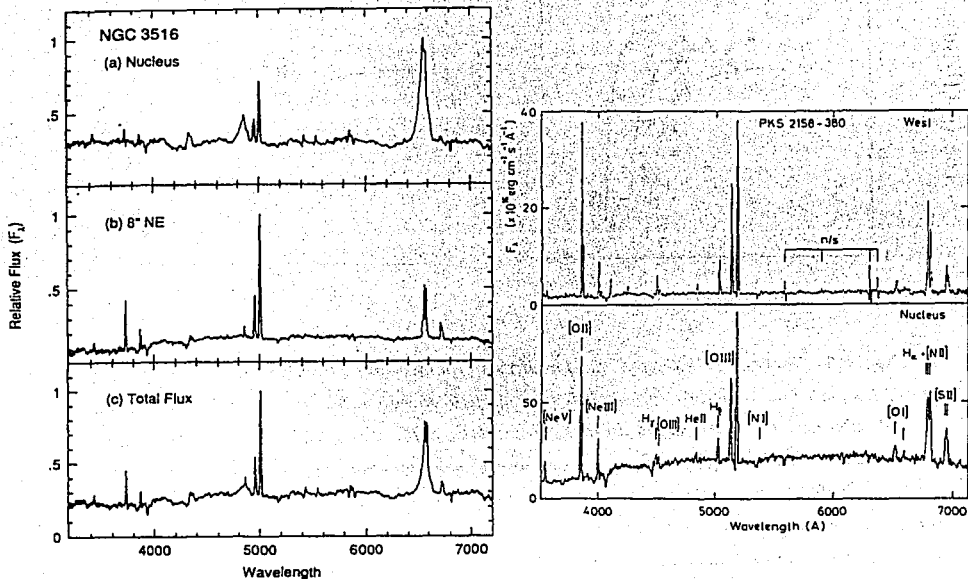


Fig. 1.6 Espectros de rendija larga de RELE y del núcleo de dos tipos distintos de NAGs: a) galaxia Seyfert NGC 3516 (Pogge 1989b); y b) radiogalaxia PKS 2158-380 (Fosbury et al. 1982). En ambos se muestra que las RELE presentan espectros típicos de las regiones con líneas angostas en emisión, independientemente del tipo de espectro de la fuente central (líneas en emisión delgadas y/o anchas).

Sin embargo, usando el cociente de líneas:

$$\frac{[OIII]\lambda 4363}{[OIII]\lambda 4959 + [OIII]\lambda 5007} \quad (1.3)$$

para determinar la temperatura, se encuentran discrepancias con los modelos de fotoionización. Para el límite de bajas densidades, las temperaturas observadas (Tadhunter, Robinson & Morganti 1989), son: $12800 \text{ }^\circ\text{K} \leq T_e \leq 22000 \text{ }^\circ\text{K}$, las cuales son mucho mayores que el valor que predicen los modelos de fotoionización de $T_e \leq 11000 \text{ }^\circ\text{K}$.

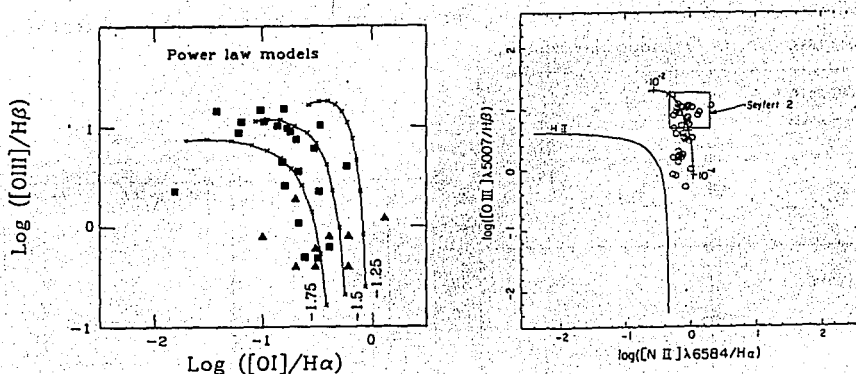


Fig. 1.7 Diagramas de diagnósticos de líneas en emisión de RELEs para dos conjuntos de NAGs. a) Las radiogalaxias potentes, se comparan con modelos de fotoionización de leyes de potencias con diferentes índices espectrales, -1.75, -1.5, -1.25, y donde cada punto de los modelos corresponden a diferentes parámetros de ionización (Robinson 1989). b) Las galaxias Seyfert 1 y 2, se comparan con un modelo de fotoionización de leyes de potencia con un índice espectral de -1.5 y variando el parámetro de ionización, también en esta figura se muestra la región ocupada por regiones HII (Schommer et al. 1988).

Hay varias posibles explicaciones para esta discrepancia. La existencia de una fuente de calentamiento adicional y/o que la abundancia de metales es inferior a la solar. La posibilidad más plausible es la primera, ya que existen diversas fuentes que

se pueden considerar como responsables de fuentes adicionales a la fotoionización, por ejemplo: choques, ionización por la emisión sincrotrónica del *jet*, etc. (p. ej. van Breugel et al. 1985).

A nivel de modelaje de fotoionización se han propuesto otras posibilidades para explicar los cocientes de líneas en las regiones con líneas angostas en emisión en NAGs. Estos son los modelos mixtos o híbridos, en los que se consideran no sólo ionización por un continuo de ley de potencias, sino también ionización por colisiones térmicas debido a choques de las nubes del gas que producen las líneas angostas (las cuales pueden estar saliendo de ó cayendo a la fuente de ionización) (Viegas-Aldrovandi & Contini 1989a, 1989b; Viegas-Aldrovandi & Gruenwald 1988, 1990). Estos modelos también se han desarrollado para las RELE, y en particular para resolver el problema de la temperatura (Viegas & de Gouveia Dal Pino 1992). En el caso de las RELE el modelo híbrido considera fotones de ley de potencia de pendiente alta (duros) y colisiones térmicas debido a choques. Para una muestra de 6 RELE en radiogalaxias potentes, se ha encontrado que se pueden explicar las temperaturas observadas con modelos mixtos.

1.2.3 Las RELE y los Modelos de Unificación

Las RELE proveen una característica más para los NAGs y para los escenarios de unificación (sección 1.1), ya que se encuentra que la anisotropía se puede extender en el óptico hasta distancias comparables a las encontradas en radio, en los que además de considerar las propiedades de la fuente nuclear también es necesario considerar a la galaxia huésped (p. ej. Fosbury 1989; Pogge 1989c).

Los posibles mecanismos para esta anisotropía son similares a los planteados para las regiones de las líneas en emisión:

- Estructura de toroide de material oscuro entre la región de líneas anchas y la región de líneas delgadas (p. ej. Antonucci & Miller 1985).
- Discos de acreción gruesos (p. ej. Acosta-Pulido et al. 1990; Madau 1988).
- Haz que produce el *jet* relativista (p. ej. Morganti et al. 1991; Tadhunter et al. 1988).

Hasta ahora las observaciones no permiten saber cual de estos mecanismos, o sus combinaciones, explican la anisotropía.

Un ejemplo de este nuevo escenario, en que se incluyen las RELE, suponiendo la galaxia huésped de tipo elíptica, se muestra en la Fig. 1.8 (Fosbury 1989).

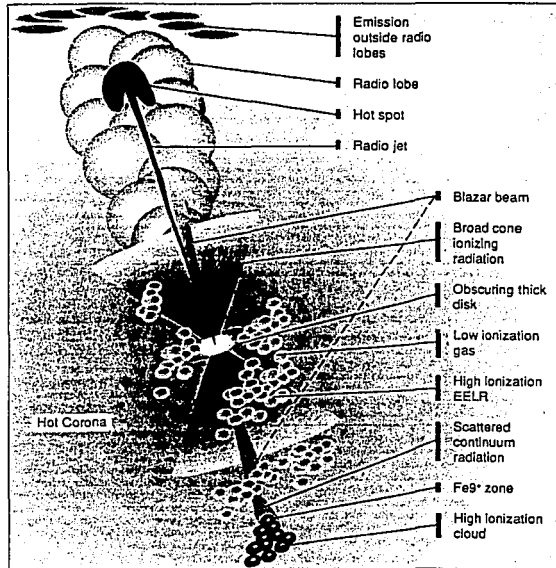


Fig. 1.8 Representación esquemática de una radiofuente potente en la que el radio eje se encuentra en el plano del cielo (Fosbury 1989).

1.3 Radiogalaxias

Un campo que ha producido mucha información sobre las RELE son las radiogalaxias, debido en parte a que se pueden resolver estructura a diferentes escalas en el óptico y a que muestran las mayores estructuras en radio (\sim Mpc, p. ej. Miley 1980). Sin embargo, estos resultados son de las fuentes más potentes dejando de lado a las fuentes débiles. Esto ha hecho que los escenarios que se consideran para las radiogalaxias, en

general, suponen que todas las fuentes son similares y se extrapolan las características de las fuentes potentes para obtener las de las fuentes débiles.

Para darnos una visión de esto, presentamos las propiedades de las RELE encontradas en radiogalaxias potentes (que denominaremos RGP en adelante) y en la siguiente subsección presentamos una muestra de radiogalaxias débiles (que denominaremos RGD en adelante), de las cuales estudiamos las RELE en el presente trabajo.

1.3.1 Radiogalaxias Potentes (FR II)

Se han encontrado las siguientes propiedades para las RELE (Baum et al. 1988; Baum & Heckman 1989a, 1989b) en radiogalaxias potentes ($S_{408MHz} \geq 8.5$ Jy):

- El $\sim 85\%$ de los objetos presentan RELE (a partir de un estudio en 43 fuentes).
- Los radios típicos de las RELE son de ~ 10 kpc.
- Tienen formas ovaladas o elípticas centralmente condensadas y formas filamentosarias.
- Presentan luminosidades en: $H\alpha + [NII]$ y/o $[OIII]$, de $\sim 3 \times 10^{41} \text{ ergs s}^{-1}$.
- Su límite inferior para la densidad electrónica es de 0.1 cm^{-3} .
- Su límite superior para la masa de la nube del gas que produce las RELE es de $6 \times 10^9 M_{\odot}$.
- Tienen un límite superior para el parámetro de ionización de 4×10^{-2} .
- En el $\sim 25\%$ de las RGPs presentan peculiares morfológicas ópticas. Estas peculiaridades son en forma de: colas, abanicos, puentes entre galaxias, bandas de polvo, más de un núcleo, galaxias en una envolvente común. Estas características son indicativas de fusiones entre galaxias (Heckman et al. 1986; van Breugel et al. 1986). Estas peculiaridades son similares a las encontradas a partir de simulaciones numéricas de estos fenómenos (p. ej. Toomre & Toomre 1972; Quinn 1984).

- Tienen índices de color anormales, los cuales son más azules que el resto de galaxias elípticas del mismo tipo (Smith & Heckman 1989a, 1989b).

- Se encuentran correlaciones entre:

la luminosidad en $H\alpha$ con la luminosidad total en radio,

la luminosidad en $H\alpha$ con la potencia del centro observado en radio,

la luminosidad total en radio con la potencia del centro en radio.

Estas correlaciones sugieren que la "máquina central" produce los fotones necesarios para excitar las estructuras en radio y óptico.

Para estas fuentes, debido a las diferencias morfológicas de las RELE, así como al porcentaje de las peculiaridades de la galaxia huésped, se han planteado diferentes orígenes para el gas que produce las líneas, por ejemplo:

- A partir de inestabilidades térmicas del medio intergaláctico caliente que enfría el gas y es acretao a la galaxia huésped (se han observado halos en rayos-X en muchas de estas fuentes, ver Heckman et al. 1989).
- A causa de fusiones entre galaxias, en que al menos una de las galaxias es rica en gas (ver Smith & Heckman 1989a, 1989b).

1.3.2 Radiogalaxias Débiles (FR I)

Debido al problema de identificación de fuentes observadas en diferentes intervalos de frecuencias, los catálogos de radiofuentes con contraparte óptica tienden a ser escasos. Uno en los que esta identificación es buena es el segundo catálogo de radiofuentes de Boloña (B2). Este catálogo consiste de 9475 fuentes con $S_{408MHz} \geq 0.25 Jy$. Los objetos se encuentran limitados a una banda en declinación: $24^\circ \leq \delta \leq 34^\circ$ (Colla et al. 1970, 1972, 1973); y con corrimientos al rojo, z , desde $z \sim 0.002$, hasta $z \sim 3.4$ (B2 0902+34; Lilly 1988).

En esta muestra se han identificado las contrapartes ópticas en dos submuestras: la "brillante", la cual está completa hasta una magnitud de $m_{pg} = 15.7$ (Fanti et al. 1973; Colla et al. 1975a, 1975b), y la "débil", la cual está completa hasta $m_v = 16.5$ (Fanti et al. 1978). La primera muestra está asociada con galaxias del Catálogo

de Zwicky (Zwicky et al. 1963, 1966, 1968), mientras que la segunda muestra está identificada en las placas del *Palomar Observatory Sky Survey* (POSS). Todas las radiofuentes tienen potencias en radio de $P_{1.4 \text{ GHz}} < 10^{24.5} \text{ W/Hz}$ (fuentes FR I). Las dos muestras contienen un total de 113 galaxias elípticas: 57 galaxias en la muestra brillante y 56 en la muestra débil. En la muestra brillante también existen 10 galaxias que son espirales o irregulares.

Las radiofuentes B2 han sido observadas primero con el *Westerbork Synthesis Radio Telescope* y con diferentes configuraciones con el VLA (*Very Large Array*), con resoluciones entre $1''.3$ y $13''$. Las observaciones con los radio mapas, a 1.4 GHz, se presentan en una serie de artículos (Parma et al. 1986; de Ruiter et al. 1986; Fanti et al. 1986; Fanti et al. 1987). Además existen observaciones detalladas de sus propiedades espectrales y de polarización a 5 GHz (Morganti et al. 1987; Capetti et al. 1993), así como las propiedades de los *jets* observados en estas fuentes (Parma et al. 1987; Bicknell et al. 1990).

Las radiogalaxias B2 tienen principalmente radio estructuras dobles aunque existen fuentes con solo estructuras centrales o *jets* desnudos (desprovistos de lóbulos o halos), y muy pocos casos tienen radio estructuras complejas, p. ej. *jets* con estructuras amplias que se abren conforme se alejan de la región central (*wide angle tail*), y estructuras angostas (*narrow angle tail*). Se tiene que más del 60% de los objetos presentan *jets* bien definidos, los que disminuyen en su ángulo de apertura a medida que aumenta la potencia en radio total de la fuente (de Ruiter et al. 1990), lo cual es típico para las fuentes de tipo FR I. Adicionalmente el $\sim 80\%$ de las galaxias tienen centros detectados a 1.4 GHz a escalas de pc y los lóbulos tienen un amplio rango de tamaños. Estas extensiones en algunos casos presentan estructuras distorsionadas de forma de S o C, lo que puede ser indicativo de interacciones con el medio intracúmulo. Algunos ejemplos de estas fuentes se muestran en la Fig. 1.9.

También han sido estudiadas en IR. Uno de los problemas del IR en los núcleos activos de galaxias es separar la contribución debida a procesos térmicos (p. ej. polvo) y la emisión no térmica.

En el caso de las radiogalaxias B2, a partir de los datos del *IRAS Point Source Catalog* (IPSC), se encuentra que aproximadamente el 40% de ellas presentan luminosidades mayores que $10^9 L_{\odot}$ (Impey, Wynn-Williams & Becklin 1990), comparadas con el 8% de galaxias elípticas normales de luminosidades ópticas similares. Además,

se encuentran evidencias de material interestelar frío (polvo) y formación estelar; todas estas evidencias aparentemente correlacionadas con la potencia no térmica en radio (Golombek, Miley & Neugebauer 1990; Impey, Wynn-Williams & Becklin 1990; Impey & Gregorini 1993).

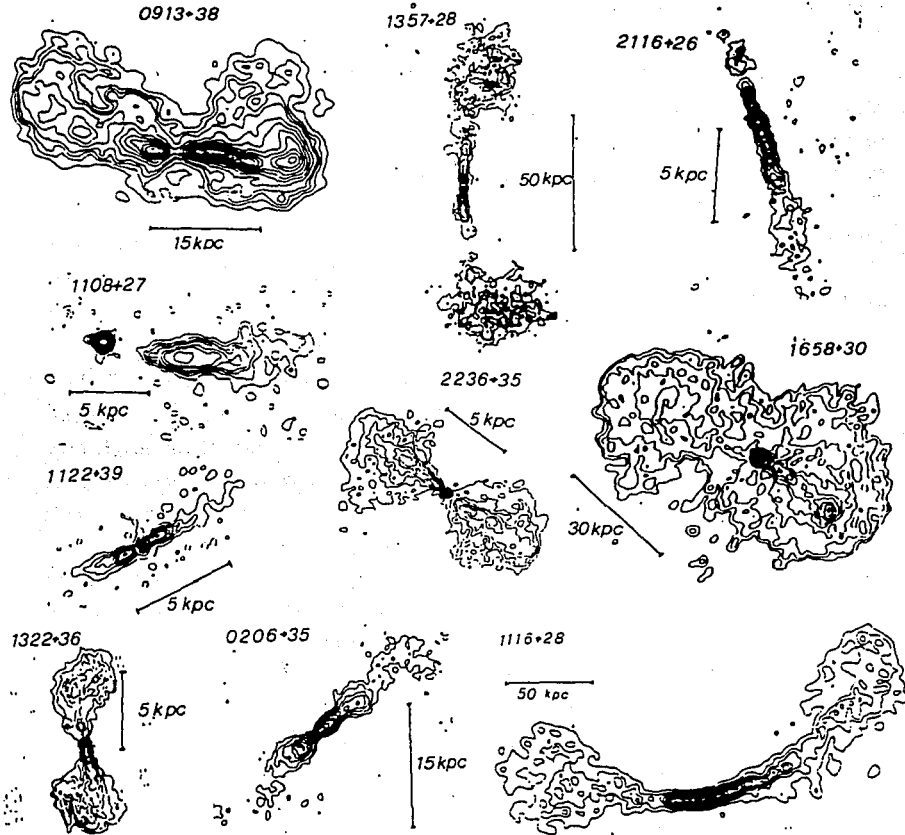


Fig. 1.9 Mapas de radiofuentes B2, en las que se muestran las distintas radio estructuras que presentan. Las observaciones se hicieron en el VLA con distintas configuraciones y distintas resoluciones. También se indican los tamaños lineales de las emisiones.

Los resultados de radio e IR nos dan la posibilidad de usar una muestra de radiogalaxias débiles, B2, en las que además de estudiar las propiedades ópticas, se pueden comparar con los datos de radio e infrarrojo, con lo que podemos tener un panorama más general de las radiofuentes y sus galaxias huésped.

1.4 *Objetivos y Contenido de la Tesis*

Debido al interés en estudiar la actividad a diferentes escalas en radiogalaxias débiles hemos escogido una submuestra de 31 fuentes del catálogo B2, con diferentes estructuras en radio: fuentes con *jets* bien definidos, fuentes que presentan centros “desnudos” y fuentes con estructuras más complejas. Observamos estas fuentes con filtros en banda ancha (V, R e I) y en banda angosta ($H\alpha$ y [OIII]). Todas estas observaciones se realizaron en el telescopio de 2.12 m del Observatorio Astronómico Nacional en San Pedro Mártir, B.C. México (OAN-SPM).

El trabajo observacional tiene planteado como objetivo el responder las siguientes interrogantes:

1. ¿Son galaxias normales las galaxias huésped?
2. ¿Cuál es el origen de las peculiaridades en este tipo de galaxias: fusiones entre galaxias?
3. Si existen interacciones, ¿qué tipo de galaxias están involucradas en la interacción?
4. ¿Qué fracción de radiogalaxias débiles muestran peculiaridades en su morfología óptica y cómo se compara esta fracción con las radiogalaxias potentes?
5. ¿Cuál es la importancia de las interacciones entre galaxias con el gas ambiental?
6. ¿Cuál es la frecuencia de las RELE en radiogalaxias débiles y cómo se compara esta fracción con las radiogalaxias potentes?
7. ¿Cómo se correlaciona el gas del RELE con la estructura de radio extendida y a su vez con la estructura de la galaxia huésped?
8. ¿Se debe la fotoionización de las RELE a la fuente central o existen fuentes alternas de ionización?

9. ¿Se afecta la distribución del gas de las RELE por interacción con la radiofuente extendida o está totalmente determinada por la máquina central?
10. ¿Qué explican nuestros resultados respecto a la evolución de las radiogalaxias?

El contenido de la tesis está distribuido en cinco capítulos. En el primero hemos presentado una revisión general de los NAGs, de las RELE y radiogalaxias potentes, para terminar describiendo la muestra con la que se trabajó en esta tesis (radiogalaxias B2) y las metas de este trabajo. Los tres siguientes capítulos los hemos preparado en forma de tres posibles artículos a publicar. Están desarrollados a partir de nuestro acervo de observaciones de radiogalaxias débiles B2. Hemos obtenido información en el óptico: los resultados fotométricos y morfológicos de las imágenes de banda ancha (V, R e I) se presentan en el Capítulo 2. Las propiedades de las RELE resueltas de las imágenes en banda angosta ($H\alpha$ + $[NII]$ y $[OIII]$) se presentan en el Capítulo 3. La comparación con las luminosidades en otras frecuencias: en el mediano-lejano infrarrojo y en radio; así como las condiciones físicas de las RGDs, se presentan en el Capítulo 4. En el quinto y último capítulo hacemos un resumen de los resultados de este trabajo sacamos las conclusiones y analizamos el panorama para la "Actividad Nuclear y Extranuclear en las Radiogalaxias Débiles" que se desprenden de este trabajo.

1.5 Referencias

- Acosta-Pulido, J.A., Pérez-Fournon, I., Cavani, M., Wilson, A.S., 1990, *Ap. J.*, **365**, 119.
 Antonucci, R., 1993, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **31**, 473.
 Antonucci, R., Miller, J., 1985, *Ap. J.*, **297**, 621.
 Baldwin, J.A., Phillips, M.M., Terlevich, R., 1981, *Pub. A.S.P.*, **93**, 5.
 Balick, B., Heckman, T.M., 1982, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **20**, 431.
 Barthel, P.D., 1989, *Ap. J.*, **336**, 606.
 Baum S.A., Heckman, T., Bridle, A., van Breugel, W., Miley, G., 1988, *Ap. J. Suppl. Ser.*, **68**, 643.
 Baum S.A., Heckman, T., 1989a, *Ap. J.*, **336**, 681.
 Baum S.A., Heckman, T., 1989b, *Ap. J.*, **336**, 702.
 Baum S.A., Heckman, T.M., van Breugel, W., 1992, *Ap. J.*, **369**, 208.
 Begelman, M., Blandford, R., Rees, M., 1984, *Rev. Mod. Phys.*, **56**, 255.
 Bicknell, G.V., de Ruiter, H.R., Fanti, R., Morganti, R., Parma, P., 1990, *Ap. J.*, **354**, 98.

- Blandford, R.D., 1990, *En: Active Galactic Nuclei, eds. Courvoisier, T. J.-L., Mayor, M., Sass-Fee Advanced Course 20, Lec. Notes 1990, Swiss Society for Astrophysics and Astronomy. Springer-Verlag*, p. 161.
- Blandford, R.D., Rees, M.J., 1978, *En: Proc. Pittsburgh Conf. on Bl Lac Objects., ed. Wolfe, A.M., Univ. Pittsburgh Press.*, p. 328.
- Bridle, A.H., Perley, R.A., 1984, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **22**, 319.
- Brodie, J., Königl, A., Browyer, S., 1983, *Ap. J.*, **273**, 154.
- Burbidge, G., Crowne, A.H., 1979, *Ap. J. Suppl. Ser.*, **40**, 583.
- Capetti, A., Morganti, R., Parma, P., Fanti, R., 1993, *Astr. Ap. Suppl. Ser.*, **99**, 407.
- Colla, G., Fanti, C., Fanti, R., Ficarra, A., Formiggini, L., Gandolfi, E., Grueff, G., Lari, C., Padrielli, L., Roffi, G., Tomasi, P., Vogotti, M., 1970, *Astr. Ap. Suppl.*, **1**, 281.
- Colla, G., Fanti, C., Fanti, R., Ficarra, A., Formiggini, L., Gandolfi, E., Lari, C., Marano, B., Padrielli, L., Tomasi, P., 1972, *Astr. Ap. Suppl.*, **7**, 1.
- Colla, G., Fanti, C., Fanti, R., Ficarra, A., Formiggini, L., Gandolfi, E., Gioia, I., Lari, C., Marano, B., Padrielli, L., Tomasi, P., 1973, *Astr. Ap. Suppl.*, **11**, 291.
- Colla, G., Fanti, C., Fanti, R., Gioia, I., Lari, C., Lequeux, J., Lucas, R., Ulrich, M.H., 1975a, *Astr. Ap.*, **38**, 209.
- Colla, G., Fanti, C., Fanti, R., Gioia, I., Lari, C., Lequeux, J., Lucas, R., Ulrich, M.H., 1975b, *Astr. Ap. Suppl.*, **20**, 1.
- Dazinger, I.J., Fosbury, R.A., Goss, W., Bland, J., Boksenberg, A., 1984, *M.N.R.A.S.*, **208**, 589.
- de Ruiter, H.R., Parma, P., Fanti, C., Fanti, R., 1986, *Astr. Ap. Suppl. Ser.*, **65**, 111.
- de Ruiter, H.R., Parma, P., Fanti, C., Fanti, R., 1990, *Astr. Ap.*, **227**, 351.
- de Young, D.S., 1981, *Nature*, **293**, 43.
- Dultzin-Hacyan, D., 1995, para aparecer en las Memorias de la 5ª Conferencia México-Texana sobre "Nebulosas Gaseosas y Formación Estelar", *Rev. Mex. Astron. Astrophys.*
- Durret, F., 1989, *Astr. Ap. Suppl. Ser.*, **81**, 253.
- Fabian, A.C., Arnaud, K.A., Nulsen, P.E.J., Watson, M.G., Stewart, G.C., Mc Hardy, I., Smith, A., Cooke, B., Elvis, M., Mushotzky, R.F., 1985, *M.N.R.A.S.*, **216**, 923.
- Fanaroff, B.L., Riley, I.M., 1974, *M.N.R.A.S.*, **167**, 31P.
- Fanti, R., Gioia, I., Lari, C., Lequeux, J., Lucas, R., 1973, *Astr. Ap.*, **24**, 69.
- Fanti, R., Gioia, I., Lari, C., Ulrich, M.H., 1978, *Astr. Ap. Suppl.*, **34**, 341.
- Fanti, C., Fanti, R., de Ruiter, H.R., Parma, P., 1986, *Astr. Ap. Suppl. Ser.*, **65**, 145.
- Fanti, C., Fanti, R., de Ruiter, H.R., Parma, P., 1987, *Astr. Ap. Suppl. Ser.*, **69**, 57.
- Ferland, G.J., Netzer, H., 1983, *Ap. J.*, **264**, 105.
- Fosbury, R.A.E., 1989, *En: ESO Workshop on Extranuclear Activity in Galaxies, eds. Meur, E.J.A. & Fosbury, R.A.E., ESO Conf. and Workshop Proc. No. 32 Garching*, p. 169.
- Fosbury, R.A.E., Boksenberg, A., Sijnders, M.A., Danziger, I.J., Disney, M.J., Goss, W.M., Penston, M.V., Wamsteker, W., Wellington, K.J., Wilson, A.S., 1982, *M.N.R.A.S.*, **201**, 991.
- Ford, H.C., Butcher, H., 1979, *Astr. J. Suppl. Ser.*, **41**, 147.
- Franco, J., Miller, M., Cox, D., Terlevich, R., Różycka, M., Tenorio-Tagle, G., 1993, *Rev. Mex. Astron. Astrophys.*, **27**, 133.
- Golombek, D., Miley, K.G., Neugebauer, G., 1990, *Astr. J.*, **95**, 26.

- Haniff, C.A., Ward, M.J., Wilson, A.S., 1991, *Ap. J.*, **368**, 167.
- Haniff, C.A., Wilson, A.S., Ward, M.J., 1988, *Ap. J.*, **334**, 104.
- Hansen, L., Nørgaard-Nielsen, H.U., Jørgensen, H.E., 1987, *Astr. Ap. Suppl. Ser.*, **71**, 465.
- Heckman, T.M., Smith, E.P., Baum, S.A., van Breugel, W.J.M., Bothun, G.D., Balick, B., 1986, *Ap. J.*, **311**, 526.
- Heckman, T.M., Baum, S.A., van Breugel, W.J.M., Mc Carthy, P., 1989, *Ap. J.*, **338**, 48.
- Heckman, T.M., Lehnert, M.D., van Breugel, W., Miley, G.K., 1991, *Ap. J.*, **370**, 78.
- Hewit, A., Burbidge, G., 1991, *Ap. J. Suppl. Ser.*, **75**, 297.
- Hewit, A., Burbidge, G., 1993, *Ap. J. Suppl. Ser.*, **87**, 451.
- Hutchings, J.B., 1992, *Astr. J.*, **104**, 1311.
- Impey, C., Gregorini, L., 1993, *Astr. J.*, **105**, 853.
- Impey, C.D., Wynn-Williams, C.G., Becklin, E.E., 1990, *Ap. J.*, **356**, 62.
- Jaffe, W., Ford, H., Ferraresse, L., van den Bosch, F., O'Connell, R., 1993, *Nature*, **364**, 213.
- Krolik, J.H., Begelman, M.C., 1986, *Ap. J.*, **308**, L55.
- Lelièvre, G., Nieto, J.L., Horville, D., Renard, L., Servan, B., 1984, *Astr. Ap.*, **138**, 49.
- Lilly, S.J., 1988, *Ap. J.*, **333**, 161.
- Madau, P., 1988, *Ap. J.*, **327**, 116.
- Mc Carthy, P.J., van Breugel, W.J.M., 1989, *En: The Epoch of Galaxy Formation*, ed. Frank, C., Kluwer Academic Press, p. 57.
- Mc Carthy, P.J., van Breugel, W., Kapahi, V.K., 1991, *Ap. J.*, **371**, 478.
- Miley, G.K., 1980, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **18**, 165.
- Miley, G.K., Heckman, T.M., Butcher, H., van Breugel, W.J.M., 1981, *Ap. J.*, **247**, L5.
- Morganti, R., Robinson, A., Fosbury, R.A.E., 1989, *En: ESO Workshop on Extranuclear Activity in Galaxies*, eds. Meur, E.J.A. & Fosbury, R.A.E., *ESO Conf. and Workshop Proc. No. 32 Garching*, p. 433.
- Morganti, R., Robinson, A., Fosbury, R.A.E., di Serego, Alighieri, S., Tadhunter, C.N., Malin, D.F., 1991, *M.N.R.A.S.*, **249**, 91.
- Morganti, R., Fanti, C., Fanti, R., Parma, P., de Ruiter, H.R., 1987, *Astr. Ap.*, **183**, 203.
- Netzer, H., 1990, *En: Active Galactic Nuclei*, eds. Courvoisier, T. J.-L., Mayor, M., *Sass-Fee Advanced Course 20, Lec. Notes 1990, Swiss Society for Astrophysics and Astronomy. Springer-Verlag*, p. 57.
- Osterbrock, D.E., 1989, *Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei*, University Science Books.
- Parma, P., de Ruiter, H.R., Fanti, C., Fanti, R., 1986, *Astr. Ap. Suppl. Ser.*, **64**, 135.
- Parma, P., Fanti, C., Fanti, R., Morganti, R., de Ruiter, H.R., 1987, *Astr. Ap.*, **181**, 244.
- Pogge, R.W., 1989, *En: ESO Workshop on Extranuclear Activity in Galaxies*, eds. Meur, E.J.A. & Fosbury, R.A.E., *ESO Conf. and Workshop Proc. No. 32 Garching*, p. 411.
- Pogge, R.W., 1988, *Ap. J.*, **332**, 702.
- Pogge, R.W., 1989a, *Ap. J.*, **345**, 730.
- Pogge, R.W., 1989b, *Astr. J.*, **98**, 124.
- Prieto, M.A., Freudling, W., 1993, *Ap. J.*, **418**, 668.
- Quinn, P.J., 1984, *Ap. J.*, **279**, 596.

- Rees, M.J., 1984, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **22**, 471.
- Robinson, A., 1989, *En: ESO Workshop on Extranuclear Activity in Galaxies*, eds. Meur, E.J.A. & Fosbury, R.A.E., *ESO Conf. and Workshop Proc. No. 32 Garching*, p. 259.
- Robinson, A., Binette, L., Fosbury, R.A.E., Tadhunter, C.N., 1987, *M.N.R.A.S.*, **227**, 97.
- Schmidt, M., 1965, *Ap. J.*, **141**, 1.
- Schommer, R.A., Caldwell, N., Wilson, A.S., Baldwin, J.A., Phillips, M.M., Williams, T.B., Turtle, A.J., 1988, *Ap. J.*, **324**, 154.
- Schreir, E.J., Burns, B.J., Feigelson, R., 1981, *Ap. J.*, **251**, 523.
- Schweizer, F., 1980, *Ap. J.*, **237**, 303.
- Searle, L., Bolton, J.G., 1968, *Ap. J.*, **154**, L101.
- Shields, J.C., Filippenko, A.V., 1988, *Ap. J.*, **332**, L55.
- Smith, E.P., Heckman, T.M., 1989a, *Ap. J. Suppl. Ser.*, **69**, 365.
- Smith, E.P., Heckman, T.M., 1989b, *Ap. J.*, **341**, 658.
- Stockton, A., Mac. Kenty, J.W., 1987, *Ap. J.*, **316**, 584.
- Tadhunter, C.N., 1990, *En: New Windows to the Universe, Proceedings of the XIth European Regional Astronomy Meeting of the International Astronomical Union*, Ed. Sánchez, F., Vázquez, M., Vol. II., *Cambridge University Press*, p. 175..
- Tadhunter, C.N., Robinson, A., Morganti, R., 1989, *En: ESO Workshop on Extranuclear Activity in Galaxies*, eds. Meur, E.J.A. & Fosbury, R.A.E., *ESO Conf. and Workshop Proc. No. 32 Garching*, p. 293.
- Tadhunter, C.N., et al., 1988, *M.N.R.A.S.*, **235**, 403.
- Tadhunter, C.N., Scarrott, S.M., Rolph, C.D., 1990, *M.N.R.A.S.*, **246**, 163.
- Tadhunter, C., Tsvetanov, Z., 1989, *Nature*, **341**, 422.
- Tarenghi, M., 1981, *En: Proc. ESO/ESA Optical Jets in Galaxies*, eds. Battrick, B., Mort, J., p. 145.
- Terlevich, R., 1989, *En: Evolutionary Phenomena in Galaxies*, ed. Beckman, Pagel., *Cambridge Univ. Press*.
- Terlevich, R., Melnick, J., 1988, *Nature*, **333**, 239.
- Toomre, A., Toomre, J., 1972, *Ap. J.*, **178**, 623.
- Ulrich, M.-H., Péquignot, D., 1980, *Ap. J.*, **238**, 45.
- van Breugel, W., Miley, G., Heckman, T., Butcher, H., Bridle, A., 1985, *Ap. J.*, **290**, 496.
- Veilleux, S., Osterbrock, D.E., 1987, *Ap. J. Suppl. Ser.*, **63**, 295.
- Verón-Cetty, M. -P., Verón, P., 1993, *A Catalogue of Quasars and Active Nuclei*, 6th. Edition, *Pub. European Southern Observatory, Scientific Report*.
- Viegas-Aldrovandi, S.M., Contini, M., 1989a, *Ap. J.*, **339**, 689.
- Viegas-Aldrovandi, S.M., Contini, M., 1989b, *Astr. Ap.*, **215**, 253.
- Viegas, S.M., de Gouveia Dal Pino, E.M., 1992, *Ap. J.*, **384**, 467.
- Viegas-Aldrovandi, S.M., Gruenwald, R.B., 1988, *Ap. J.*, **324**, 683.
- Viegas-Aldrovandi, S.M., Gruenwald, R.B., 1990, *Ap. J.*, **360**, 474.
- Wilson, A.S., Tsvetanov, Z.I., 1994, *Astr. J.*, **107**, 1227.
- Wilson, A.S., Ward, M.J., Haniff, C.A., 1988, *Ap. J.*, **334**, 121.
- Zwicky, F., Herzog, E., 1963, *Catalogue of Galaxies and of Cluster of Galaxies, California Inst. of Tecnology.*, Vol. 2.

Zwicky, F., Herzog, E., 1966, *Catalogue of Galaxies and of Cluster of Galaxies, California Inst. of Tecnology., Vol. 3.*

Zwicky, F., Koval, C.T., 1968, *Catalogue of Galaxies and of Cluster of Galaxies, California Inst. of Tecnology., Vol. 4.*

Capítulo 2

RADIOGALAXIAS DEBILES I: IMAGENES OPTICAS DE BANDA ANCHA

Resumen

En este capítulo se pretende estudiar la presencia de peculiaridades morfológicas en una muestra representativa de radiogalaxias débiles. Además, a partir de observaciones de radio que existen en la literatura, se estudian las posibles correlaciones entre los mecanismos de emisión para radiofuentes de baja y alta luminosidad. Obtuvimos imágenes en el óptico a través de filtros de banda ancha (V de Johnson y R e I de Kron-Cousin) y de interferencia centrados en las líneas de emisión $H\alpha$ + $[NII]$ y $[OIII]$ de 31 radiogalaxias del catálogo de radiofuentes B2 con $z \leq 0.07$. Aquí presentamos las observaciones en banda ancha, el procedimiento de reducción de datos, el acervo de imágenes, los perfiles de emisión obtenidos y los datos fotométricos detallados.

2.1 *Introducción*

En este capítulo describimos las propiedades ópticas de radiogalaxias de baja luminosidad ($P_{1.4GHz} < 10^{24.5}$ W/Hz) con morfología en radio del tipo FR I (Fanaroff & Riley 1974). Hemos obtenido imágenes ópticas de 31 radiofuentes seleccionadas del segundo catálogo de Boloña (B2). Las imágenes que mostramos incluyen datos en banda ancha en: V, R e I.

Debido a que en las galaxias elípticas y S0 no se espera la presencia de grandes cantidades de gas, el descubrimiento de regiones extranucleares con líneas en emisión asociadas a galaxias tempranas, localizadas a grandes distancias de la región central, plantea varios problemas e interrogantes (p. ej. Baum et al. 1988). Uno de éstos es el origen del gas a distancias de kpc; para explicar esto una de las posibilidades que se ha planteado es que el gas provenga de interacciones entre galaxias en las que al menos una de ellas sea rica en gas. Si esta posibilidad es correcta, las manifestaciones de esta interacción se deberían poder observar en el continuo óptico. A partir de una

muestra de 72 radiogalaxias potentes ($P_{1.4GHz} > 10^{24.5} W/Hz$) Smith & Heckman (1989a) encuentran que más del 50% presentan distorsiones morfológicas, así como colores anormales, que indican que las interacciones entre galaxias están presentes en las radiogalaxias potentes.

En radiofuentes potentes, las regiones extendidas con líneas en emisión son muy comunes. Baum & Heckman (1989a) encuentran, a partir de una muestra de radiogalaxias potentes con radio morfologías FR II, que $\sim 85\%$ de estas galaxias tienen estas regiones extranucleares resueltas: algunas son pequeñas, centrales y simétricas con respecto al núcleo de la galaxia, con formas "ovaladas" o "elípticas"; mientras que otras tienen formas de filamentos que se extienden hasta decenas de kpc del núcleo de la galaxia huésped. Baum & Heckman (1989b) argumentan que el gran tamaño de las RELE en las radiofuentes más potentes puede reflejar una mayor capacidad de ionización de la máquina central, que interactúa con el gas de las RELE.

Se han planteado diferentes orígenes para el gas de las RELE en radiogalaxias de baja y alta luminosidad en radio (Heckman et al. 1986). Así por ejemplo, González-Serrano et al. (1993), a partir de un estudio de 24 radiogalaxias de baja luminosidad con radio *jets*, de las cuales 7 están incluidas en nuestro trabajo, muestran que un alto porcentaje (75%) de estos objetos tiene peculiaridades morfológicas que pueden ser indicadores de recientes interacciones gravitacionales. Estos autores y Heckman et al. (1986) argumentan que las diferencias de morfologías entre galaxias del tipo FRI y FR II, pueden deberse a que las de tipo FRI interactúan con sistemas ricos en gas (p. ej. galaxias espirales), mientras que las segundas interactúan con galaxias pobres en gas. A estos tipos de galaxias son las que Heckman et al. (1986) denominan del tipo A (FR II) y del tipo B (FR I).

Las principales metas en nuestro estudio de banda ancha de radiogalaxias de baja luminosidad son estudiar algunas de las siguientes interrogantes:

1. ¿Son galaxias elípticas normales las galaxias huésped?
2. ¿Cuál es el origen de las peculiaridades en este tipo de galaxias: fusiones entre galaxias?
3. Si existen interacciones, ¿qué tipo de galaxias están involucradas en la interacción?

4. ¿Qué fracción de radiogalaxias débiles muestran peculiaridades en su morfología óptica y cómo se compara esta fracción con las radiogalaxias potentes?
5. ¿Cuál es la importancia de las interacciones de la galaxia con el gas ambiental?
6. ¿Qué implican nuestros resultados en la evolución de las radiogalaxias?

El presente capítulo está organizado de la siguiente manera: En la §2 se presenta una descripción de las observaciones y de la muestra utilizada, el proceso de reducción se describe en §3, los resultados fotométricos y morfológicos se dan en §4, la discusión en §5 y finalmente, un resumen de los resultados y conclusiones están en la §6.

2.2 Observaciones

2.2.1 Selección de la Muestra

La muestra observada consistió en 31 galaxias identificadas con radiofuentes del Segundo Catálogo de Boloña B2. Este catálogo compuesto de fuentes del *survey* de Boloña, identificados con fuentes ópticas, consiste básicamente de dos grupos: la muestra brillante (B), la cual está completa hasta magnitud $m_{pg} = 15.7$ (Fanti et al. 1973; Colla et al. 1975a, 1975b), y la muestra débil (F), la cual está completa hasta $m_v = 16.5$ (Fanti et al. 1978). La primera muestra está asociada con galaxias del Catálogo de Zwicky mientras que la segunda muestra fue identificada en las placas de Palomar (POSS). Casi todas las radiofuentes tienen potencias en radio de $P_{1.4 \text{ GHz}} \leq 10^{24.5} \text{ W/Hz}$, de tal forma que todas son fuentes de tipo FRI. La muestra completa ha sido estudiada a 1.4 GHz con diferentes configuraciones del VLA con resoluciones de $1''.3$ y $13''$ (Parma et al. 1986; de Ruiter et al. 1986; Fanti et al. 1986; Fanti et al. 1987). Para las fuentes observadas existen los mapas en radio así como la información de luminosidades en radio, propiedades morfológicas (Fanti et al. 1987; Parma et al. 1987), propiedades de los *jets* (Parma et al. 1987), propiedades del continuo en radio y polarización a 5 GHz (Morganti et al. 1987; Capetti et al. 1993).

La mayoría de estas fuentes presentan estructuras dobles, aunque existen fuentes con centros aislados ó *jets* desnudos (desprovistos de lóbulos o halos). Pocos casos

presentan estructuras complejas, p. ej. *jets* con estructuras amplias (*wide angle tail*) y angostas (*narrow angle tail*). Se tiene que más del 60% presentan *jets* bien definidos cuyos ángulos de apertura decrecen a medida que aumenta la potencia total en radio (de Ruiter et al. 1990), lo cual parece ser típico de este tipo de fuentes; aproximadamente el 80% tienen centros detectados a 1.4 GHz a escalas de pc y los lóbulos tienen un amplio rango de tamaños. Estas extensiones en algunos casos presentan estructuras distorsionadas de forma de S o C, lo que puede ser indicativo de interacciones con el medio ambiente intracúmulo.

A partir de datos en el mediano-lejano infrarrojos (IRAS), para las radiogalaxias B2 se ha encontrado evidencia de material interestelar frío y formación estelar lo cual aparentemente está relacionado con la potencia en radio frecuencias de la emisión no-térmica (Golombek, Miley & Neugebauer 1990; Impey, Wynn-Williams & Becklin 1990; Impey & Gregorini 1993). Además, se tiene que $\sim 40\%$ presentan luminosidades mayores que $10^9 L_{\odot}$ (Impey, Wynn-Williams & Becklin 1990), comparadas con el $\sim 8\%$ de galaxias elípticas normales con estas luminosidades.

Las 31 galaxias fueron seleccionadas con las siguientes características:

- Son miembros del catálogo de radiofuentes B2, que se caracterizan por tener $S_{408 \text{ MHz}} > 0.25 \text{ Jy}$ y $+24^{\circ} < \delta < +34^{\circ}$.
- Son fuentes de la muestra brillante y de la muestra débil.
- Todas tienen corrimientos al rojo de: $0.002 \leq z \leq 0.07$; debido a las limitaciones en z de los filtros angostos con que contamos.
- Son fuentes con estructuras en radio extendidas (lóbulos, halos); fuentes con *jets* desnudos (sin la presencia de halos o lóbulos) y radiogalaxias que presentan sólo emisión central (hasta resoluciones de $1''$).

Las propiedades de las galaxias estudiadas en este trabajo, obtenidas de la literatura, se presentan en la Tabla 2.1. Col. (1) nombre B2; Col. (2) otras designaciones; Col. (3) corrimiento al rojo; Col. (4) AR (1950); Col. (5) DEC (1950); Col. (6) magnitud visual o fotográfica publicada; Col. (7) tipo morfológico tomado de la literatura; Col. (8) tipo de la muestra: brillante (B), débil (F); Col. (9) comentarios.

2.2.2 Instrumentación

Las observaciones se realizaron en el telescopio de 2.12 m del Observatorio Astronómico Nacional en San Pedro Mártir, B.C., México (OAN-SPM), durante varias temporadas de observación: abril y septiembre de 1991, marzo, junio, julio, septiembre y octubre de 1992, abril y septiembre de 1993. Se obtuvieron imágenes con CCDs a través de los siguientes filtros de banda ancha:

- V $\lambda = 5750 \text{ \AA}$, $\Delta\lambda = 1400 \text{ \AA}$
- R $\lambda = 6340 \text{ \AA}$, $\Delta\lambda = 400 \text{ \AA}$
- I $\lambda = 8040 \text{ \AA}$, $\Delta\lambda = 1660 \text{ \AA}$

Se utilizaron dos detectores CCD Thompson: 384×576 y 1024×1024 elementos (*pixeles*). Estos CCDs en el telescopio de 2.12 m con el secundario f/7.5 dan una escala de placa en el plano focal de $0.3''/\text{pixel}$ y $0.25''/\text{pixel}$, respectivamente, lo que produce un campo de visión de $1.93' \times 2.89'$ y $4.25' \times 4.25'$. Las propiedades de cada CCD son las siguientes: Th 384×576 , ruido de lectura de $11e^{-1}$ y con tamaño de *pixel* de $23 \mu m$; Th 1024×1024 , ruido de lectura de $5.73e^{-1}$ y un tamaño de *pixel* de $19 \mu m$.

Las observaciones presentadas en este trabajo fueron obtenidas en condiciones fotométricas con una calidad de imagen típica (*seeing*) de 1.0 a 2.4 segundos de arco. Para cada galaxia estudiada se obtuvieron series de imágenes en cada filtro, las cuales fueron posteriormente combinadas para obtener una sola imagen por filtro de cada galaxia.

2.2.3 Observaciones Fotométricas

Un conjunto de estrellas estándares de Landoldt (1983) fueron observadas cada noche para la calibración fotométrica en V, R e I. Los detalles de estas observaciones se encuentra en la Tabla 2.2, la cual contiene los datos obtenidos y la lista de las estándares para cada temporada. Muchas de las estrellas que aparecen en la Tabla 2.2 se observaron en más de una ocasión durante cada noche.

Los detalles de las observaciones fotométricas de las galaxias se presentan en la Tabla 2.3. El contenido es el siguiente: Col. (1) nombre de la fuente; Col. (2) fecha

de la observación; Col. (3) filtro de banda ancha; Col. (4) tiempo de integración en segundos; y Col. (5) ancho a intensidad media de la *PSF* en segundos de arco. La mayoría de las galaxias fueron observadas con todos los filtros durante la misma temporada y algunas fueron observadas en dos diferentes temporadas, en la tabla se indica las fuentes en cada caso.

2.3 *Análisis de las Imágenes*

Para realizar la reducción de las imágenes CCD se siguió el procedimiento estándar (ver Kent 1984; Cornell et al. 1987). La reducción y análisis se hicieron con el paquete de reducción IRAF (*Image Reduction and Analysis Facility*: Barnes 1993, Massey 1992, Massey & Davis 1992 y Martínez 1991), desarrollado por el Observatorio Óptico Astronómico Nacional de los Estados Unidos (*NOAO*), mediante el siguiente procedimiento:

1. Para eliminar la respuesta del detector a cada imagen se le sustrajo el bias (usando una media de 9 *bias*) y se dividió por la media de 4 campos planos (*flats*) del cielo obtenido con luz tenue (al atardecer o al amanecer).
2. El cielo de fondo en cada imagen se determina, en primera aproximación, a partir de un histograma de "cuentas de frecuencias" y estimando el nivel de intensidad correspondiente a la máxima frecuencia.
3. Para determinar el centroide del objeto se ajustó una función gaussiana bidimensional centrada en el máximo más brillante en cada objeto, que generalmente corresponde al núcleo. Para eliminar los residuos en las regiones donde los gradientes de luz son más pronunciados, las imágenes fueron suavizadas usando una función gaussiana bidimensional de 2 píxeles de ancho a intensidad media (*FWHM*).
4. A partir de la inspección directa de las imágenes, fue posible quitar los rayos cósmicos y píxeles malos, aunque muchos de estos se corrigieron al combinar las imágenes de un mismo objeto.
5. Las imágenes de las galaxias fueron calibradas hasta el límite de 25 mag/segarc² usando estrellas estándares UBVR_I de Landolt (1983). Se convirtieron R e I del sistema de Kron-Cousin a Johnson usando las ecuaciones

de transformación que obtuvimos (Carrillo & Martínez 1995) usando como referencia las de Cousin (1976) y Bessell (1979). Se obtuvieron los colores V-R y R-I corregidos por extinción atmosférica y galáctica. Para esto se usaron los coeficientes de extinción de Schuster (1982) para el OAN-SPM. La absorción galáctica (A_v) se obtuvo de Savage & Mathis (1979) y para la corrección por corrimiento al rojo ($K_v(z)$) usamos los valores dados por Whitford (1971).

6. Las magnitudes corresponden a la imagen final, la cual es la combinación del conjunto de imágenes (al menos cuatro) obtenidas para cada galaxia en los diferentes filtros.
7. Generamos perfiles de intensidad para encontrar el número de cuentas en anillos concéntrico alrededor de la emisión central y dividido por el área apropiada de cada anillo.
8. Las magnitudes V, R e I se calcularon usando los perfiles considerando hasta un radio límite que corresponde a las isofotas de 25 mag/segarc².
9. Se derivaron los perfiles de intensidad en V, R e I para las 31 galaxias.

2.4 Resultados Fotométricos y Morfológicos

2.4.1 Imágenes

Las imágenes finales de las RGDs estudiadas en este trabajo las presentamos en las Fig. 2.1a, ...,k, en los filtros I, R y V, para cada galaxia. En esta figuras se presentan las galaxias en esta secuencia: I (izquierda), R (centro) y V (derecha), con la orientación del Norte hacia arriba y el Este a la izquierda. Las barras corresponden a 15". La imagen final es una combinación del conjunto de imágenes obtenidos para cada galaxia en los diferentes filtros. De las 31 radiogalaxias estudiadas, presentamos las imágenes fotométricas en V, R e I para 28 de estas, y sólo imágenes en R e I para 3.

En estas imágenes varias galaxias tienen apariencia de elípticas, otras de pares (usualmente E+E) con intensidades comparables inmersas en un halo común, unas pocas están en grupos de galaxias de diferentes luminosidad y el resto muestran componentes pequeñas más débiles que el núcleo dominante (*hot spots*) dentro de un halo común. En las Fig. 2.2a, ...,f presentamos mapas de contornos en el filtro R de las galaxias de nuestra muestra. La convención usada para las multicomponentes es la

siguiente: en galaxias con compañeras ó más de un núcleo de magnitud comparable, las componentes son indicadas con letras mayúsculas, A es la más brillante y el resto en orden decreciente son marcadas con B, C, ...; galaxias con *hot spots*, es decir pequeñas componentes, son indicadas con letras minúsculas (a, b, c, ...) en orden decreciente en brillo (ver Fig. 2.2a a 2.2k y Tabla 2.4).

En las Fig. 2.3a, ...,f presentamos los perfiles de las galaxias de la muestra en el filtro R, en cada caso se muestra la magnitud aparente vs. distancia radial del semieje mayor de la elipse que mejor se ajusta.

2.4.2 Mediciones Fotométricas y Geométricas

Los parámetros fotométricos y geométricos derivados para las galaxias estudiadas en este trabajo se presentan en la Tabla 2.4. Estos parámetros fueron obtenidos usando varias rutinas del paquete de reducción IRAF. Por ejemplo isophote (ellipse) dentro de STSDAS, apphot dentro de DIGIPHOT (phot, polyphot, fitskypars), etc.

Para las galaxias estudiadas se obtuvieron las siguientes propiedades:

1. Intensidad total en los filtros V, R e I. En el caso de haber más de una fuente dentro de un mismo halo o envolvente se contabilizó como una sola, esto es, el resultado que se presenta es el de la contribución de ambas galaxias.
2. Semieje mayor y elipticidad ($e = 1 - b/a$) para la elipse que mejor se ajusta hasta un límite de 25 mag/segarc^2 .
3. Angulo de posición (que denominaremos AP en adelante), en grados, del eje mayor de la elipse más externa que mejor se ajusta (éste se contabiliza a partir del N, positivo en sentido contrario a las manecillas del reloj). Los APs son valores observados.
4. Las estructuras en las galaxias que se encuentran son tomando hasta el límite de 3σ del ruido.

En la Tabla 2.4 mostramos los datos fotométricos de las imágenes, para cada galaxia, la cual contiene: Col. (1) nombre de la fuente; Col. (2) la magnitud aparente R; Col. (3) y (4) muestran los colores V-R y R-I, respectivamente, los errores de las magnitudes y colores presentados, representan la consistencia interna de las medidas.

En la Tabla 2.5 mostramos los datos morfológicos de las imágenes, para cada galaxia, la cual contiene: Col. (1) nombre de la fuente; Col. (2) el semieje mayor de la elipse que mejor se ajusta r , en kpc; Col. (3) la elipticidad (e); Col. (4) el ángulo de posición AP, en grados. En el caso de varias componentes usamos la nomenclatura descrita previamente.

2.5 Discusión

2.5.1 Morfología Óptica

Una inspección directa de las imágenes de banda ancha presentadas en la Fig. 2.1a a 2.1k de las RGDs estudiadas, muestra que del orden de 65% de las galaxias tienen morfologías peculiares. En la Tabla 2.6 presentamos las morfologías descritas para cada galaxias de nuestra muestra. Esta tabla contiene: Col. (1) nombre de la fuente, Col. (2) los rasgos encontrados. Para clasificar las peculiaridades en las radiogalaxias estudiadas seguimos la terminología de Heckman et al. (1986) y Smith & Heckman (1989a y 1989b): NE = galaxias elípticas normales y ND = galaxias normales de disco sin peculiaridades aparentes; B = puentes que unen a la radiogalaxia con una compañera; CE = radiogalaxia y compañera en una envolvente común; D = bandas de polvo, T = colas, 2T = dos colas; F = abanicos, 2F = dos abanicos; S = cáscaras. Las colas (T) se refieren a estructuras angostas (donde el cociente del largo al ancho es > 3), ellas no necesariamente son radiales y pueden ser curvas. Los abanicos (F) son similares a las colas pero en este caso el cociente del largo al ancho es < 3 . Los puentes (B) se refieren a estructuras que unen a la radiogalaxia con una compañera aparente. Las cáscaras (S) son estructuras filamentosarias curvas. Las bandas de polvo (D) son claramente observadas, algunas con morfologías complejas. Pocas galaxias muestran isofotas en forma de caja (BI) las cuales son características de *mergers*. La presencia de estas peculiaridades ocurre a diferentes niveles de isofotas (ver mapas de contornos) en las imágenes del continuo de banda ancha.

Las peculiaridades morfológicas se cree que son producidas por la interacción de galaxias o *mergers* de elíptica+elíptica (E+E) o espiral+espiral (S+S) o pares mixtos (ej. Toomre & Toomre 1972; Toomre 1977; Quinn 1984). Las simulaciones numéricas muestran que las colas se producen cuando al menos una de las galaxias interactuantes es de disco, las cáscaras son producidas por la captura de una galaxia elíptica pequeña

ó espiral por una galaxia elíptica gigante (Quinn 1989; Quinn & Hernquist 1987), los abanicos son producidos por la interacción de dos galaxias elípticas gigantes y las bandas de polvo son producidas por el encuentro de dos galaxias elípticas (p.ej. Merritt & Zeeuw 1983). La presencia de halos extendidos son similares a los mostrados en modelos de interacción de n-cuerpos en galaxias elíptica-elíptica donde existen *mergers* (ej. Aceves et al. 1995). Las diferentes componentes de estas peculiaridades las mostramos no sólo en las imágenes y mapas de isocontornos, sino también en los perfiles de intensidad de estas fuentes.

Las peculiaridades en la galaxia se refieren no sólo a las manifestaciones de actividad, sino también con la presencia de galaxias cercanas, a distancias menores de 25 kpc. Estas galaxias compañeras las determinamos a partir de imágenes del *Palomar Digitized Sky Survey* (Golombek 1992). Encontramos que el $\sim 67\%$ de las galaxias de la muestra tiene una segunda o más compañeras dentro de esta distancia.

Procedemos a resumir los resultados de morfología óptica de la Tabla 2.5:

- Galaxias normales (35%). Las RGDs que muestran simetría elíptica son: 0331+39, 1116+28, 1322+36, 1357+28, 1441+26, 1557+26, 1652+39, 1833+32, 1855+37; mientras 0034+25 y 1422+26 muestran estructuras normales de disco.
- Galaxias con compañeras (71%). Las RGDs que muestran galaxias con una o más compañeras a distancias < 25 kpc: 0034+25, 0055+26, 0116+31, 0120+33, 0206+35, 0838+32, 0913+38, 0916+33, 1108+27, 1116+28, 1217+29, 1318+34, 1339+26, 1357+28, 1441+26, 1658+30, 1752+32, 1833+32, 1855+37, 2116+26, 2236+35, 2335+26. La presencia de compañeras puede ser responsable por la actividad de las galaxias y por las peculiaridades; aunque, solamente en un caso (B2 1339+26) ambas galaxias son NAGs. Si la actividad es debida al encuentro entre galaxias ¿porqué sólo en un caso ambas fuentes muestran esta anormalidad? Además, varias galaxias con compañeras (50% de ésta muestra) muestran la presencia de una envolvente común y un halo extendido. Estos halos son característicos de colisiones de galaxias E+E.
- Bandas de polvo (10%). Estas son observadas en dos galaxias de nuestra muestra: 0025+35 (también reportada por González-Serrano et al. 1993) y 1122+39. Un total de 4 radiogalaxias del survey de B2 tienen bandas de polvo, las otras

dos son: 0149+35 que fue reportada por Kotanyi & Ekers (1979) y 2116+26 reportada por Gallagher (1986). Un resultado importante es que no en todos los casos el radio eje es perpendicular a la banda de polvo, pero si muestran, en todos los casos, fuertes distorsiones de los perfiles de brillo superficial.

- Puentes, abanicos, colas. Puentes (29%) entre la galaxia principal y una compañera son encontrados en: 0055+26, 0838+32, 0916+33, 1108+27, 1339+26, 1658+30, 1752+32, 2236+35 y 2335+26. Estructuras semejantes a abanicos (13%) son observados en: 0116+31, 0913+38, 1225+26, 1339+26, 2236+35. Colas (6%) se observaron en: 1346+26 y 2320+32.
- Isofotas de caja. Isofotas de caja (16%) se observaron en: 0116+31, 1116+28, 1318+34, 2116+26, 2320+32. Más casos muestran una forma elíptica interior con una estructura externa en forma de caja.

2.5.2 *Angulo de Posición en Radio y Óptico*

En la Tabla 2.7 presentamos los resultados de observaciones en radio del VLA de las RGDs de nuestra muestra. Los datos fueron obtenidos de Parma et al. (1986); de Ruiter et al. (1986); Fanti et al. (1986); Fanti et al. (1987); Parma et al. (1987); Morganti et al. (1987), Capetti et al. (1993). El contenido de la tabla es: Col. (1) nombre de la fuente, Col. (2) la extensión de la emisión en radio: jets, lóbulos, halos, *tails*, y *wings*, en segundos de arco y el AP en grados de la extensión Col. (3). A partir de la Tabla 2.5, donde mostramos los datos de ángulo de posición del continuo óptico y la Tabla 2.7 comparamos los AP de ambos, las diferencias entre éstos las mostramos en la Tabla 2.8 la cual consiste en: Col. (1) nombre de la fuente y Col. (2) la diferencia entre los ángulos de posición, ΔAP .

En nuestro caso de fuentes RGD, no encontramos alguna relación entre el AP del continuo de radio y el óptico. Para ejemplificar este resultado mostramos en la Fig. 2.4 el AP para ambos continuos de las galaxias de nuestra muestra. En esta gráfica se muestra que la dispersión es tal que no existe ninguna correlación entre el continuo sincrotrónico y el continuo estelar. En trabajos previos se ha encontrado que en radiogalaxias potentes, de moderado corrimiento al rojo (Baum & Heckman 1989a), tampoco parece haber alguna correlación entre los AP del continuo de radio y el óptico. Sin embargo, en radiogalaxias de alto corrimiento al rojo, $z \sim 1$, el

radio eje se encuentra alineado preferentemente con el semieje mayor del continuo óptico (p. ej. Chambers, Miley & van Breugel 1987; Mc Carthy et al. 1987). Este efecto de alineación o no alineación se puede deber a un proceso de evolución de las radiogalaxias y no necesariamente a un efecto de selección.

2.5.3 Medio Ambiente de Galaxias B2

Como hemos discutido la mayoría de las galaxias de nuestra muestra (67%) muestran compañeras cercanas y en algunos casos las imágenes muestran uno o más máximos en su emisión de radio. Nueve de las RGDs están localizadas en cúmulos de galaxias. En la Tabla 2.9 mostramos el grupo o cúmulo al cual se le ha asociado a la galaxia estudiada. La Col. (1) se refiere a la fuente B2, y en la Col. (2) es el nombre del cúmulo o grupo en el cual se encuentra. En la muestra estudiada se encuentra que el 29% está asociado a una agrupación de galaxias.

Tres galaxias presentan halos observados en rayos-X, las cuales presentamos en la Tabla 2.10. La existencia de estos halos es importante debido a que una posibilidad para alimentar de gas a las regiones externas de las galaxias elípticas es que este gas caliente se enfríe, por inestabilidades térmicas y se pueda acretar a la galaxia huésped (Heckman 1981). Este mecanismo se ha propuesto para algunos casos de radiofuentes potentes en centros de cúmulos, p. ej. M87 (Ford & Butcher 1979), NGC 1275 (Kent & Sargent 1979). Así, el encontrar halos de rayos-X en RGD, sugiere que estas galaxias podrían acretar gas.

2.5.4 Índice de Color

Debido a que la interacción entre galaxias puede ser un detonador de actividad de brotes estelares, estudiamos los índices de color V-R y R-I derivados a partir de la fotometría de apertura para cada galaxia. En las Figs. 2.5a a 2.5d presentamos los diagramas color-color de las RGDs de nuestra muestra; cuasares y objetos BL Lacertae (Moles et al. 1985); galaxias Seyfert (Hamuy & Maza 1987); y galaxias elípticas normales (Poulin 1988), respectivamente; la comparación de estas muestras se hace en la Fig. 2.6. Recalcamos que las magnitudes son derivadas de la luz integrada de los perfiles para las isofotas de radio superior a 25 mag/segarc^2 , de tal forma que los colores obtenidos son para toda la emisión de la galaxia.

De estos diagramas se encuentra, para las radiogalaxias de nuestra muestra, que

el índice de color V-R es el esperado para las galaxias "normales" (menos para tres), salvo la gran dispersión que es típica de casi todos los NAGs incluidos. Sin embargo, el índice de color R-I es más azul que el de las fuentes normales y comparable al resto de los NAGs. El que R-I sea más azul y V-R no lo sea, nos indica que I es más débil que R o V. Esto se podría deber a varias causas, por ejemplo: debido a que en el V y R se encuentran líneas intensas en NAGs (p. ej. [OIII], H α , etc.), estas podrían estar aumentando el valor fotométrico de estas magnitudes; otra posibilidad es que debido a que, en general, el continuo sincrotrónico de los NAGs tiene varios máximos, en particular existe un máximo en el azul lo que podría estar ocasionando que I se vea disminuido por este efecto; finalmente otra posibilidad es que como consecuencia de la fusión entre galaxias se estén produciendo brotes de formación estelar, los que ocasionarían índices de color más azules que el de las galaxias normales. Las galaxias que tienen índices anormales son, en R-I: 0916+33 y 1752+32; y en V-R: 0916+33, 1752+32 y 1658+30

De una inspección de las Tabla 2.4 y 2.6; V-R y de la morfología óptica concluimos que la mayoría de las galaxias con índices de color anormales tienen morfologías peculiares y/o compañeras. En estos casos sugerimos que los índices anormales azules son debidos a formación estelar intensificada. En el caso de las fuentes con excesos en el rojo es difícil poder contestar a que se debe este efecto. Es necesario datos en el IR para estas fuentes.

Para conocer hasta que punto el escenario de brotes de formación estelar intensificada se puede estar dando en las galaxia de nuestra muestra, comparamos las RGDs con galaxias HII (Peña & Ayala 1993), lo que mostramos en la Fig. 2.7. De esta gráfica obtenemos que los índices R-I de las galaxias de nuestra muestra son comparables a los de las galaxias HII, más azules que el de las galaxias normales. Los índices de color V-R de las galaxias HII, en general, son más azules que las galaxias de nuestra muestra, aunque existen fuentes con índices comparables, con lo que la posibilidad de brotes de formación estelar pueden estar ocurriendo en algunas de estas galaxias.

Además, comparamos el índice de color V-R de nuestra muestra con el de galaxias normales del mismo tipo y con el mismo corrimiento al rojo (obtenidas de la Tabla 6 de Sandage 1973). Los índices V-R vs. z de las RGDs, galaxias E de la muestra de Sandage y la combinación de ambas muestras las mostramos en las Fig. 2.8a a 2.8c, respectivamente. Los índices de color de las RGDs y de las galaxias E son

comparables, sin embargo encontramos que la dispersión es mayor en las RGDs. Sin considerar las fuentes que tienen índices más anormales encontramos $\langle V-R \rangle = 0.68 \pm 0.28$ mientras que las galaxias elípticas normales tienen 0.86 ± 0.04 .

Cuando se comparan los modelos de evolución de galaxias (Bruzual 1983; Rocca-Volmerange & Guiderdoni 1987) para determinar cual es la etapa de actividad estelar (*merger*) en que se encuentran las galaxias de nuestra muestra, encontramos que los índices de color pueden ser explicados como debidos a evolución estelar, pero como el corrimiento al rojo de nuestra muestra es pequeño es difícil determinar cual de estos modelos es el adecuado. Estudios en el IR de éstas galaxias son importantes para estudiar ésta idea.

2.5.5 Galaxias Individuales

Una breve descripción de las galaxias individuales se presentan en esta sección.

- B2 0034+25. Galaxia en el cúmulo abierto de Zwicky 0034.4+2532, una compañera está localizada a $\sim 44''$ al SE, y la radiogalaxia es la tercera más brillante de los miembros del cúmulo. Las imágenes presentadas aquí (Fig. 2.1a) corresponden a la contraparte óptica de la radiogalaxia. Las imágenes en V, R e I tienen contornos de galaxia E normal (Fig. 2.2a) y nuestro ajuste indica perfiles de intensidad (Fig. 2.3a) de la forma $r^{-1/4}$ (de Vaucouleurs). Nuestras imágenes no muestran fuertes indicaciones de interacción con la compañera del SE.
- B2 0055+26 (NGC 326). Par de galaxias en un halo común (Fig. 2.1b, arriba). El mapa de contornos en Fig. 2.2a muestra el halo común y las dos galaxias de forma E. La fuente más luminosa localizada al NW, es la asociada con la radio emisión. El perfil de intensidad muestra ambas componentes centrales (Fig. 2.3a) y claramente no es de la forma $r^{-1/4}$. Una tercera galaxia se localiza al SW e igualmente muestra rasgos de posible interacción (puentes y contornos distorsionados) pueden ser vistos en la imagen en R (Fig. 2.1a).
- B2 0116+31 (4C 31.04). Par de galaxias, como en el caso anterior, en un halo común (ver Fig. 2.1b, centro). El mapa de contornos muestra ambas galaxias (Fig. 2.2b). La fuente más luminosa es la que se encuentra al NE y es a la que

se asocia la actividad en radio. El perfil de intensidad de la galaxia más intensa (Fig. 2.3a) es claramente de la forma $r^{-1/4}$.

- B2 0120+33 (NGC 507). Galaxia en el cúmulo de Zwicky 0107+3212, donde es la primera o segunda más brillante. Dentro de su halo se detectó una componente débil al SE del núcleo (ver Fig.2.1b, abajo). El mapa de contornos en la Fig. 2.2b muestra una galaxia E y el perfil de intensidad sigue una distribución de la forma $r^{-1/4}$ (Fig. 2.3b); donde se llega a observar la componente débil.
- B2 0206+35 (4C 35.04). Galaxia con banda de polvo que se extiende del NE al SW (ver Fig. 2.1c, arriba). Tres componentes débiles son detectadas al SW. La radio emisión extendida es perpendicular a la banda de polvo. Las isofotas no elípticas y las compañeras sugieren interacciones de marea (Fig. 2.2b). Dado que la banda se encuentra casi perpendicular al eje mayor hace que el perfil de intensidad muestre una distorsión respecto de $r^{-1/4}$ en la parte en que se localiza la banda (Fig. 2.3b).
- B2 0331+39 (4C 39.12). Galaxia elíptica normal sin estructura aparente de interacción (ver Fig. 2.1c, centro; y Fig. 2.2b) y el perfil de intensidad es de la forma $r^{-1/4}$ (Fig. 2.3b).
- B2 0838+32 (4C 32.26). En la literatura esta fuente aparece como fuente doble en una envolvente común donde la galaxia más brillante es el centro del cúmulo Abell 695. Encontramos que se trata de un sistema múltiple con al menos cuatro galaxias en el mismo halo (ver Fig. 2.1c, abajo), también se muestra claramente en el mapa de contornos (Fig. 2.2b). La galaxia más brillante es a la que se le asocia la mayor actividad en radio. El perfil de intensidad muestra tres componentes, el doble núcleo y la componente del SW (Fig. 2.3b).
- B2 0913+38. Galaxia con dos compañeras a distancias $< 45''$, una al N y la otra al S. La imagen muestra una galaxia E con los contornos externos ligeramente distorsionados, probablemente debido a interacciones con las compañeras (Fig. 2.1d, arriba; y Fig. 2.2b). El perfil de intensidad es más empinado que la forma $r^{-1/4}$ (Fig. 2.3b).

- B2 0916+33. La estructura de esta galaxia se asemeja a una galaxia espiral, con un núcleo doble (Fig. 2.1d, centro; y Fig. 2.2c). Este sistema es similar al encontrado en galaxias Markarian IRAS (p. ej. Mazzarella & Boroson 1993). El núcleo al NW es el más brillante y muestra en uno de los brazos una posible región HII (imagen en R, Fig. 2.1c). El perfil de intensidad para esta galaxia es exponencial (Fig. 2.3b) y es distorsionado en la parte externa.
- B2 1108+27. Este es un sistema de dos galaxias elípticas con rasgos de interacción (ver Fig. 2.1d, abajo), la componente del E es la más brillante y es a la que se le asocia la emisión extendida en radio. El mapa de contornos de este par E+E (Fig. 2.2c) muestra un halo común y contornos externos distorsionados. El perfil de intensidad $r^{-1/4}$ muestra a un máximo radio distante, debido a la compañera (Fig. 2.3c).
- B2 1116+28. La imagen muestra una galaxias elíptica con ningún rasgo de interacción (Fig. 2.1e, arriba). Una compañera al E es detectada, la cual está espacialmente correlacionada con la emisión de radio (referencias citadas del grupo de Boloña). El mapa de contornos (Fig. 2.2c) muestra una estructura de galaxias E y el perfil de intensidad es de la forma $r^{-1/4}$ (Fig. 2.3c).
- B2 1122+39 (NGC 3665). Galaxia elíptica con una banda de polvo del NE al SW (Fig. 2.1e, centro). Como en otros casos (p. ej. Kotanyi & Ekers 1979) la emisión en radio se encuentra casi perpendicular a la banda de polvo. Esta banda de polvo es casi paralela al eje mayor (Fig. 2.2c) lo que hace que el perfil sea diferente al típico de las galaxias elípticas. El perfil es de forma exponencial (Fig. 2.3c).
- B2 1217+29 (NGC 4278). Radiogalaxia de líneas anchas de emisión, muestra una compañera al NW en el mismo halo (Fig. 2.1e, abajo). El mapa de contornos (Fig. 2.2c) muestra distorsiones en la parte interna de la galaxia E y el perfil de intensidad muestra esta componente débil (Fig. 2.3c).
- B2 1225+26. Galaxia elíptica normal (Fig. 2.1f, arriba), con contornos distorsionados (Fig. 2.2c) con extensiones de abanico, el perfil de intensidad es más empinado que $r^{-1/4}$ (Fig. 2.3c).

- B2 1318+34. Galaxia peculiar (Fig. 2.1f, centro) con dos extensiones (*tails* al SE y SW. En la región central presenta al menos tres máximos y los contornos muestran claramente esta estructura (Fig. 2.2d). El perfil central muestra estos máximos (Fig. 2.3c).
- B2 1322+36 (NGC 5141). Nuestra imagen (Fig. 2.1f, abajo) y el mapa de contornos (Fig. 2.2d) muestran básicamente una galaxia elíptica normal y perfil de intensidad de la forma $r^{-1/4}$ (Fig. 2.3d). Signos de interacción con una compañera al NE parecen existir en contornos muy externos.
- B2 1339+26 (4C 26.41). Par de galaxias en el centro del cúmulo Abell 1775. La radio emisión es asociada con la galaxia del SE la cual es la más luminosa. Nuestras imágenes (Fig. 2.1g, arriba; y Fig. 2.2d) muestra cinco componentes en el mismo halo. La emisión del NE coincide con la emisión extendida en radio. Simon 1979 muestra que la fuente más brillante en radio corresponde a una radiogalaxia *head tail*, mientras que la del NE es una radiogalaxia *wide angle tail*. Fig. 2.3d muestra un perfil de intensidad más empinado que $r^{-1/4}$.
- B2 1346+26 (4C 26.42). Esta es la galaxia más brillante del cúmulo Abell 1795. La imagen de esta galaxias cD (Fig. 2.1g, centro) muestra una extensión al SW, también se muestra en el mapa de contornos (Fig. 2.2d). El perfil de intensidad no sigue la ley de $r^{-1/4}$ (Fig. 2.3d). Esta fuente ha sido bien estudiada por van Breugel et al. 1984, tiene emisión extendida la cual parece estar correlacionada espacialmente con el radio continuo (ver siguiente capítulo) y anticorrelacionada con la polarización en radio, similar a lo que ocurre en radiogalaxias potentes como 3C 277.3 (Miley et al. 1981).
- B2 1357+28. Esta galaxia muestra en su parte externa distorsiones que pueden ser debidas a posible interacción con dos galaxias que se observan al W (Fig. 2.1g, abajo; y Fig. 2.2d). El perfil de intensidad es de la forma $r^{-1/4}$ (Fig. 2.3d).
- B2 1422+26. Galaxia elíptica normal (Fig. 2.1h, arriba; y Fig. 2.2d) en su morfología y perfil de la forma $r^{-1/4}$ (Fig. 2.3d).

- B2 1441+26. Las imágenes de esta galaxia muestra un patrón de galaxia espiral de frente con dos compañeras al E y NE a distancias $< 30''$ (Fig. 2.1h, centro). El mapa de contornos muestra una estructura interna típica de un bulbo estelar que puede ser una barra con un patrón espiral (Fig. 2.2e). El perfil de intensidad no es de la forma $r^{-1/4}$ (Fig. 2.3d).
- B2 1557+26. Esta galaxia no muestra rasgos de fuertes peculiaridades (Fig. 2.1h, abajo); es una galaxia elíptica normal (Fig. 2.2e) con perfil de la forma $r^{-1/4}$ (Fig. 2.3e). Dado que su identificación óptica fue incierta, usamos el *Palomar Digitized Sky Survey* para verificar nuestra imagen óptica y concluimos que la fuente observada corresponde a la fuente B2.
- B2 1652+39 (4C 39.49). Esta fuente es extremadamente compacta con una nebulosidad envolvente (Fig. 2.1i, arriba). Los contornos (Fig. 2.2e) muestran una galaxia elíptica con ningún rasgo de interacción. El perfil de intensidad es de la forma $r^{-1/4}$ (Fig. 2.3e).
- B2 1658+30 (4C 30.31). Este es un par de galaxias (Fig. 2.1i, centro) en un halo común, posiblemente dos elípticas, en el cual la más luminosa es la del SW (Fig. 2.2e) y es a la que se le asocia la radio fuente. El perfil de intensidad incluye a ambas galaxias (Fig. 2.3e) y sigue la forma $r^{-1/4}$ sólo en la parte interna.
- B2 1752+32. Este es otro par de galaxias E+E (Fig. 2.1i, abajo) en un halo común, en el que la más luminosa es la del W (Fig. 2.2e) y es la asociada con la radio fuente. El perfil de intensidad incluye a ambas galaxias (Fig. 2.3e).
- B2 1833+32 (3C 382). Esta radiogalaxia presenta líneas anchas en su espectro, tiene una estructura en radio compleja (Capetti et al. 1993) y es más parecida a una fuente de tipo FR II que a una radiogalaxia débil (FR I). La imagen (Fig. 2.1j, arriba) muestra 3 galaxias compañeras cercanas (E, W y SE) a distancias $< 30''$. Los contornos elípticos (Fig. 2.2e) indican una débil interacción con la componente del W, pero el perfil de intensidad es de la forma $r^{-1/4}$ (Fig. 2.3e).

- B2 1855+37. Esta galaxia es la fuente brillante de un grupo de galaxias (Fig. 2.1j, centro), con tres compañeras cercanas (E, W y NW) a distancias $< 30''$. Los contornos muestran formas elípticas (Fig. 2.2f) y perfil de intensidad (Fig. 2.3e) indicativo de galaxia E normal.
- B2 2116+26 (NGC 7052). Las imágenes muestran una galaxia E con estructura de "caja" (Fig. 2.1j, abajo) en un campo estelar rico. Esta galaxia ha sido bien estudiada por González-Serrano & Pérez-Fournon 1992 y fue clasificada como elíptica de caja con una subestructura central. Nuestro mapa de contornos (Fig. 2.2f) muestra una posible compañera al NW a una distancia $< 15''$, el perfil de intensidad (Fig. 2.3f) indica que no es una galaxia E normal. Gallagher (1981) reporta una pequeña banda de polvo nuclear la cual no se muestra en nuestras imágenes CCD pero puede producir la emisión detectada por IRAS (Jura 1986).
- B2 2236+35. Las imágenes (Fig. 2.1k, arriba) muestran una posible galaxia cD con un grupo de galaxias en un halo común. El mapa de contornos (Fig. 2.2f) muestra que al menos 2 galaxias al SE están en el halo de la galaxia cD, pero la imagen muestra que quizás la fuente del NW está también en el halo. El perfil de intensidad (Fig. 2.3f) muestra dos máximos debidos a las compañeras. La estructura en radio (Morganti et al. 1987) muestra un doble *jet* al NE y al SW que se extienden $\sim 20''$ a cada lado.
- B2 2320+32. Esta es una galaxia clasificada como espiral, pero de nuestras observaciones mostramos que la morfología es más compleja y es semejante a una galaxia peculiar (Fig. 2.1k, centro). De la parte E del núcleo encontramos dos colas (*tails*) o estructura extendida de cáscara (Fig. 2.2f) y una compañera débil al NW. El perfil de intensidad muestra claramente la presencia de *tails* (Fig. 2.3f).
- B2 2335+26 (NGC 7720). Par de galaxias en el cúmulo Abell 2634, clasificadas morfológicamente como una galaxia D. La fuente brillante es la del sur (Fig. 2.1k, abajo). Este es un buen ejemplo de una galaxia con puente, ambas galaxias tienen un halo extendido común (Fig. 2.2f). Esta fuente es de las más estudiadas en radio ya que presenta radio *jets* "curvados" muy pronunciados. El perfil de intensidad muestra la presencia de la compañera (Fig. 2.3f).

2.6 Conclusiones

En éste capítulo presentamos imágenes ópticas en banda ancha (V, R e I) de 31 radiogalaxias débiles. Hemos obtenido: magnitudes, índices de color, propiedades morfológicas, y perfiles. Los resultados obtenidos son:

1. Las morfologías de las radiogalaxias de la muestra indican que son básicamente galaxias elípticas ($\sim 90\%$), las cuales varían desde galaxias cD hasta galaxias elípticas poco brillantes. También existen en la muestra galaxias de tipo espiral ($\sim 8.2\%$) y de tipo peculiar.
2. El $\sim 65\%$ de las galaxias huésped de la muestra observada presentan peculiaridades en su morfología óptica. El porcentaje de estas peculiaridades es comparable al encontrado en radiogalaxias potentes, $\sim 56\%$ (Heckman et al. 1986).
3. Las peculiaridades morfológicas se manifiestan como: abanicos, colas, bandas de polvo, etc., las cuales son semejantes a algunas simulaciones numéricas de interacciones o *mergers* entre galaxias. Además, algunas tienen dos o más núcleos, o dos galaxias dentro de la misma envolvente. Estas peculiaridades morfológicas se observan a diferentes escalas en la galaxia huésped, lo cual se muestran en las imágenes y en los perfiles de intensidad.
4. La presencia de galaxias compañeras a una distancia menor de 25 kpc es frecuente para las galaxias huésped de las RGDs. El $\sim 67\%$ de la muestra tiene una o más compañeras dentro de esta distancia.
5. En nuestra muestra de RGDs se encuentra que el 29% está en cúmulos de galaxias. De este porcentaje el 10% tiene halos de rayos-X detectados, de lo cual se deduce que la alimentación de gas de este halo a las partes externas de la galaxia huésped pudiera ser posible en estos casos, mientras que las demás pueden ser alimentadas de gas por algún halo intracúmulo o por la interacción entre galaxias, en la que al menos una de ellas es una galaxia rica en gas.
6. A partir de la comparación de los ángulos de posición encontramos que no existe correlación entre el continuo estelar óptico y el radio continuo sincrotrónico para las RGDs.

7. En general, estos resultados son consistentes con la visión general de las radiogalaxias (Heckman et al. 1986), en la que fuentes de alta potencia en radio se encuentran preferentemente en regiones de baja densidad de galaxias, mientras que las debilmente potentes en radio parecen existir preferentemente en regiones de alta a moderada densidad de galaxias, e incluso algunas de éstas están asociadas a galaxias cD.
8. Las peculiaridades no sólo se muestran en la morfología, sino también en los índices de color. Al comparar los índices V-R vs. R-I y V-R vs. el corrimiento al rojo de las galaxias de nuestra muestra con los de galaxias normales, encontramos que los índices R-I de nuestra muestra son más azules como en general ocurre con todos los núcleos activos de galaxias, pero además pueden tener otra contribución debida a una tasa de formación estelar intensificada debida a la fusión entre galaxias. En algunas galaxias de nuestra muestra, encontramos que tienen índices de color similares a los de galaxias HII, con lo que la posibilidad de brotes de formación estelar se ve fortalecida.

2.7 Referencias

- Aceves, H., Cruz-González, I., Carrillo, R., 1995, en preparación.
- Barnes, J., 1993, *A Beginner's Guide to Using IRAF (IRAF Version 2.10)*, beguide.ps.Z (iraf/docs directory).
- Baum S.A., Heckman, T., Bridle, A., van Breugel, W., Miley, G., 1988, *Ap. . Suppl. Ser.*, **68**, 643.
- Baum S.A., Heckman, T., 1989a, *Ap. J.*, **336**, 681.
- Baum S.A., Heckman, T., 1989b, *Ap. J.*, **336**, 702.
- Baum S.A., Heckman, T.M., van Breugel, W., 1992, *Ap. J.*, **389**, 208.
- Bessell, M. S., 1979, *P.A.S.P.*, **91**, 589.
- Bruzual, G., 1983, *Ap. J.*, **273**, 105.
- Capetti, A., Morganti, R., Parma, P., Fanti, R., 1993, *Astr. Ap. Suppl. Ser.*, **99**, 407.
- Carrillo, R., Cruz-González, I., Guichard, J., 1995b, (Cap. 3) en preparación.
- Carrillo, R., Cruz-González, I., Guichard, J., 1995c, (Cap. 4) en preparación.
- Carrillo, R., Martínez, L.A., 1995, *Reporte Técnico, Inst. de Astron. UNAM*, en preparación.
- Chambers, K., Miley, G., van Breugel, W.J.M., 1987, *Ap. J.*, **327**, L47.
- Colla, G., Fanti, C., Fanti, R., Gioia, I., Lari, C., Lequeux, J., Lucas, R., Ulrich, M.H., 1975a, *Astr. Ap.*, **38**, 209.
- Colla, G., Fanti, C., Fanti, R., Gioia, I., Lari, C., Lequeux, J., Lucas, R., Ulrich, M.H., 1975b, *Astr. Ap. Suppl.*, **20**, 1.

- Cornell, M.E., Aaronso, M., Bothun, G., Mould, J., 1987, *Ap. J. Suppl. Ser.*, **64**, 507.
- Cousin, A, W., 1976, *Mem. R.A.S.*, **81**, 25.
- de Ruiter, H.R., Parma, P., Fanti, C., Fanti, R., 1986, *Astr. Ap. Suppl. Ser.*, **65**, 111.
- de Ruiter, H.R., Parma, P., Fanti, C., Fanti, R., 1990, *Astr. Ap.*, **227**, 351.
- Fanaroff, B.L., Riley, I.M., 1974, *M.N.R.A.S.*, **167**, 31P.
- Fanti, R., Gioia, I., Lari, C., Lequeux, J., Lucas, R., 1973, *Astr. Ap.*, **24**, 69.
- Fanti, R., Gioia, I., Lari, C., Ulrich, M.H., 1978, *Astr. Ap. Suppl.*, **34**, 341.
- Fanti, C., Fanti, R., de Ruiter, H.R., Parma, P., 1986, *Astr. Ap. Suppl. Ser.*, **65**, 145.
- Fanti, C., Fanti, R., de Ruiter, H.R., Parma, P., 1987, *Astr. Ap. Suppl. Ser.*, **69**, 57.
- Ford, H.C., Butcher, H., 1979, *Ap. J. Suppl.*, **41**, 147.
- Gallagher, J.S., 1986, *PASP*, **98**, 81.
- Golombeck, D., 1992, *comunicación privada*.
- Golombeck, D., Miley, K.G., Neugebauer, G., 1990, *Astr. J.*, **95**, 26.
- González-Serrano, J.I., Carballo, R., 1993, *Astr. J.*, **105**, 1710.
- Hamuy, M., Maza, J., 1987, *Astr. Ap. Suppl. Ser.*, **68**, 383.
- Heckman, T.M., 1981, *Ap. J.*, **250**, L39.
- Heckman, T.M., Smith, E.P., Baum, S.A., van Breugel, W.J.M., Bothun, G.D., Balick, B., 1986, *Ap. J.*, **311**, 526.
- Impey, C., Gregorini, L., 1993, *Astr. J.*, **105**, 853.
- Impey, C.D., Wynn-Williams, C.G., Becklin, E.E., 1990, *Ap. J.*, **356**, 62.
- Kent, S.M., 1984, *Ap. J. Suppl.*, **56**, 105.
- Kent, S.M., Sargent, W.L.W., 1979, *Ap. J.*, **230**, 667.
- Kotanyi, C.G., Ekers, R.D., 1979, *Astr. Ap.*, **73**, L1.
- Landolt, A.U., 1983, *Astr. J.*, **88**, 439.
- Martínez, L.A., 1991, *Reporte Técnico No. 80, Inst. de Astron. UNAM*.
- Massey, P., 1992, *A User's Guide to CCD Reduction with IRAF*, ccduser2.ps.Z (iraf/docs directory).
- Massey, P., Davis, L., 1992, *A User's Guide to Stellar CCD Photometry with IRAF*, daophot2.ps.Z (iraf/docs directory).
- Mazzarella, J.M., Boroson, T.A., 1993, *Ap. J. Suppl. Ser.*, **85**, 27.
- McCarthy, P., van Breugel, W., Spinrad, H., Djorgovski, S., 1988, *Ap. J.*, **321**, L29.
- Merritt, D., de Zeeuw, T., 1983, *Ap. J.*, **267**, L19.
- Miley, G.K., Heckman, T.M., Butcher, H., van Breugel, W.J.M., 1981, *Ap. J.*, **247**, L5.
- Moles, M., García-Pelayo, J.M., Masegosa, J., Aparicio, A., Quintana, J.M., 1985, *Astr. Ap.*, **152**, 271.
- Morganti, R., Fanti, C., Fanti, R., Parma, P., de Ruiter, H.R., 1987, *Astr. Ap.*, **183**, 203.
- Parma, P., de Ruiter, H.R., Fanti, C., Fanti, R., 1986, *Astr. Ap. Suppl. Ser.*, **64**, 135.
- Parma, P., Fanti, C., Fanti, R., Morganti, R., de Ruiter, H.R., 1987, *Astr. Ap.*, **181**, 244.
- Peña, M., Ayala, S., 1993, *Rev. Mex. Astron. Astrophys.*, **27**, 171.
- Poulin, P., 1988, *Astr. Ap. Suppl. Ser.*, **72**, 215.
- Quinn, P.J., 1984, *Ap. J.*, **279**, 596.
- Quinn, P.J., 1989, *En: ESO Workshop on Extranuclear Activity in Galaxies*, eds. Meur, E.J.A. & Fosbury, R.A.E., *ESO Conf. and Workshop Proc. No. 32 Garching*, p. 347.

- Quinn, P.J., Herquist, L., 1987, *En: Structure and Dynamics of Elliptical Galaxies, IAU Symposium 107.*, Ed. de Zeeuw, T., D. Reidel Publishing Company, p. 249.
- Rocca-Volmerange, B., Guiderdoni, B., 1987, *En: Starbursts and Galaxy Evolution*, ed. Thuan, T.X., Montmerle, T., Tran Thanh Van, J., Editions Frontières, p. 501.
- Sandage, A., 1973, *Ap. J.*, **183**, 711.
- Savage, B.D., Mathis, J.S., 1979, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **17**, 73.
- Schuster, W.J., 1982, *Rev. Mex. Astron. Astrophys.*, **5**, 149.
- Simon, A.J.B., 1979, *M.N.R.A.S.*, **188**, 637.
- Smith, E.P., Heckman, T.M., 1989a, *Ap. J. Suppl. Ser.*, **69**, 365.
- Smith, E.P., Heckman, T.M., 1989b, *Ap. J.*, **341**, 658.
- Toomre, A., Toomre, J., 1972, *Ap. J.*, **178**, 623.
- Toomre, A., 1977, *En: The Evolution of Galaxies and Stellar Populations*, ed. Tinsley, B.M., Larson, R.B., New Haven: Yale University Observatory, p.401.
- van Breugel, W., Heckman, T., Miley, G., 1984, *Ap. J.*, **276**, 79.
- Whitford, A.E., 1971, *Ap. J.*, **169**, 215.

2.8 Tablas y Figuras

2.8.1 Tablas

TABLA 2.1
Muestra de Radiogalaxias Débiles

Fuente B2	Otro nombre	z	Coordenadas (1950)		m	Morph.	Tipo de Muestra	Comentarios
0034+25		0.0321	00 34 26.8	25 25 26	14.80 ^a		B	
0055+26	NGC326	0.0472	00 55 40.7	26 35 44	12.50 ^a	D	B	grupo de gal.
0116+31	4C 31.04	0.0592	01 16 47.1	31 55 07	15.70 ^a	DB	B	grupo de gal.
0120+33	NGC507	0.0164	01 20 50.7	32 59 45	13.00 ^a	E	B	grupo de gal.
0206+35	4C 35.03	0.0375	02 06 39.3	35 33 41	14.90 ^a	D	B	
0331+39	4C 39.12	0.0202	03 31 01.0	39 11 25	14.20 ^a	E	B	
0838+32	4C 32.26	0.0680	08 38 06.8	32 35 39	14.80 ^b	E2	F	par de gal.
0913+38		0.0711	09 13 39.1	38 30 41	15.70 ^b		F	
0916+33		0.0500	09 16 50.1	33 07 54	15.70 ^a	Sc	B	
1108+27		0.0331	11 08 43.4	27 14 06	14.60 ^a	E	B	
1116+28		0.0667	11 16 19.1	28 10 32	14.30 ^b		F	
1122+39	NGC3665	0.0067	11 22 01.4	39 02 19	11.60 ^a	E2	B	
1217+29	NGC4278	0.0021	12 17 36.6	29 33 29	11.20 ^a	E	B	BLRG
1225+26		0.0636	12 25 03.5	26 30 24	16.10 ^b		F	
1318+34		0.0232	13 18 16.9	34 23 56	14.80 ^a		B	galaxia peculiar
1322+36	NGC5141	0.0175	13 22 35.4	36 38 19	13.90 ^a	D	B	
1339+26	4C 26.41	0.0688	13 39 30.7	26 37 20	14.20 ^b	SE	F	
1346+26	4C 26.42	0.0633	13 46 35.0	26 50 30	15.50 ^a	CD	B	Abell 1795
1357+28		0.0629	13 57 45.2	28 44 28	14.60 ^b		F	
1422+26		0.0370	14 22 26.5	26 51 26	15.60 ^a	E2	B	
1441+26		0.0621	14 41 53.9	26 13 51	14.30 ^b		F	
1557+26		0.0442	15 57 45.9	26 04 51	14.30 ^b		F	
1652+39	4C 39.49	0.0337	16 52 11.8	39 50 25	13.70 ^a	N	B	MK501
1658+30	4C 30.31	0.0351	16 58 48.9	30 12 32	15.10 ^b		F	par de gal.
1752+32		0.0449	17 52 44.5	32 34 45	14.30 ^b		F	
1833+32	3C 382	0.0586	18 33 12.0	32 39 18	15.50 ^a	D3	B	BLRG
1855+37		0.0552	18 55 54.3	37 56 27	14.90 ^a		B	grupo de gal.
2116+26		0.0164	21 16 20.7	26 14 08	14.00 ^a	E	B	
2236+35		0.0277	22 36 12.3	35 04 11	15.00 ^a	E	B	grupo de gal.
2320+32		0.0177	23 20 43.4	32 15 09	14.50 ^a	S	B	
2335+26	NGC7720	0.0301	23 35 59.0	26 45 15	13.90 ^a	D	B	Abell 2634

^a magnitud fotográfica

^b magnitud visual

TABLA 2.2
Estrellas Estándares Fotométricas

Fecha de Observación	Estrellas Estándares de Landolt
Abril 1991	99-340, 99-438, 105-447, 105-448, 109-231.
Septiembre 1991	109-1082, 111-2864, 115-349.
Marzo 1992	96-405, 96-406, 97-346.
Junio 1992	104-305, 104-306.
Julio 1992	104-461, 106-485.
Septiembre 1992	114-473.
Octubre 1992	114-473.
Abril 1993	101-24.
Septiembre 1993	92-336, 111-773, 111-775.

TABLA 2.3
Observaciones CCD de Radiogalaxias Débiles

Fuente B2	Fecha de Obser.	Filtros de Banda Ancha	Tiempo de Integración (s)	FWHM de PSF (")
0034+25	93 sep ¹	V	30	1.5
		R	20	1.3
		I	20	1.4
0055+26	92 oct ¹	V	180	1.4
		R	20	1.6
		I	20	1.4
0116+31	92 oct ¹	V	240	1.4
		R	180	1.3
		I	180	1.5
0120+33	93 sep ¹	V	600	1.9
		R	480	2.4
		I	300	2.2
0206+35	93 sep ¹	V	600	1.5
		R	300	1.6
		I	180	1.5
0331+39	93 sep ¹	V	300	1.4
		R	300	1.4
		I	300	1.5
0838+32	91 abr ²	V	600	1.8
		R	600	2.1
		I	600	1.8
0913+38	92 mar ¹	V	600	1.7
		R	600	1.5
		I	600	1.1
0916+33	92 oct ¹	V	600	1.8
		R	300	1.5
		I	480	1.8
1108+27	91 abr ²	V	600	1.9
		R	600	2.2
		I	600	2.0
1116+28	92 mar ¹	V	600	1.2
		R	300	1.3
		I	120	1.0
1122+39	91 abr ²	V	600	2.4
		R	600	1.8
		I	600	2.2
1217+29	91 abr ²	V	600	2.2
		R	600	1.7
		I	150	1.5

TABLA 2.3
Continuación

Fuente B2	Fecha de Obser.	Filtros de Banda Ancha	Tiempo de Integración (s)	FWHM de PSF (")
1225+26	92 mar ¹	V	600	1.6
		R	300	1.5
		I	240	1.3
1318+34	91 abr ²	R	600	1.8
		I	600	1.6
1322+36	91 abr ²	R	600	1.8
		I	600	1.6
1339+26	93 abr ¹	V	300	1.6
	92 mar ¹	R	600	1.7
1346+26	93 abr ¹ 92 mar ¹	I	600	1.3
		V	120	2.0
		R	120	1.7
1357+28	93 abr ¹ 91 abr ²	I	120	1.2
		V	600	1.6
		R	600	2.0
1422+26	92 jun ¹	I	600	2.3
		R	300	2.0
		I	300	2.0
1441+26	91 abr ²	V	600	1.9
		R	600	1.9
		I	600	1.6
1557+26	92 jul ¹	V	180	1.4
		R	300	1.3
		I	240	1.4
1652+39	93 abr ¹	V	180	1.3
	92 mar ¹	R	120	1.7
	I	60	1.4	
1658+30	93 abr ¹	V	300	1.8
	92 jun ¹	R	300	2.3
	I	300	2.2	
1752+32	91 sep ²	V	600	2.1
		R	600	2.1
		I	600	2.2
1833+32	91 sep ²	V	600	2.0
		R	600	2.2
		I	600	1.9
1855+37	91 sep ²	V	600	2.0
		R	600	2.1
		I	600	1.9

TABLA 2.3
Continuación

Fuente B2	Fecha de Obser.	Filtros de Banda Ancha	Tiempo de Integración (s)	FWHM de PSF (")
2116+26	92 oct ¹	V	45	1.6
		R	40	1.6
		I	30	1.7
2236+35	93 sep ¹	V	240	1.7
		R	300	1.6
		I	120	1.5
2320+32	91 sep ²	V	600	2.1
		R	600	1.9
		I	600	2.0
2335+26	91 sep ²	V	600	2.3
		R	600	2.1
		I	600	2.0

¹ Tamaño del CCD: 1024×1024

² Tamaño del CCD: 384×576

TABLA 2.4
Fotometría de RGDs

Fuente B2	R (mag)	V-R (mag)	R-I (mag)
0034+25	13.37 ±0.04	0.63 ±0.01	0.65 ±0.01
0055+26A	12.93 ±0.01	0.77 ±0.01	0.71 ±0.01
0116+31	13.73 ±0.01	0.64 ±0.02	0.69 ±0.02
0120+33	11.67 ±0.02	0.91 ±0.04	0.93 ±0.04
0206+35	12.91 ±0.01	0.65 ±0.04	0.68 ±0.03
0331+39	12.66 ±0.01	0.70 ±0.01	1.00 ±0.01
0838+32A	14.00 ±0.01	0.61 ±0.02	1.01 ±0.02
0913+38	15.21 ±0.01	0.41 ±0.01	0.79 ±0.01
0916+33A	15.02 ±0.01	-0.90 ±0.01	1.46 ±0.01
1108+27A	12.79 ±0.01	0.43 ±0.01	0.58 ±0.01
1116+28	14.75 ±0.01	-0.90 ±0.02	1.75 ±0.02
1122+39	10.55 ±0.01	0.47 ±0.01	-0.24 ±0.01
1217+29A	10.04 ±0.01	0.54 ±0.01	0.51 ±0.01
1225+26	15.56 ±0.02	0.53 ±0.04	-0.37 ±0.04

TABLA 2.4
Continuación

Fuente B2	R (mag)	V-R (mag)	R-I (mag)
1318+34A	14.49 ±0.02		0.38 ±0.04
1322+36	12.37 ±0.01		0.98 ±0.01
1339+26A	12.98 ±0.01	1.11 ±0.01	0.41 ±0.01
1346+26	13.43 ±0.02	1.10 ±0.04	0.15 ±0.04
1357+28	14.35 ±0.02	0.31 ±0.04	0.58 ±0.04
1422+26	13.86 ±0.01		0.56 ±0.02
1441+26	14.20 ±0.04	0.45 ±0.04	0.63 ±0.06
1557+26	14.17 ±0.03	0.55 ±0.04	0.82 ±0.05
1652+39	12.61 ±0.02	1.01 ±0.04	0.83 ±0.04
1658+30A	13.13 ±0.04	1.59 ±0.03	0.44 ±0.03
1752+32A	14.68 ±0.01	-0.34 ±0.01	1.58 ±0.01
1833+32	13.69 ±0.03	0.77 ±0.05	0.42 ±0.05
1855+37	13.55 ±0.01	0.34 ±0.01	0.74 ±0.01

TABLA 2.4
Continuación

Fuente B2	R (mag)	V-R (mag)	R-I (mag)
2116+26	12.92 ± 0.03	0.52 ± 0.01	0.94 ± 0.01
2236+35A	13.72 ± 0.03	0.65 ± 0.01	0.68 ± 0.01
2320+32	13.69 ± 0.02	0.52 ± 0.04	0.45 ± 0.04
2335+26A	12.72 ± 0.01	0.73 ± 0.01	0.67 ± 0.01

TABLA 2.5
Morfología de RGDs

Fuente B2	r (kpc)	e	AP (°)
0034+25	9.9 ±0.7	0.07 ±0.01	158 ±0
0055+26A	22.6 ±2.9	0.07 ±0.02	115 ±8
0055+26B		0.04 ±0.01	108 ±3
0116+31	26.9 ±0.4	0.15 ±0.01	38 ±2
0120+33	20.7 ±0.2	0.02 ±0.02	9 ±0
0206+35	25.4 ±0.4	0.08 ±0.01	128 ±6
0331+39	15.9 ±0.2	0.08 ±0.01	118 ±3
0838+32A	27.5 ±1.5	0.13 ±0.02	134 ±12
0838+32B		0.27 ±0.01	44 ±9
0838+32a		0.21 ±0.01	46 ±10
0838+32b		0.26 ±0.02	49 ±7
0913+38	8.3 ±0.4	0.08 ±0.01	33 ±8
0916+33A	20.3 ±0.8	0.05 ±0.018	36 ±8
0916+33B		0.06 ±0.02	166 ±0
1108+27A	19.3 ±1.1	0.06 ±0.03	178 ±3
1108+27B		0.08 ±0.04	111 ±7

TABLE 2.5
Continuación

Fuente B2	r (kpc)	e	ΔP (s)
1116+28	8.5 ± 0.4	0.09 ± 0.00	14 ± 7
1122+39	33.2 ± 0.2	0.11 ± 0.03	32 ± 3
1217+29A	28.7 ± 0.2	0.06 ± 0.01	37 ± 15
1217+29a		0.15 ± 0.06	63 ± 7
1225+26	5.2 ± 0.4	0.12 ± 0.02	121 ± 7
1318+34A	20.6 ¹ ± 0.2	0.13 ± 0.03	157 ± 2
1318+34a		0.07 ± 0.02	37 ± 9
1322+36	13.5 ± 0.1	0.12 ± 0.00	66 ± 1
1339+26A	21.8 ± 0.8	0.06 ± 0.02	149 ± 3
1339+26B		0.08 ± 0.01	129 ± 3
1346+26	25.5 ± 0.4	0.07 ± 0.04	51 ± 2
1357+28	23.6 ± 0.9	0.08 ± 0.03	110 ± 4
1422+26	19.2 ± 1.1	0.17 ± 0.05	136 ± 5
1441+26	18.8 ± 0.6	0.06 ± 0.07	36 ± 9
1557+26	12.0 ± 0.4	0.07 ± 0.04	89 ± 2

TABLE 2.5
Continuación

Fuente B2	r (kpc)	e	AP ($^{\circ}$)
1652+39	10.0 ± 0.1	0.12 ± 0.02	131 ± 1
1658+30A	14.7 ± 0.5	0.15 ± 0.03	138 ± 1
1658+30B		0.07 ± 0.02	135 ± 1
1752+32A	21.2 ± 0.8	0.11 ± 0.02	90 ± 4
1752+32B		0.13 ± 0.01	83 ± 11
1833+32	21.2 ± 1.6	0.09 ± 0.04	89 ± 11
1855+37	21.3 ± 0.7	0.05 ± 0.02	58 ± 7
2116+26	10.4 ± 0.3	0.07 ± 0.01	63 ± 10
2236+35A	7.0 ± 0.1	0.06 ± 0.01	166 ± 9
2236+35a		0.22 ± 0.05	110 ± 6
2236+35b		0.13 ± 0.02	118 ± 5
2320+32	6.8 ± 0.1	0.15 ± 0.02	108 ± 6
2335+26A	21.5 ± 0.5	0.03 ± 0.02	22 ± 4
2335+26B		0.05 ± 0.02	135 ± 18

¹radio incluyendo la "cola"

TABLA 2.6
Propiedades Morfológicas Ópticas de RGDs

Fuente B2	Peculiaridad	Fuente B2	Peculiaridad
0034+25	NE	1339+26	CE, B, F
0055+26	CE, B	1346+26	T
0116+31	CE, F, BI	1357+28	NE
0120+33	CE	1422+26	NS
0206+35	D	1441+26	NE
0331+39	NE	1557+26	NE
0838+32	CE, B	1652+39	NE
0913+38	CE, F	1658+30	CE, B
0916+33	CE, B	1752+32	CE, B
1108+27	CE, B	1833+32	NE
1116+28	NE, BI	1855+37	NE
1122+39	D	2116+26	CE, BI
1217+29	CE	2236+35	CE, B, F, BI
1225+26	F	2320+32	S; 2T
1318+34	2T, CE, BI	2335+26	CE, B
1322+36	NE		

- B* Puente entre la radiogalaxia y una compañera
CE Radiogalaxia y compañera inmersas en un envolvente común
D Bandas o "parches" de polvo
T, 2T Una o dos colas ("tails") presentes
F, 2F Uno o dos abanicos ("fans") presentes
S Cascaras ("shells")
NE Galaxias elípticas normales
ND Galaxias espirales normales
BI Isofotas en forma de caja

TABLE 2.7
Propiedades de la Emisión de Radio de RGDs

Fuente B2	Extensión ($^{\circ}$)	AP ($^{\circ}$)	Fuente B2	Extensión ($^{\circ}$)	AP ($^{\circ}$)
0034+25	40 E _{jet}	90	1346+26	10 Ext.	21
	40 W _{jet}		1357+28	28 N _{jet}	180
0055+26	2.3 EW _{Ext.}	94		26 S _{jet}	
0116+31	core		1422+26	24 E _{jet}	~ 93
0120+33	60 E _{lob.}	~ 98		27 W _{jet}	
	60 W _{lob.}			50 E _{lob.}	
0206+35	34 SE _{jet}	~124		60 W _{lob.}	
	33 NW _{jet}		1441+26	120 E _{lob.}	~ 70
0331+39	68 Halo	165		80 W _{lob.}	
0838+32	110 W _{tail}	~80	1557+26	2.3 A	~ 64
	15 NE _{wing}	~ 25		0.8 B	~102
0913+38	> 8 E	~ 90	1652+39	core	97
	17 W		1658+30	48 SW _{jet}	~125
0916+33	core			80 NE _{lob.}	~ 65
1108+27	25 E _{jet}	~ 80		70 SE _{lob.}	
	40 W _{jet}		1752+32	~25 NE _{jet}	~ 55
1116+28	50 E _{jet}	~ 80		~40 SW _{jet}	
	75 W _{jet}	~65	1833+32	90 NE _{lob.}	~ 59
1122+39	34 SE _{jet}	~130		~50 SW _{lob.}	
	40 NW _{jet}		1855+37	6 N _{lob.}	15
1217+29	~0.03 Halo	~60		2 S _{lob.}	44
1225+26	< 30 A	~ 0	2116+26	40 N _{jet}	22
	< 20 B	~ 0		40 S _{jet}	
1318+34	core	146	2236+35	24 NE _{jet}	44
1322+36	27 S _{jet}	~ 0		22 SW _{jet}	
	22 N _{lob.}		2335+26	360 NS _{tail}	180
	25 S _{lob.}			324 EW _{tail}	
1339+26	198 HT ¹	~ 25			
	24 WAT ²				

¹HT Radiogalaxia Head Tail

²WAT Radiogalaxia Wide Angle Tail

TABLA 2.8
Diferencias de AP Optico con Radio para RGDs

Fuente B2	ΔAP (°)	Fuente B2	ΔAP (°)
0034+25	68	1339+26A	124
0055+26	21	1346+26	30
0116+31	—	1357+28	70
0120+33	89	1422+26	43
0206+35	4	1441+26	34
0331+39	47	1557+26A	25
0838+32A	34	1652+39	—
0838+32B	19	1658+30A	83
0913+38	57	1658+30B	70
0916+33	—	1752+32A	35
1108+27A	98	1833+32	30
1116+28	66	1855+37A	43
1122+39	98	2116+26	41
1217+29A	84	2236+35A	122
1225+26A	121	2320+32	—
1318+34	—	2335+26A	158
1322+36	66		

TABLA 2.9
RGDs Asociadas a Grupos o Cúmulos

Fuente B2	Cúmulo o Grupo Asociado
0055+26	Grupo de Galaxias
0116+31	Grupo de Galaxias
0120+33	Zwicky 0107+3212 (Grupo de Piscis)
0838+32	Abell 695
1339+26	Abell 1775
1346+26	Abell 1795
1855+37	Grupo de Galaxias
2236+35	Grupo de Galaxias
2335+26	Abell 2634

TABLA 2.10
Emisión en Rayos X¹ de RGDs Asociadas a Cúmulos

Fuente B2	Cúmulo Asociado	L_{ray-X} < 3' (ergs/s)	R_{ray-X} (')	R_{Opt} (')	e
1339+26	Abell 1775	1.26×10^{44}	$3.2 (0.38)^2$	$2.4 (0.26)^2$	1.0 ± 0.1
1346+26	Abell 1795	5.01×10^{44}	$2.2 (0.20)^2$	$2.6 (0.25)^2$	1.1 ± 0.1
2335+26	Abell 2634	3.39×10^{42}	$12.4 (0.63)^2$		1.4 ± 0.1

¹ 0.5 a 3 Kev.

² Tamaño lineal en Mpc., con $H_0 = 100 \text{ Km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$

2.8.2 Figuras

Fig. 2.1 Imágenes en banda ancha de las 31 galaxias de nuestra muestra. Las imágenes se presentan en secuencia de izquierda a derecha de los filtros I, R y V, respectivamente. Para cada galaxia la orientación es: N arriba y E a la izquierda. La barra que se muestra corresponde a 15". En los casos en que se observó en diferentes temporadas se indica en ambas figuras la barra de 15". Estos casos son: B2 1339+26, B2 1346+26, B2 1357+28, B2 1652+39.

Las siguientes figuras corresponden a la secuencia de imágenes:

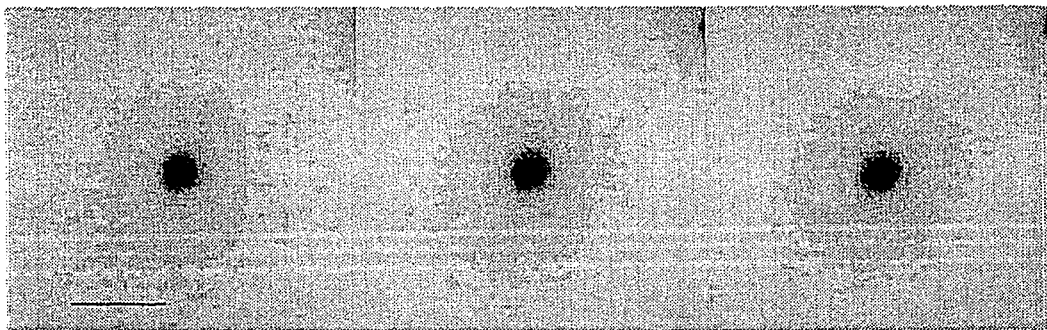


Fig. 2.1a B2 0034+25.

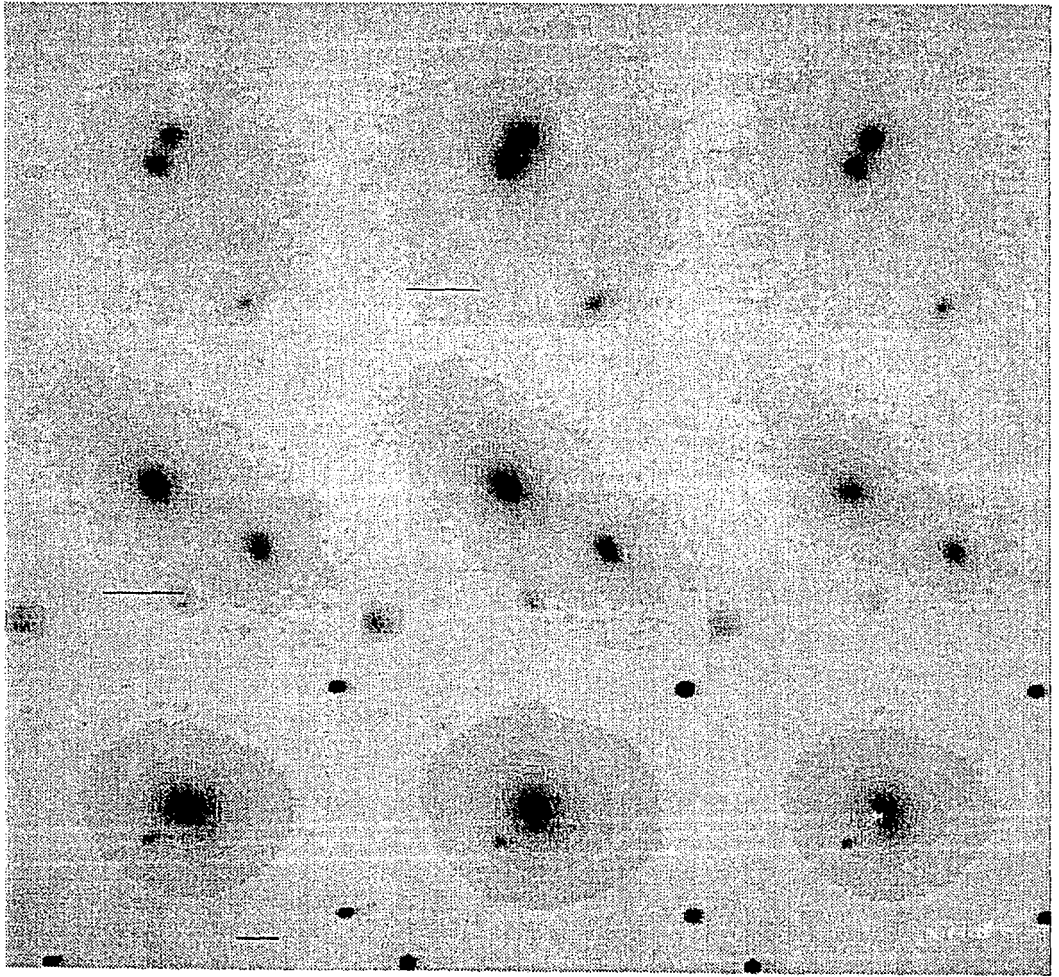


Fig. 2.1b B2 0055+26, B2 0116+31, B2 0120+33.

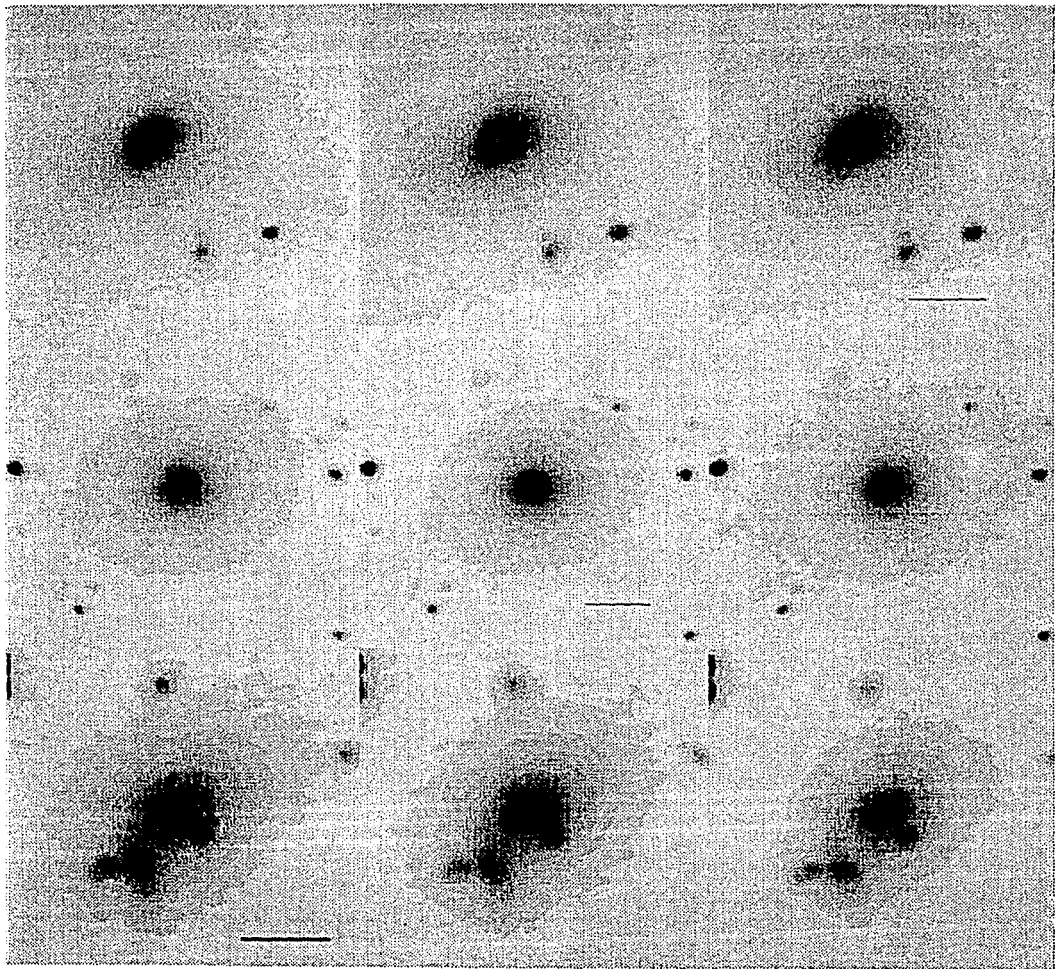


Fig. 2.1c B2 0206+35, B2 0331+39, B2 0838+32.

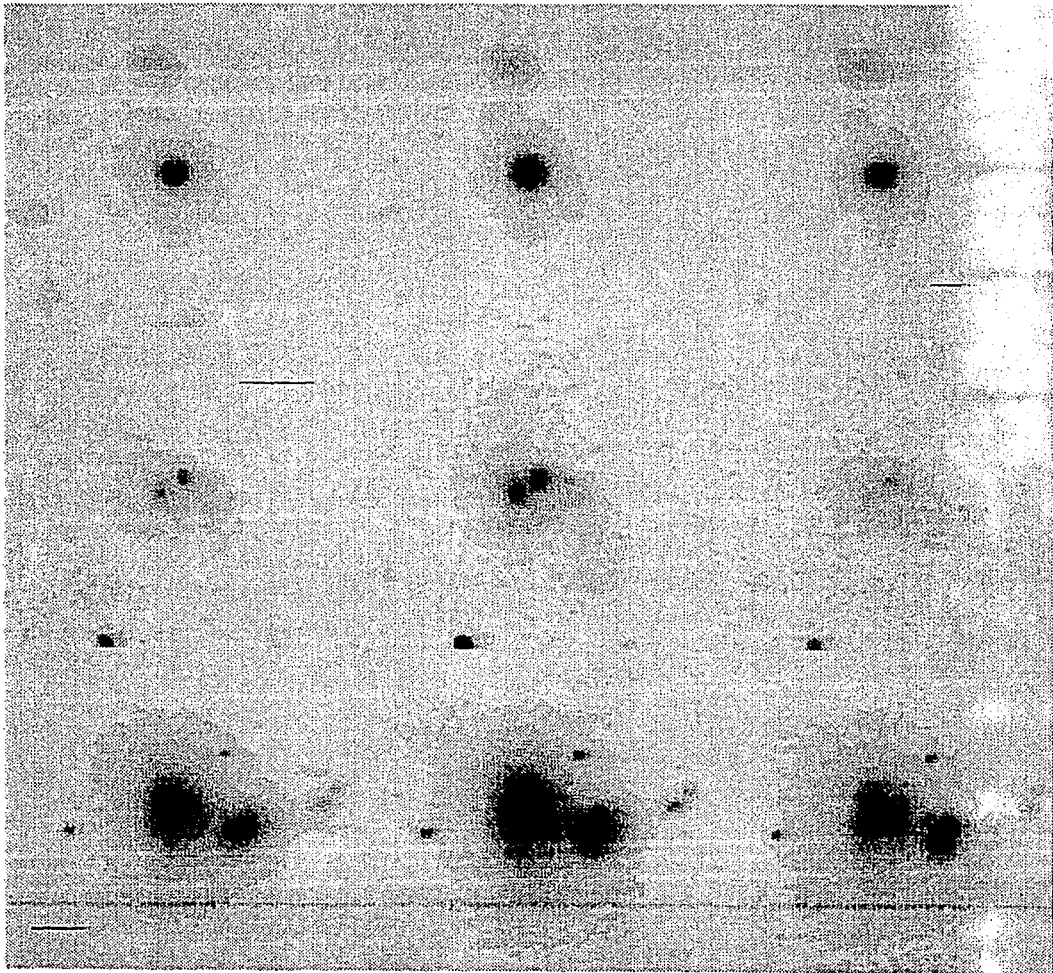


Fig. 2.1d B2 0913+38, B2 0916+33, B2 1108+27.

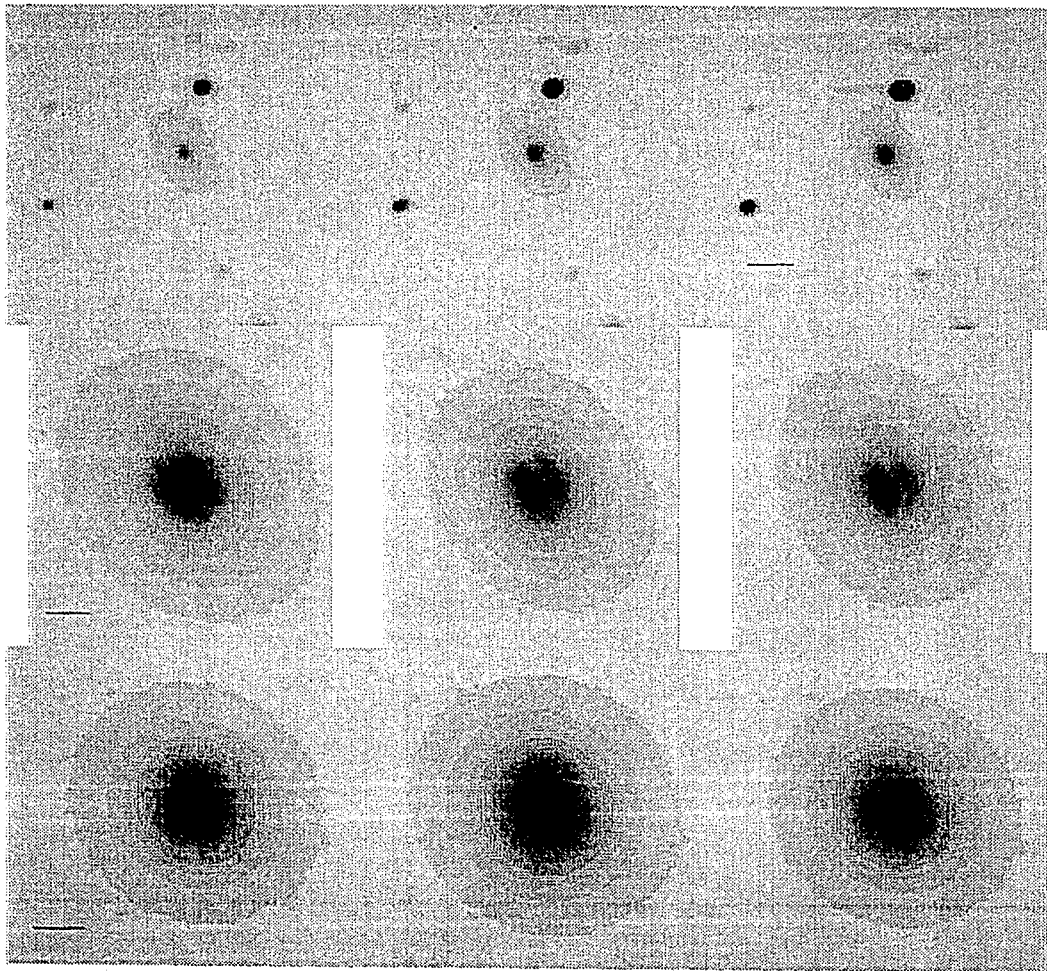


Fig. 2.1e B2 1116+28, B2 1122+39, B2 1217+29.

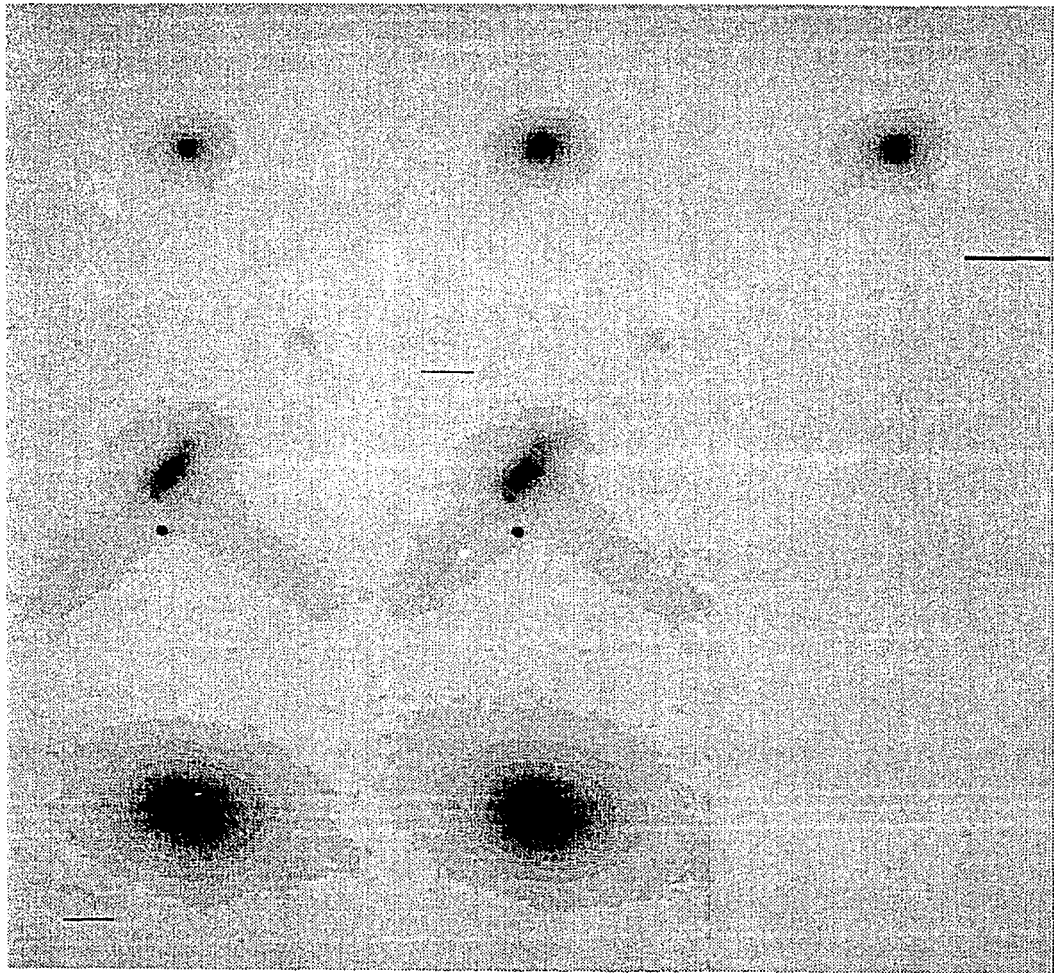


Fig. 2.1f B2 1225+26, B2 1318+34, B2 1322+36.

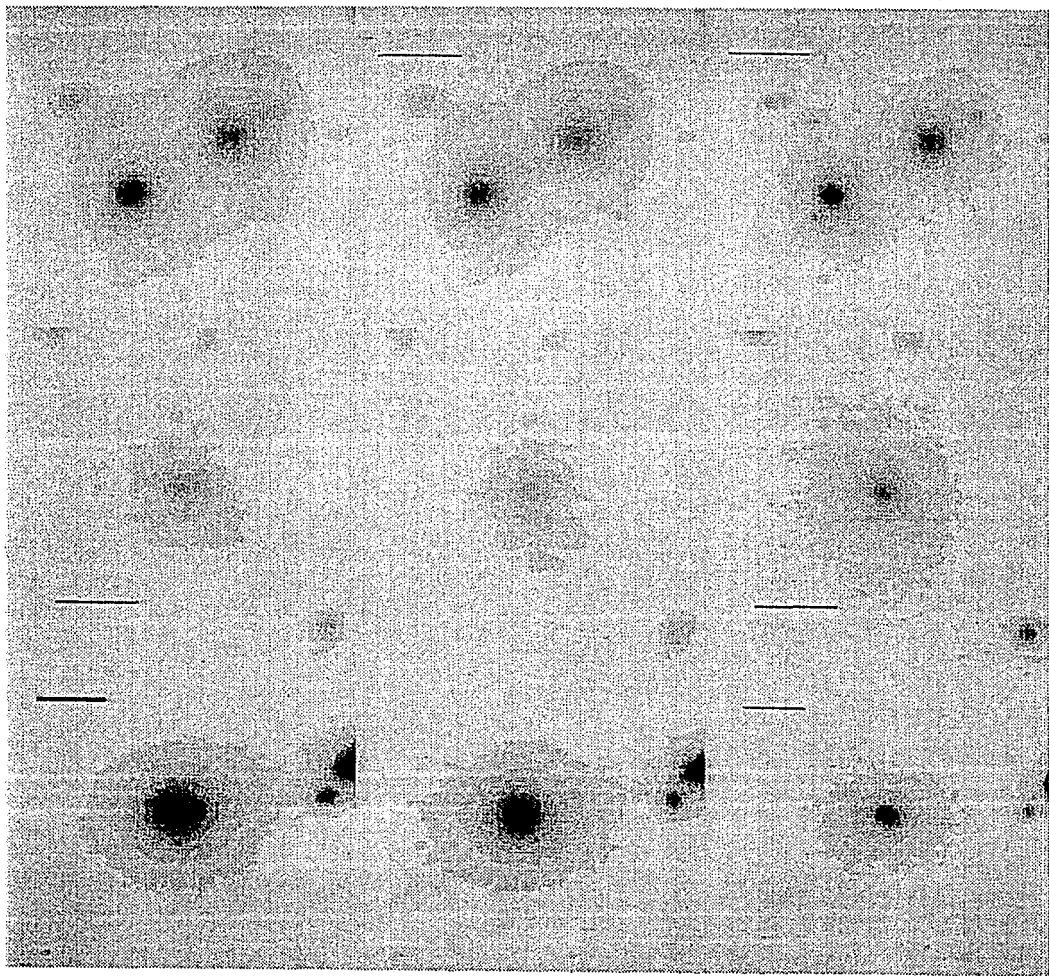


Fig. 2.1g B2 1339+26, B2 1346+26, B2 1357+28.

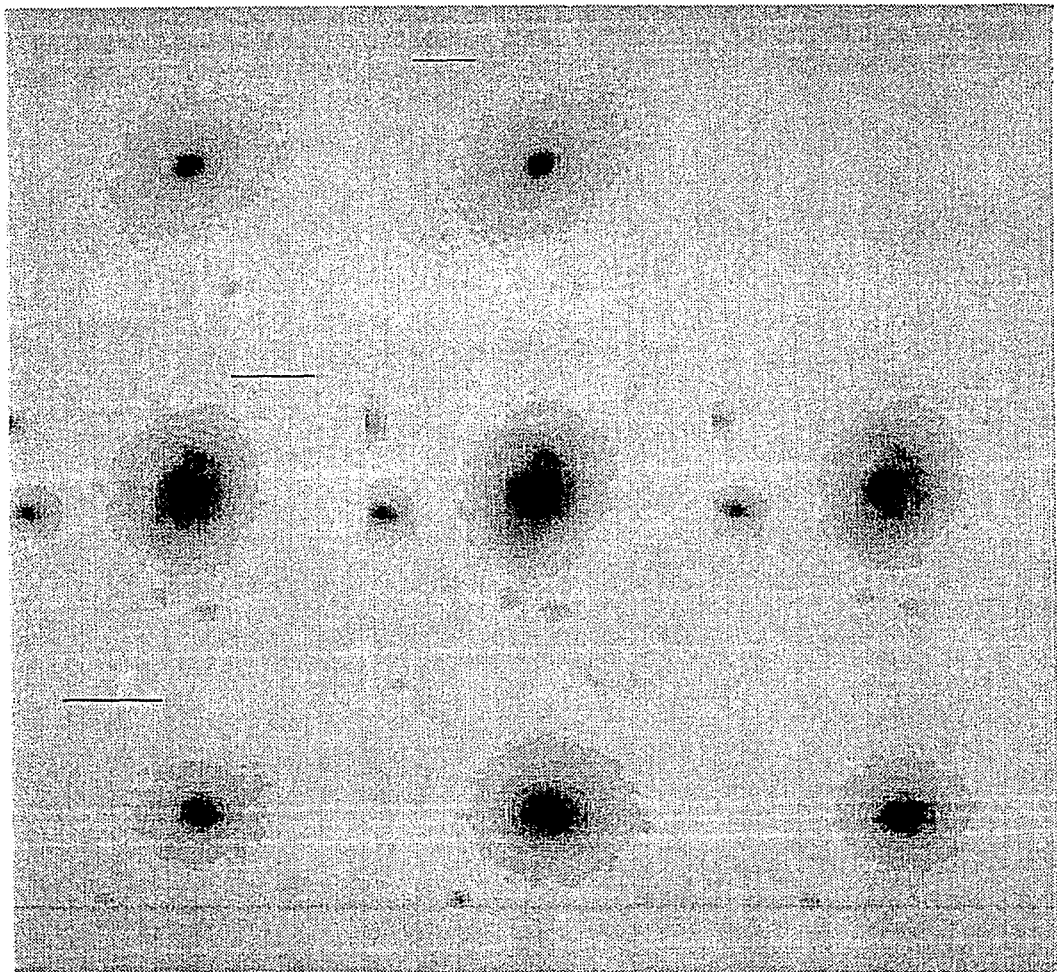


Fig. 2.1h B2 1422+26, B2 1441+26, B2 1557+26.

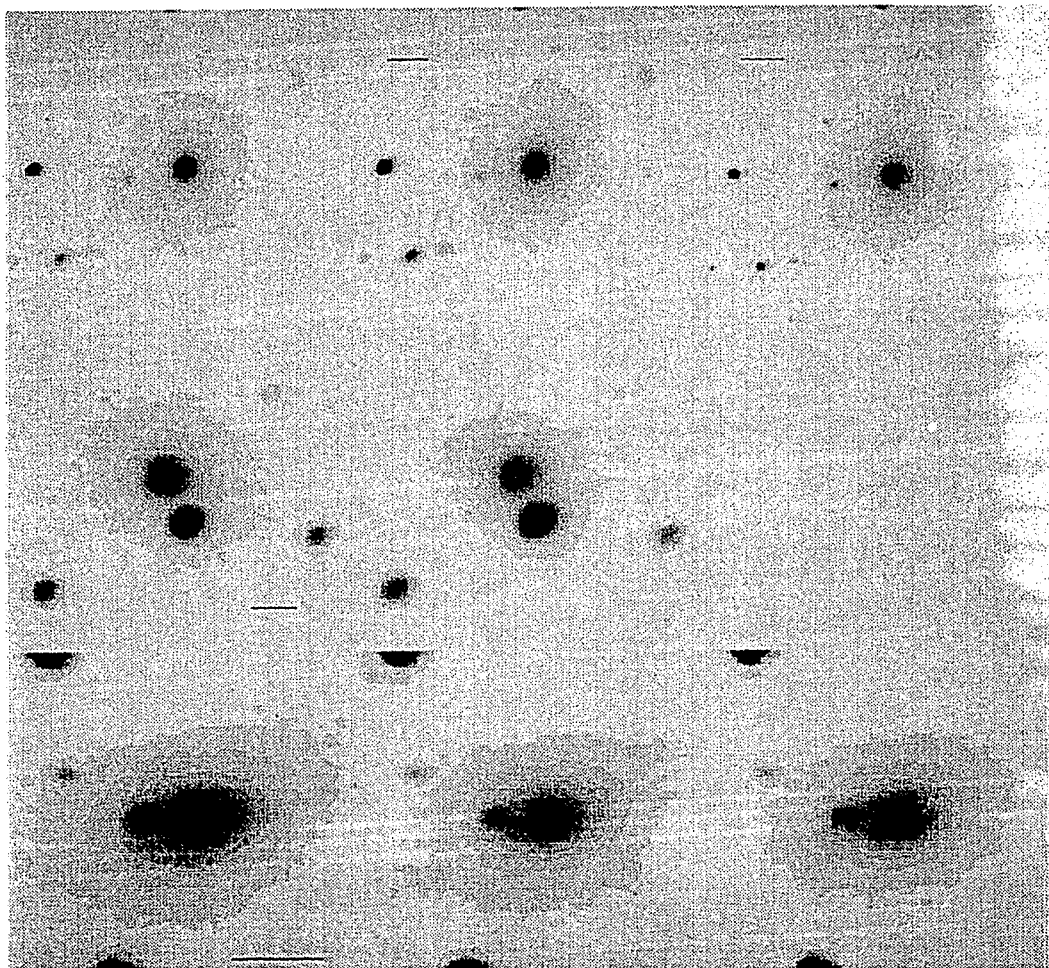


Fig. 2.1i B2 1652+39, B2 1658+30, B2 1752+32.

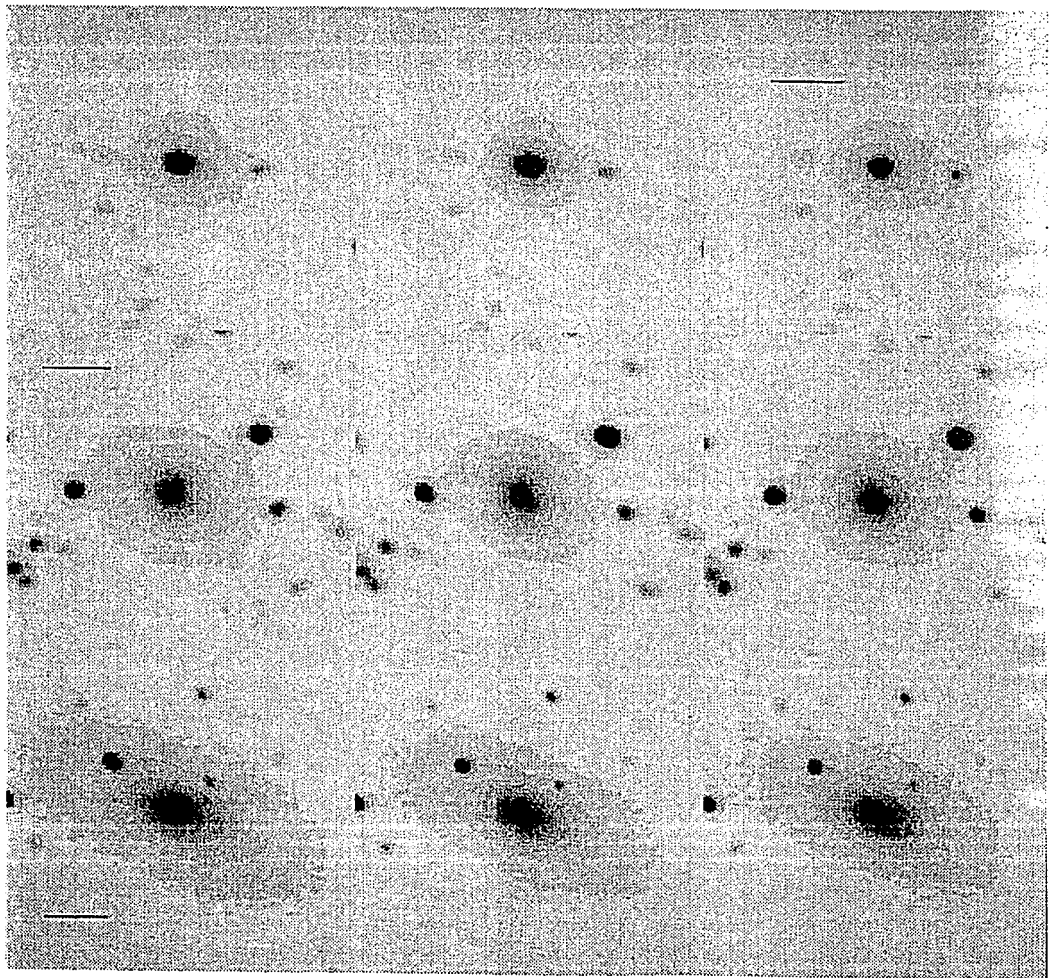


Fig. 2.1j B2 1833+32, B2 1855+37, B2 2116+26.

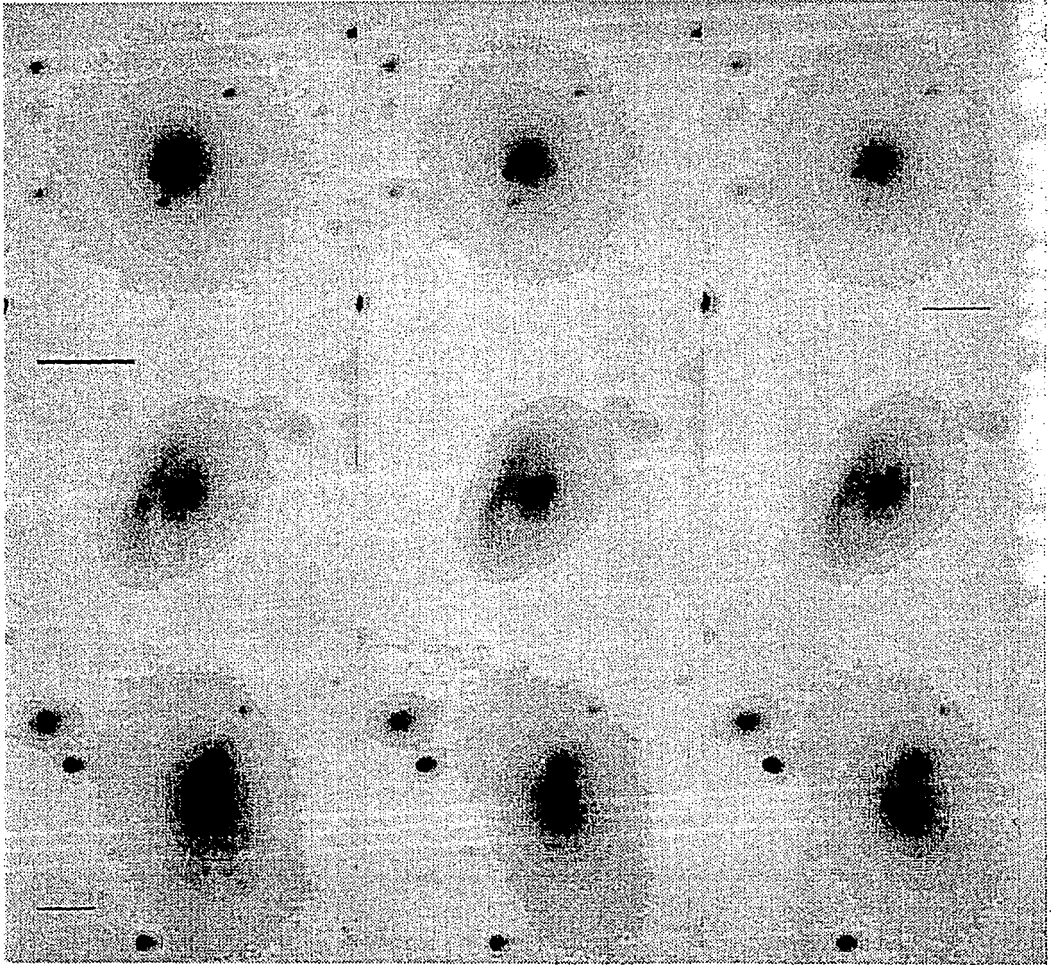


Fig. 2.1k B2 2336+35, B2 2320+32, B2 2335+26.

Fig. 2.2 Mapas de isocontornos de las galaxias de la muestra estudiada en el filtro R. En fuentes con multicomponentes se indican cada uno de estos usando la convención: núcleos de magnitud comparable, indicados con letras mayúsculas en orden decreciente en magnitud (A, B, ...); componentes de menor intensidad (hot spots) los cuales los identificamos con letras minúsculas de igual forma de manera decreciente en magnitud (a, b, ...).

Las siguientes figuras corresponden a la secuencia de imágenes:

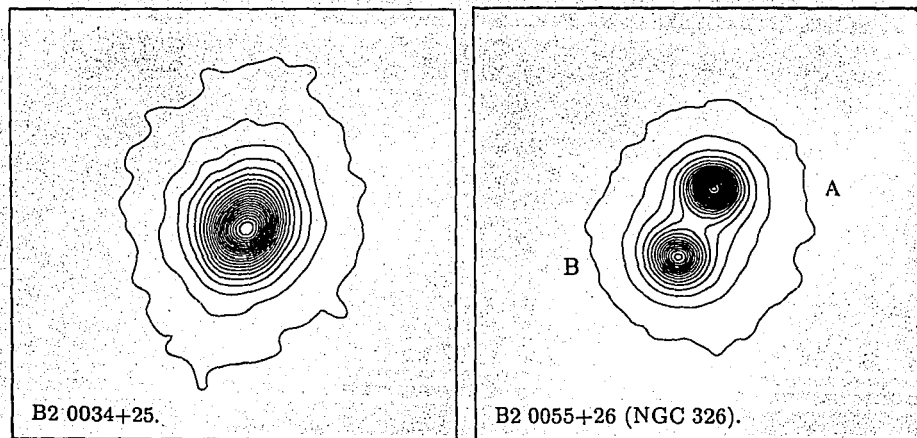


Fig. 2.2a B2 0034+25, B2 0055+26.

1985 JUN 10 10 10 10
10 10 10 10 10 10

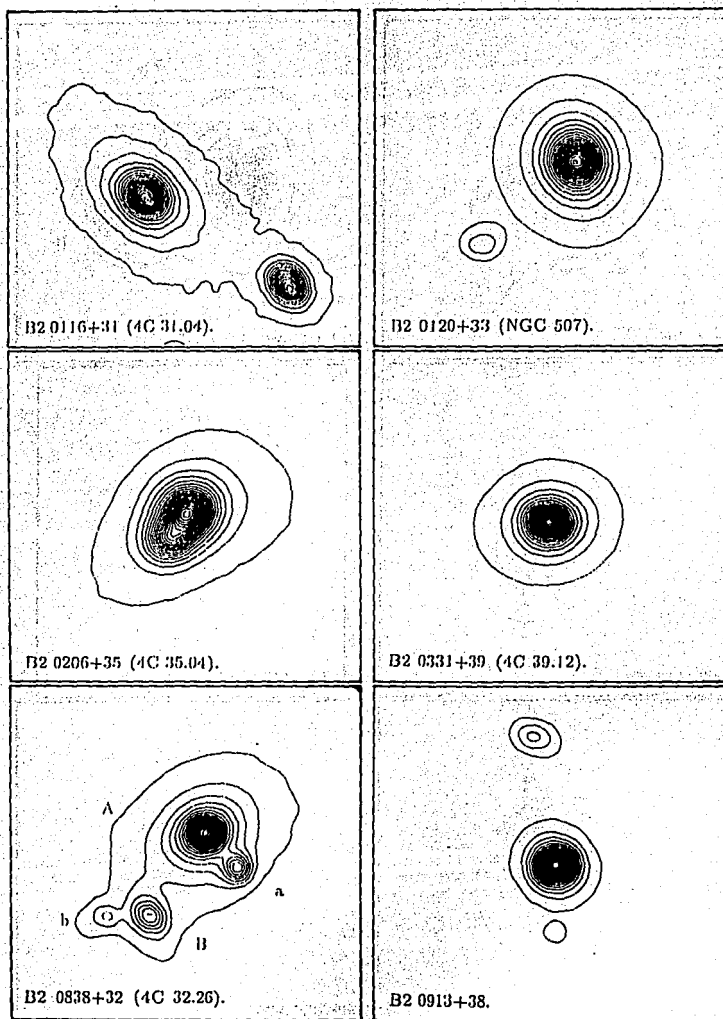


Fig. 2.2b B2 0116+31, B2 0120+33, B2 0206+35, B2 0331+39, B2 0838+32, B2 0913+38.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

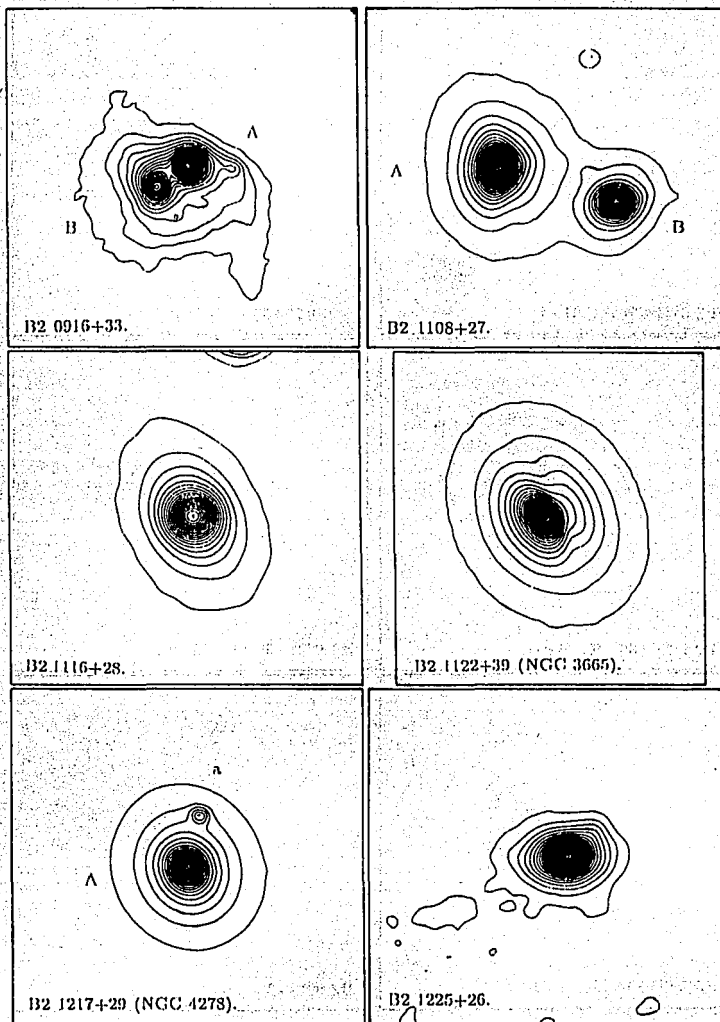


Fig. 2.2c B2 0916+33, B2 1108+27, B2 1116+28, B2 1122+39, B2 1217+29, B2 1225+26.

RECEIVED ON 21/01/73
 TELETYPE UNIT 30 01/73

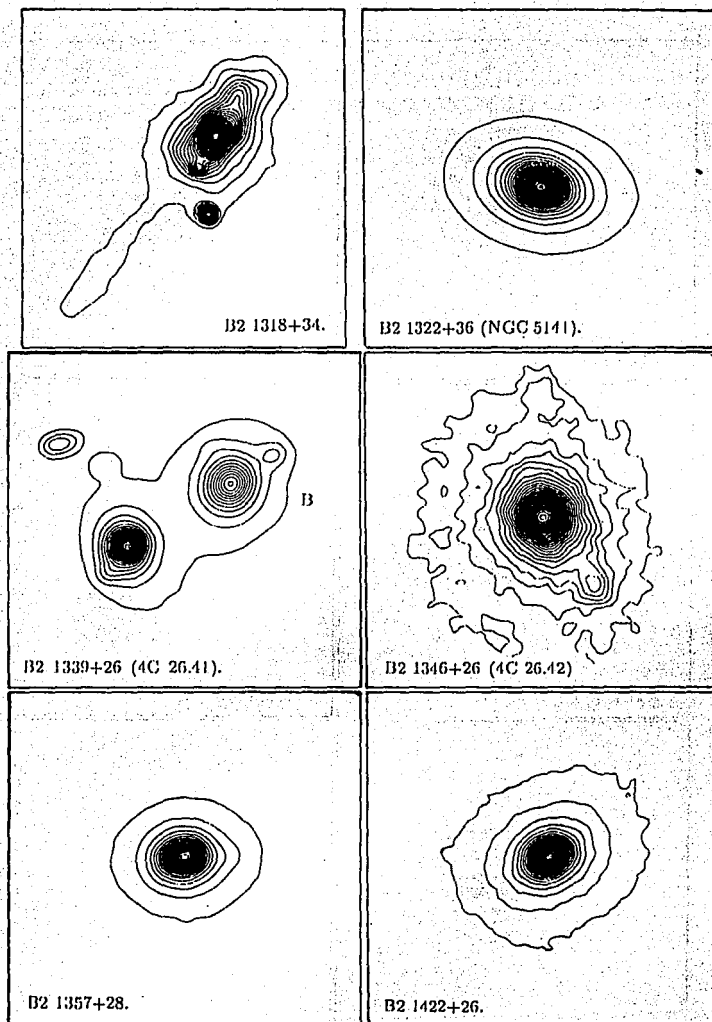


Fig. 2.2d B2 1318+34, B2 1322+36, B2 1339+26, B2 1346+26, B2 1357+28, B2 1422+26.

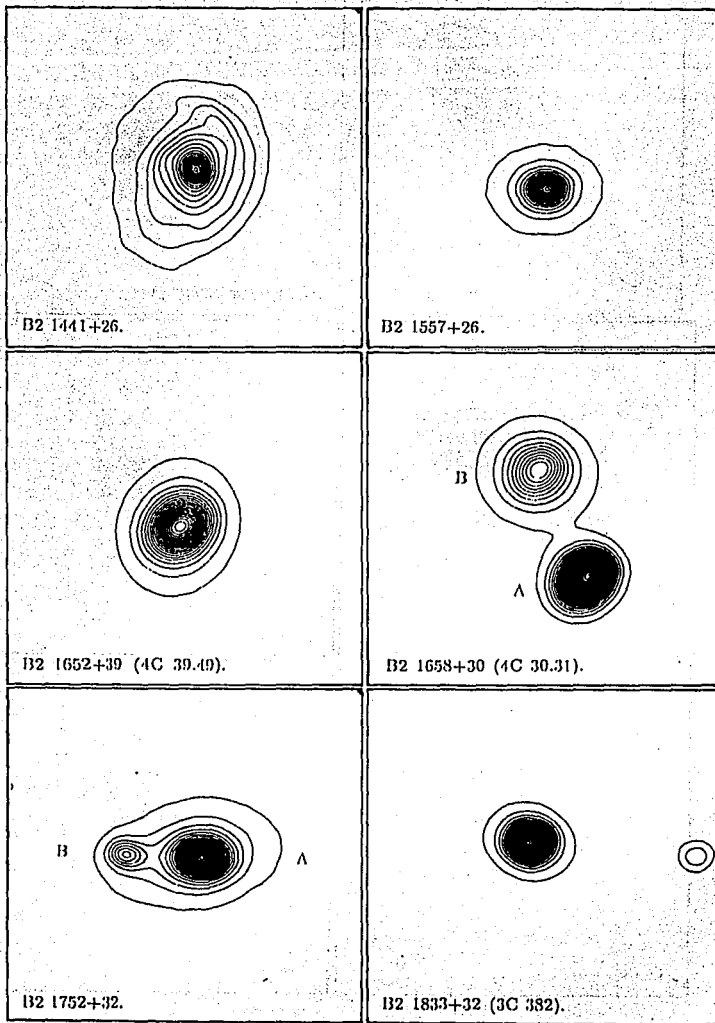


Fig. 2.2e B2 1441+26, B2 1557+26, B2 1652+39, B2 1658+30, B2 1752+32, B2 1833+32.

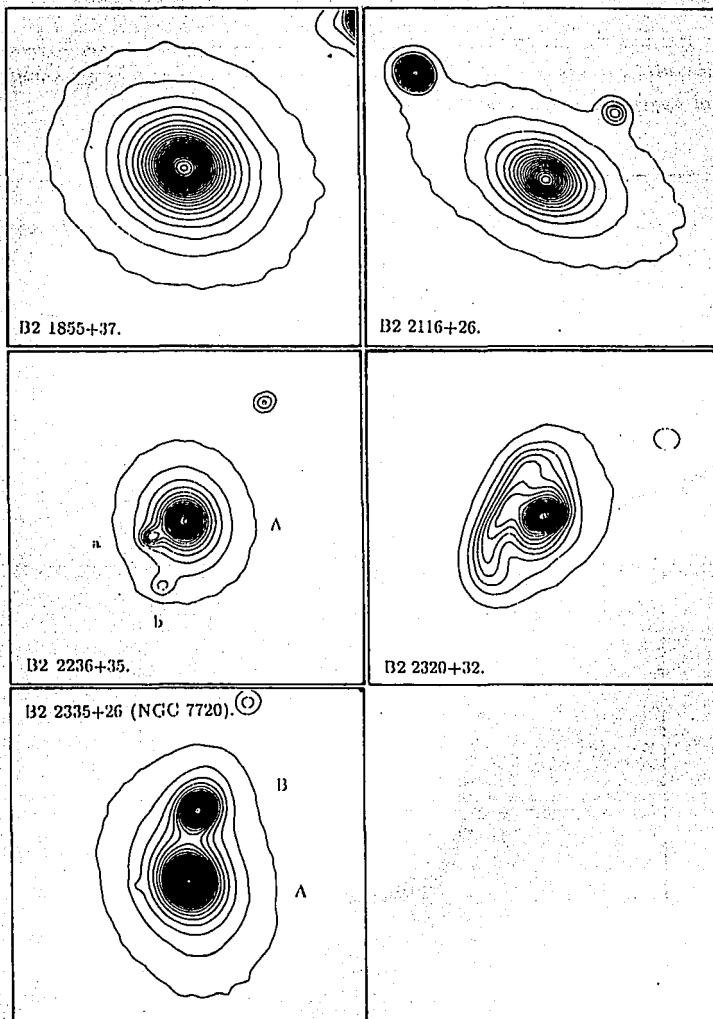


Fig. 2.2f B2 1855+37, B2 2116+26, B2 2236+35, B2 2320+32, B2 2335+26.

Fig. 2.3 Perfiles de intensidad de las galaxias de nuestra muestra, en la banda R, el eje horizontal corresponde al radio (semieje mayor) en pizeles y el eje vertical a la magnitud aparente, en unidades arbitrarias.

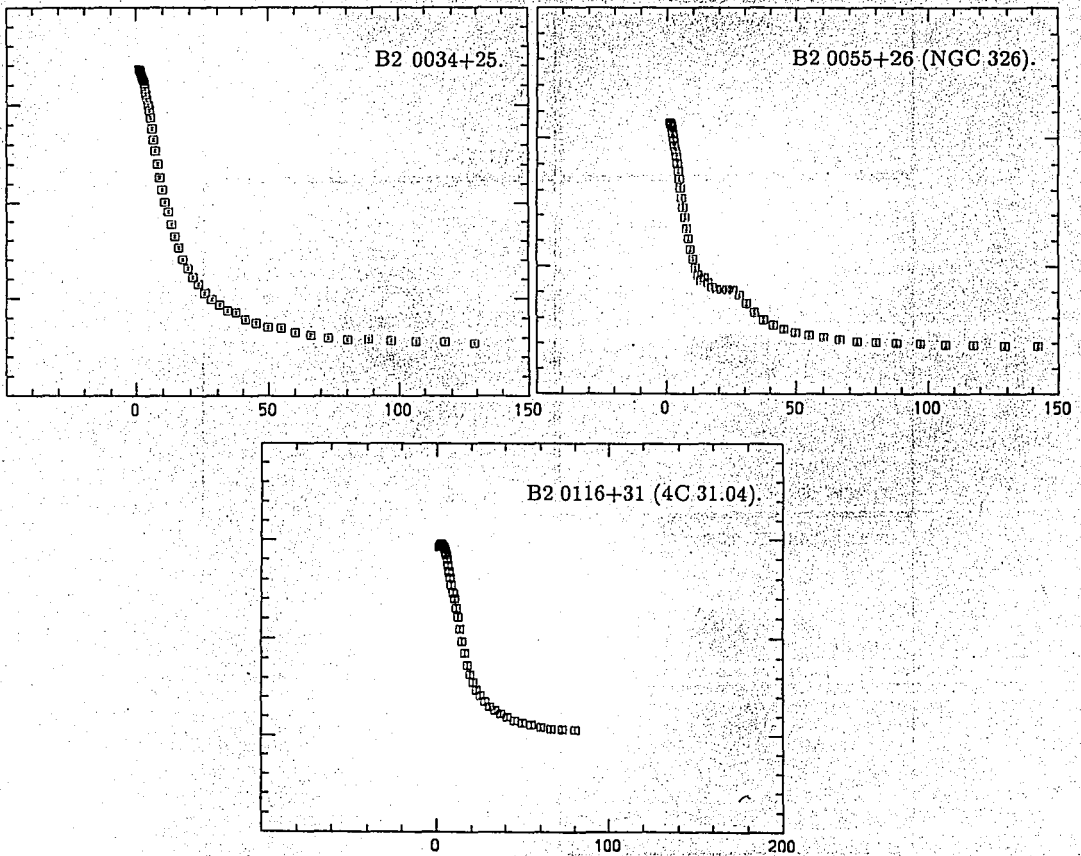
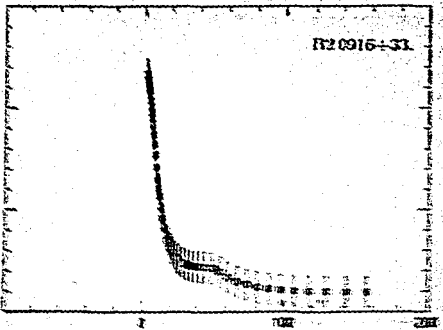
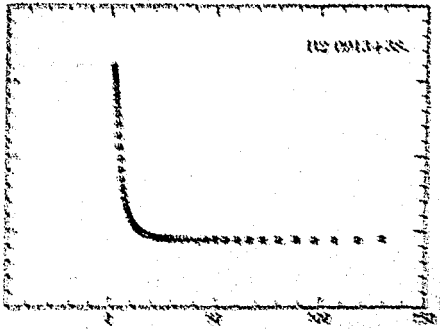
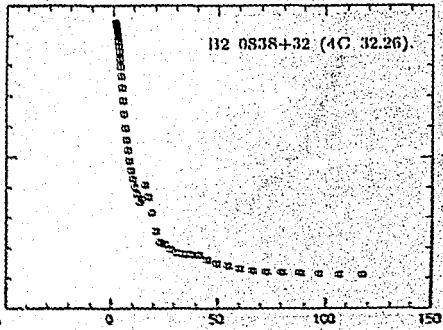
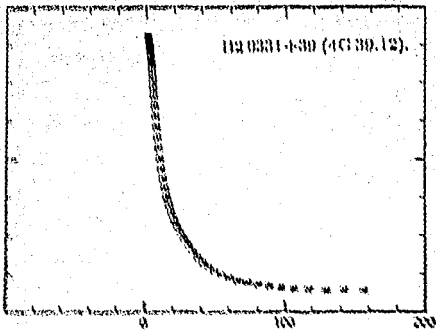
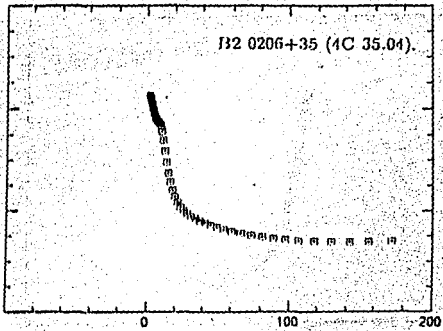
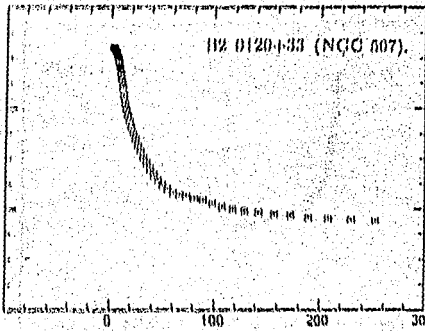


Fig. 2.3a B2 0034+25, B2 0055+26, B2 0116+31.



112 0120+33 (NGC 607) 112 0206+35 (4C 35.04) 112 0331+30 (4C 30.12) 112 0838+32 (4C 32.26) 112 0913+31 112 0916+31

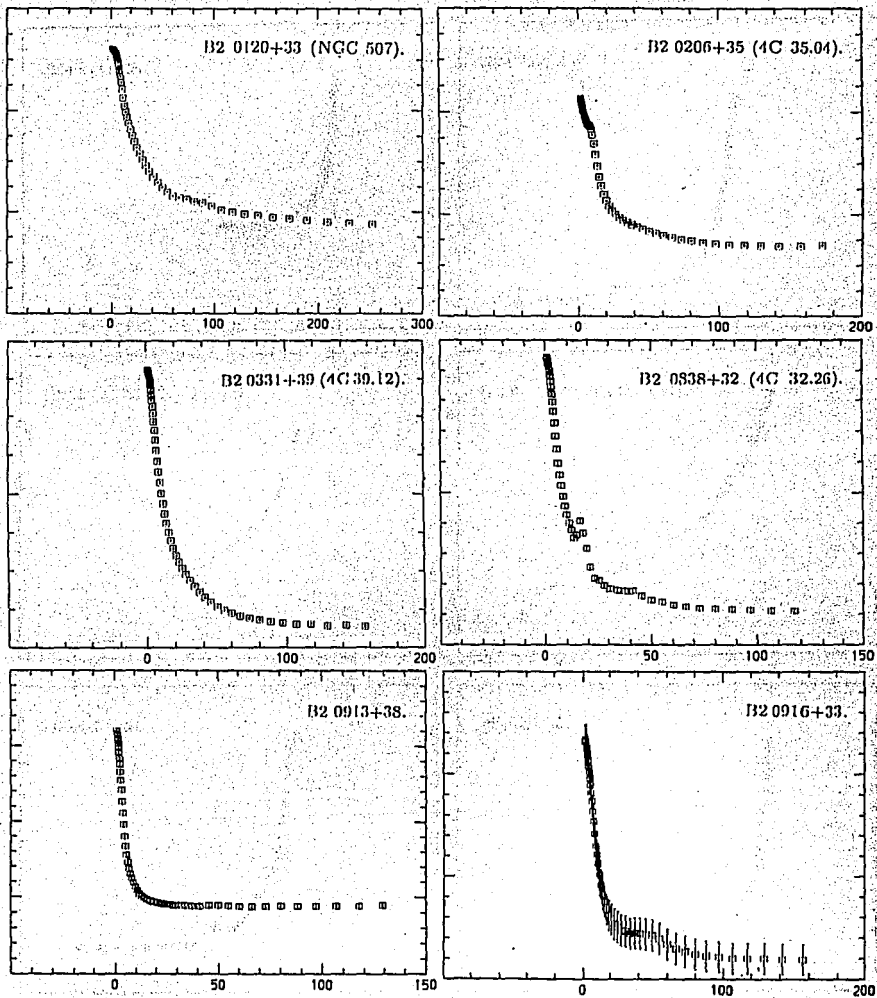


Fig. 2.3b B2 0120+33, B2 0206+35, B2 0331+39, B2 0838+32, B2 0913+38, B2 0916+33.

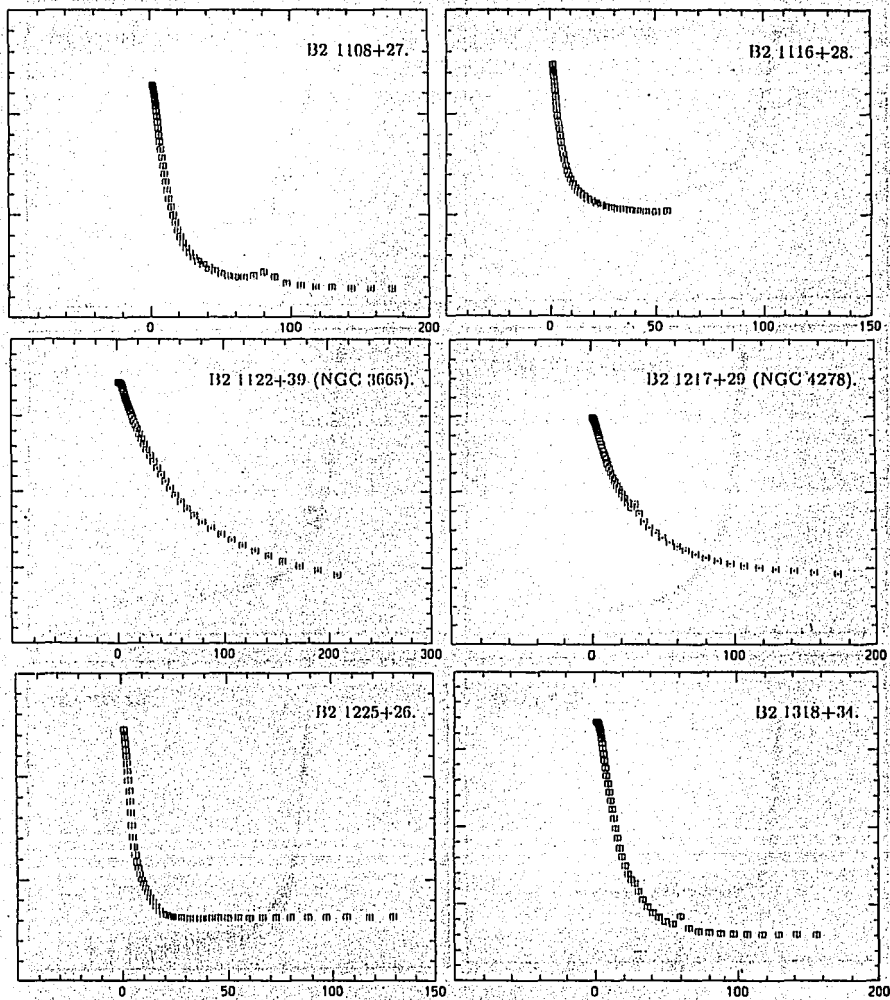


Fig. 2.3c B2 1108+27, B2 1116+28, B2 1122+39, B2 1217+29, B2 1225+26, B2 1318+34.

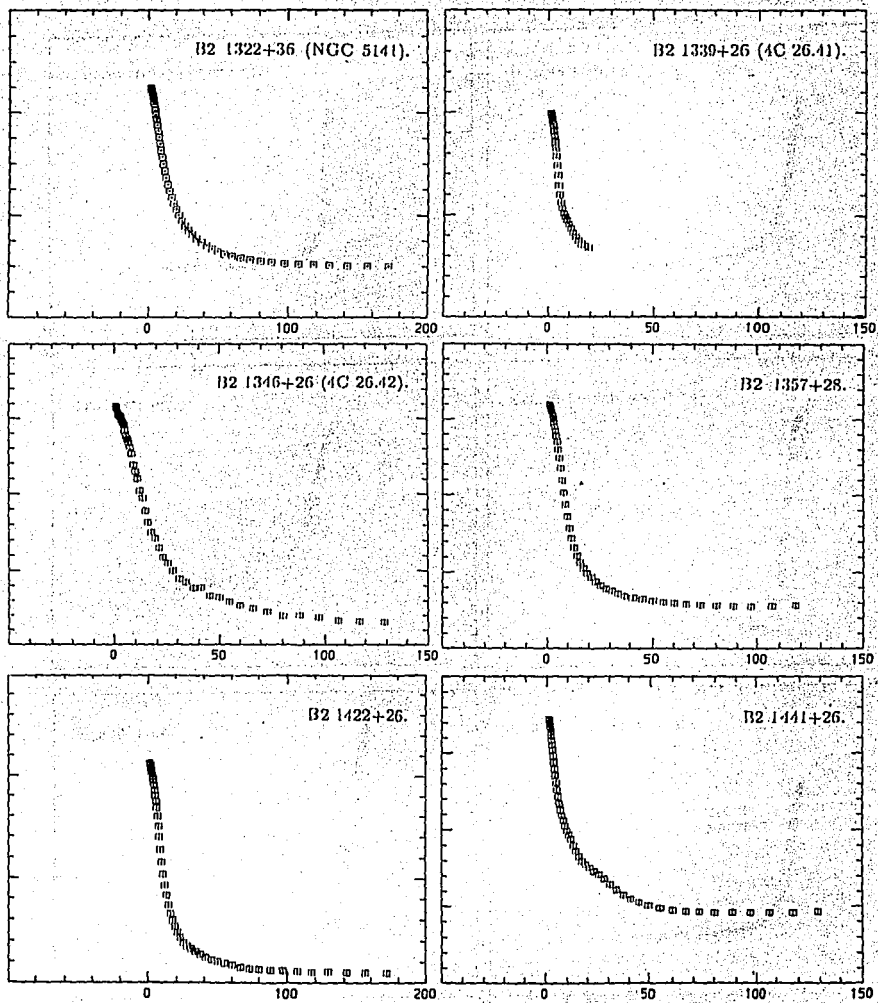


Fig. 2.3d B2 1322+36, B2 1339+26, B2 1346+26, B2 1357+28, B2 1422+26, B2 1441+26.

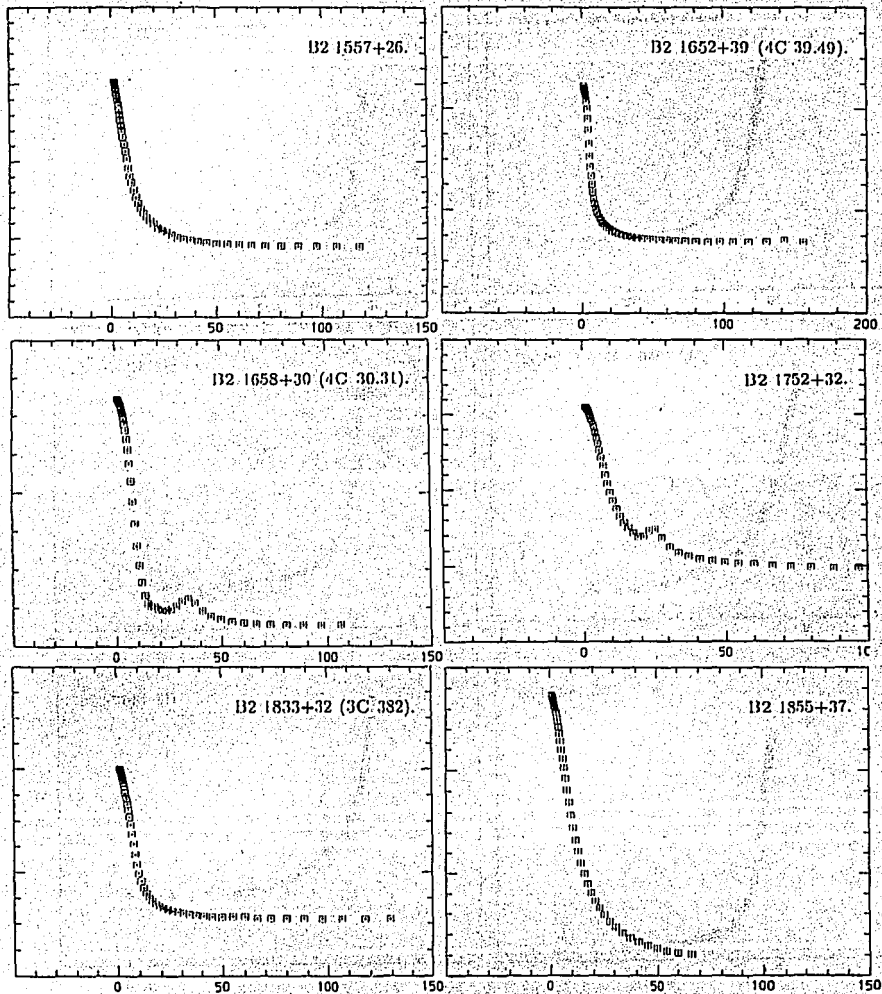


Fig. 2.3c B2 1557+26, B2 1652+39, B2 1658+30, B2 1752+32, B2 1833+32, B2 1855+37.

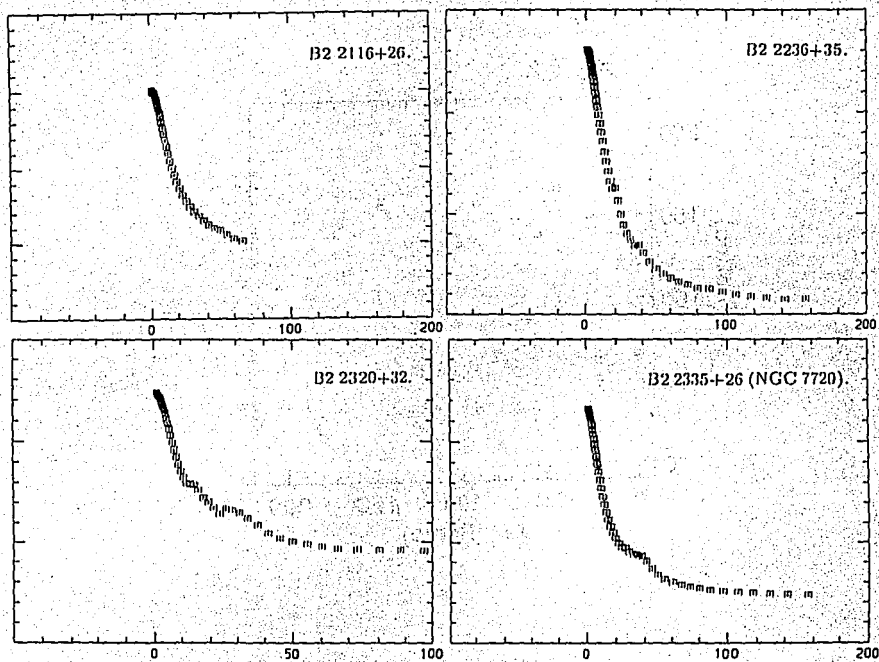


Fig. 2.3f B2 2116+26, B2 2236+35, B2 2320+32, B2 2335+26.

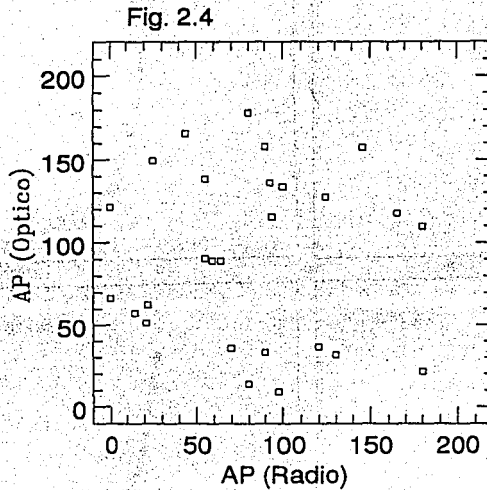


Fig. 2.4 Gráfica de ángulos de posición (AP) de las radiogalaxias de nuestra muestra: del continuo en radio (*jets*, *lóbulos*, *halos*), comparados con los obtenidos en el óptico (*filtros V, R e I*).

Fig. 2.5(B2)

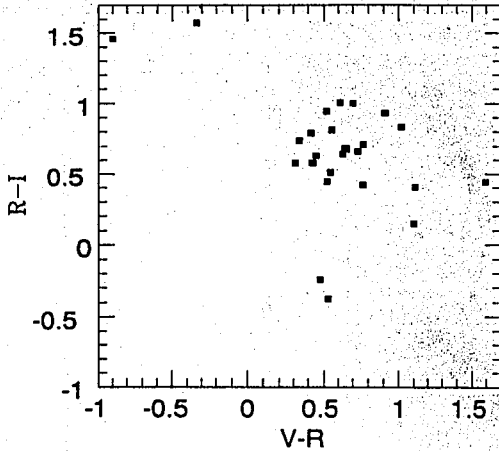


Fig. 2.5(QSO y BL Lac)

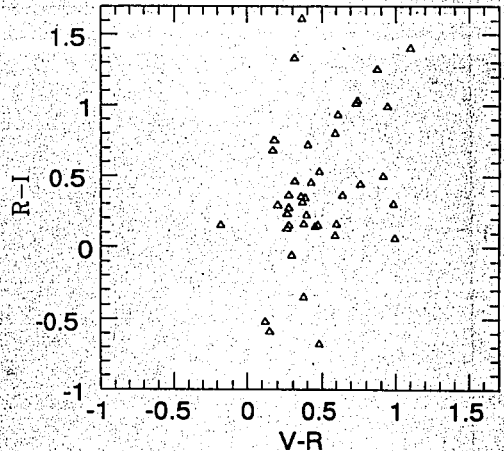


Fig. 2.5(Seyferts)

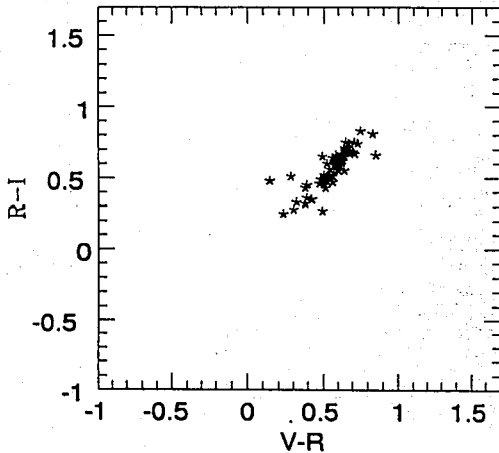


Fig. 2.5(normales)

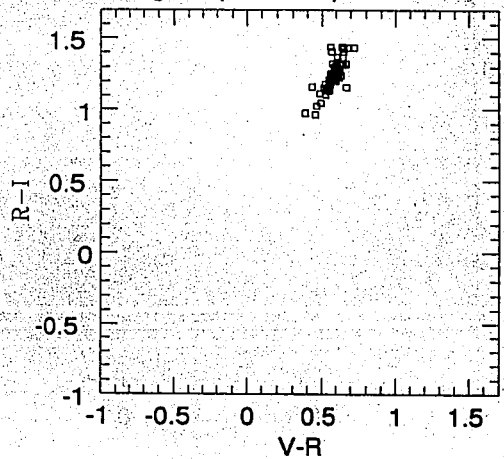


Fig. 2.5a,....,d Gráficas color-color de $V-R$ vs. $R-I$, para los NAGs: (a) radio-galaxias de nuestra muestra, \blacksquare ; (b) cuasares y objetos BL Lacertae, \triangle ; (d) galaxias Seyfert, $*$; (d) galaxias normales de tipo temprano, \square .

Fig. 2.6

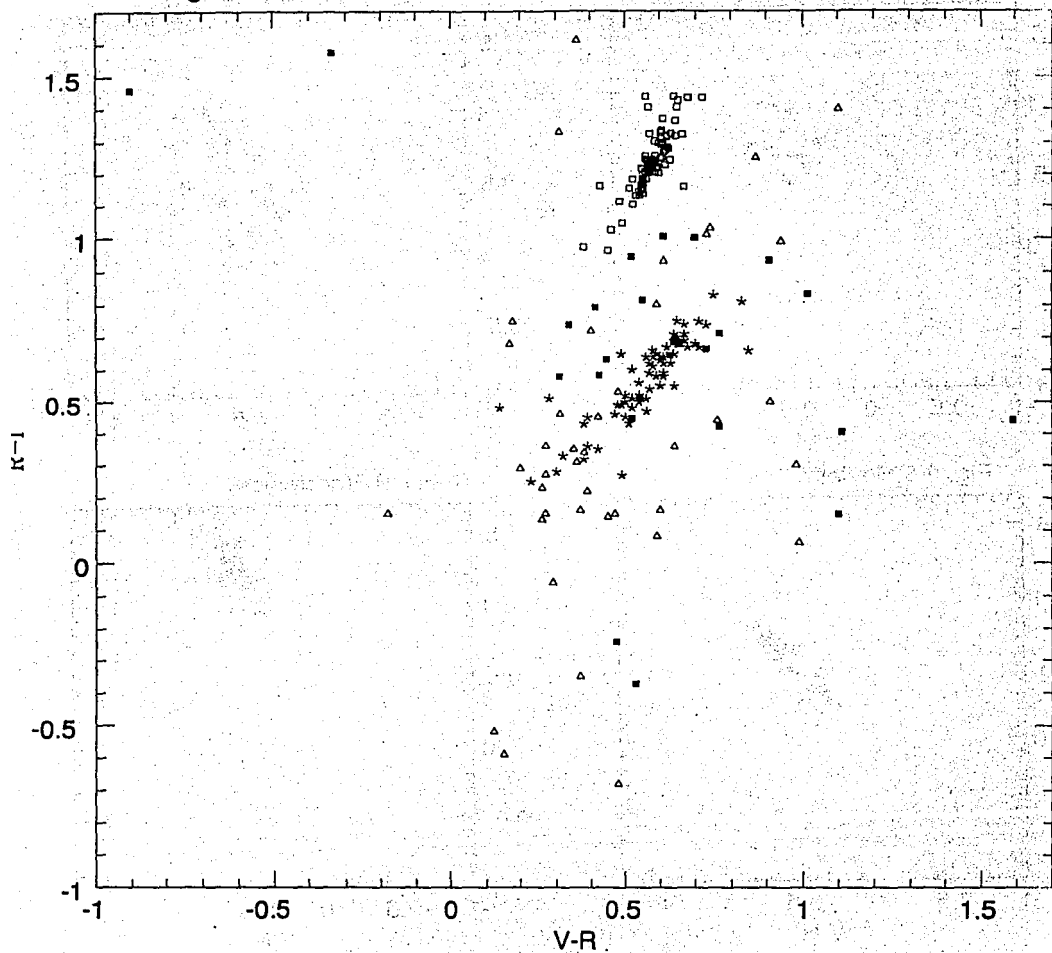


Fig. 2.6 Gráfica color-color de $V-R$ vs. $R-I$, para el conjunto de NAGs de las figuras anteriores: ■ RGD; Δ cuasares y objetos BL Lacertae (Moles et al. 1985); * galaxias Seyfert (Hamuy & Maza 1987); \square galaxias normales de tipo temprano (Poulin 1988).

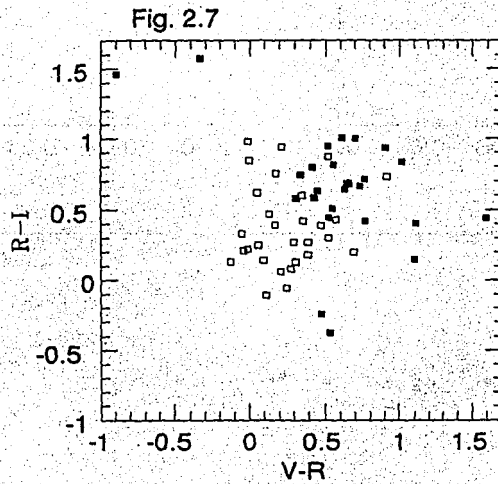


Fig. 2.7 Gráfica color-color de $V-R$ vs. $R-I$, para las radiogalaxias de nuestra muestra, \blacksquare ; y galaxias HII (Peña & Ayala 1993), \square .

Fig. 2.8a

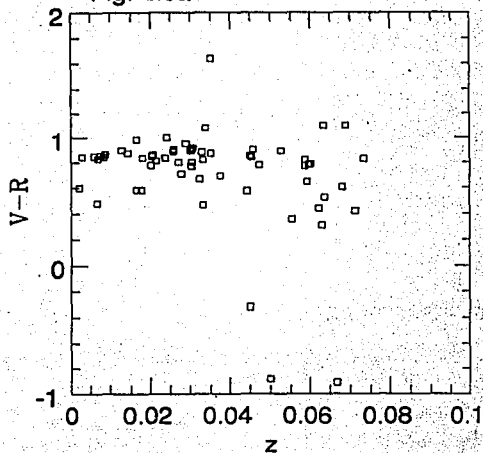


Fig. 2.8b

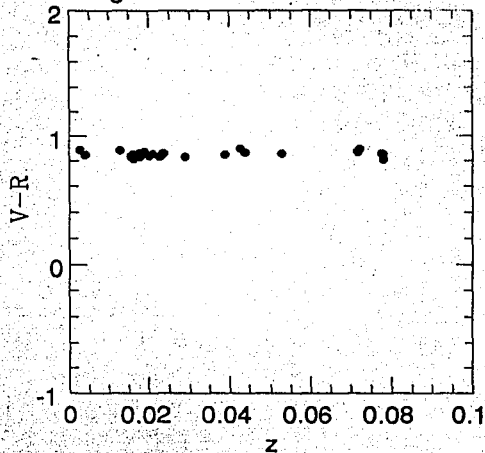


Fig. 2.8c (a+b)

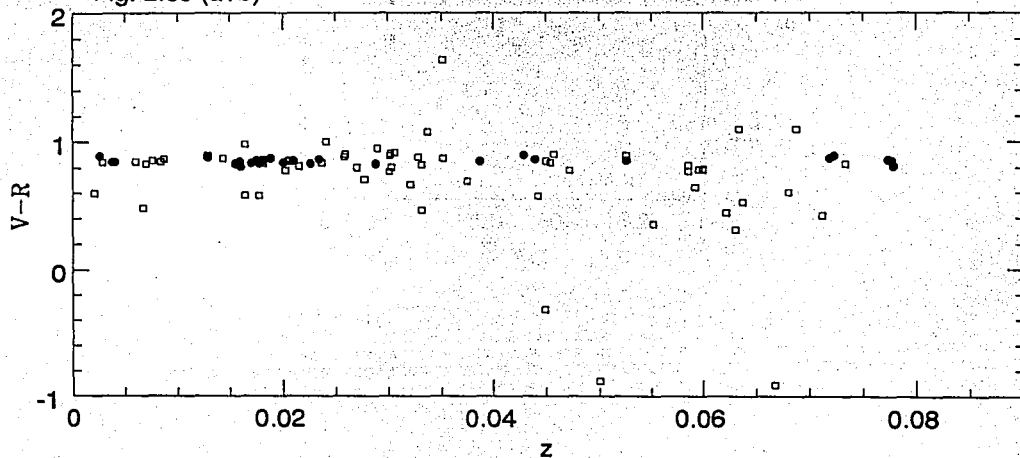


Fig. 2.8 Gráficas de $V-R$ vs. z , para: a) los datos de nuestra muestra; b) galaxias elípticas normales (Sandage 1979); y c) comparación de ambas muestras con la simbología: E 's de Sandage (\bullet), RGD de nuestra muestra (\square).

Capítulo 3

RADIOGALAXIAS DEBILES II: IMAGENES OPTICAS DE BANDA ANGOSTA

Resumen

En este capítulo presentamos los resultados del estudio de radiogalaxias débiles, obtenidas del segundo catálogo de Boloña B2, para determinar la presencia de regiones extendidas con líneas en emisión. Hemos comparado sus propiedades con las de otros tipos de núcleos activos de galaxias, en particular con radiogalaxias potentes.

En nuestra muestra el $\sim 81\%$ tienen regiones extendidas con líneas en emisión con radios que varían de 1.6 a 9.1 kpc y valor promedio de 4.6 kpc. Las morfologías que resolvemos para estas regiones extendidas son predominantemente de formas ovaladas centralmente condensadas, aunque existen estructuras amorfas y, en un caso, en forma de lóbulos los cuales coinciden espacialmente con los observados en radio frecuencias.

Las luminosidades en $H\alpha$ encontradas varían de 1.3×10^{39} a 6.7×10^{41} ergs s^{-1} , con un valor promedio de 1.1×10^{41} ergs s^{-1} el cual es similar al encontrado en radiogalaxias potentes, sin embargo los límites en las luminosidades a los que se llegan son cincuenta veces menor. Del cálculo de la luminosidad en $H\alpha$ estimamos valores rms para la densidad electrónica, la masa del gas que está emitiendo y el parámetro de ionización de las regiones extendidas con líneas en emisión.

3.1 *Introducción*

En el capítulo anterior mostramos imágenes ópticas de banda ancha (V, R e I), en las que del orden del 65% de las fuentes presentan rasgos que pueden atribuirse a interacciones gravitacionales recientes (fusiones entre galaxias). Además, encontramos que $\sim 29\%$ se encuentran en una agrupación de galaxias en la que al menos el $\sim 10\%$ tienen detectados halos extendidos observados en rayos-X. Estos resultados muestran que en estas radio fuentes la contribución de gas a las galaxias elípticas huésped puede estar presente como consecuencia de la interacción gravitacional entre

galaxias y en algunos casos por la contribución de gas del medio intracúmulo.

En radiogalaxias potentes, $S_{408MHz} \geq 8.5 Jy$, la presencia de las RELE está bien establecida. El porcentaje que presentan RELE resueltas es del orden de $\sim 85\%$, en una muestra de 43 fuentes, con tamaños típicos de decenas de kpc, con estructuras que varían de formas ovaladas centralmente condensadas hasta formas filamentosarias y con luminosidades medias, en $H\alpha + [NII]$ ó $[OIII]$, del orden de 3×10^{41} ergs s^{-1} (Baum et al. 1988; Baum & Heckman 1989a, 1989b).

Sin embargo, no es claro cual de los mecanismos de ionización es el que está actuando en las RELE. Por ejemplo en 3C 277.3 parece existir una correlación entre la RELE y la emisión de continuo de radio (van Breugel et al. 1985), lo cual podría sugerir que el causante de la ionización hasta distancias del orden de decenas de kpc pueda ser el choque del radio *jet* con el medio. Sin embargo, en fuentes como PKS 0634-206 parece más bien que la causa de la ionización de estas regiones de emisión extendida es el continuo UV de la fuente central (Fosbury et al. 1984). Además se han visto en las imágenes de rayos-X, filamentos en los halos intracúmulos que en algunos casos se podrían interpretar como estas RELE, en este caso se ha visto que la fuente de ionización son los choques, ejemplo de este tipo de fuentes es: M87 (Ford & Butcher 1979).

Previamente a este trabajo en la muestra de B2, solamente en la radiogalaxia B2 1346+26 (4C 26.42) se ha encontrado emisión extendida en la línea en $H\alpha$ (van Breugel et al. 1984). En este caso el comportamiento de la RELE es semejante al observado en radiofuentes potentes: alineamiento entre la extensión en radio y óptico, anticorrelación entre las regiones de la emisión óptica y en polarización en radio. Esta fuente también tiene un halo de emisión de rayos-X y la radiofuente se asocia a la galaxia dominante (cD) del cúmulo Abell 1795.

Las principales metas en nuestro estudio de banda angosta centrados en: $H\alpha + [NII]\lambda\lambda 6548, 6583$ y $[OIII]\lambda 5007$, de radiogalaxias débiles son intentar responder algunas de las siguientes interrogantes:

1. ¿Cuál es la frecuencia de las RELE en radiogalaxias débiles y cómo se compara esta fracción con las radiogalaxias potentes?
2. ¿Cuál es el origen del gas de las RELE en este tipo de galaxias: fusiones entre galaxias e/o inestabilidades térmicas de los halos observados en rayos-X?

3. ¿Cómo se correlaciona el gas de las RELE con la estructura de radio extendida y a su vez con la estructura de la galaxia huésped?
4. ¿Se debe la fotoionización de las RELE: a la fuente central o existen fuentes alternas de ionización?
5. ¿Se afecta la distribución del gas de las RELE por interacción con la radiofuente extendida o está totalmente determinada por la máquina central?
6. ¿Qué implican nuestros resultados en la evolución de las radiogalaxias?

El presente capítulo está organizado de la siguiente manera: En §2 se presenta una descripción de las observaciones y de la muestra utilizada, el análisis de las imágenes y proceso de reducción se describe en §3, los resultados fotométricos y morfológicos, así como de las propiedades de la emisión óptica de línea se dan en §4, la discusión en §5, un resumen de los resultados y conclusiones se presentan en §6.

3.2 Observaciones

3.2.1 Selección de la Muestra

La muestra observada consistió de 26 galaxias identificadas con radiofuentes del Segundo Catálogo de Boloña B2, y previamente observadas en banda ancha (Cap. 2). Las galaxias seleccionadas cumplen con las características y propiedades detalladas en la Sec. 2.1.1 y Tabla 2.1.

3.2.2 Instrumentación

Las observaciones se realizaron en el telescopio de 2.12 m del OAN-SPM, durante varias temporadas de observación: marzo, junio, julio y octubre de 1992, abril y septiembre de 1993. Se obtuvieron imágenes con CCD a través de los siguientes filtros de banda angosta: $H\alpha + [NII]\lambda\lambda 6548, 6583$ y $[OIII]\lambda 5007$, cuyas características se describen a continuación:

- $\lambda_c = 6607 \text{ \AA}$, $\Delta\lambda = 89 \text{ \AA}$ $\lambda_c = 5028 \text{ \AA}$, $\Delta\lambda = 71 \text{ \AA}$, $\Delta z = 0 \rightarrow 0.011$
- $\lambda_c = 6690 \text{ \AA}$, $\Delta\lambda = 91 \text{ \AA}$ $\lambda_c = 5121 \text{ \AA}$, $\Delta\lambda = 71 \text{ \AA}$, $\Delta z = 0.012 \rightarrow 0.026$

- $\lambda_c = 6819 \text{ \AA}$, $\Delta\lambda = 86 \text{ \AA}$ $\lambda_c = 5199 \text{ \AA}$, $\Delta\lambda = 71 \text{ \AA}$, $\Delta z = 0.031 \rightarrow 0.044$
- $\lambda_c = 6920 \text{ \AA}$, $\Delta\lambda = 88 \text{ \AA}$ $\lambda_c = 5291 \text{ \AA}$, $\Delta\lambda = 75 \text{ \AA}$, $\Delta z = 0.048 \rightarrow 0.061$
- $\lambda_c = 7027 \text{ \AA}$, $\Delta\lambda = 93 \text{ \AA}$ $\lambda_c = 5366 \text{ \AA}$, $\Delta\lambda = 78 \text{ \AA}$, $\Delta z = 0.061 \rightarrow 0.075$.

Se usó un detector Thompson de 1024×1024 elementos (*pixeles*). Este CCD en el telescopio de 2.12 m con el secundario de $f/7.5$ da una escala de imagen en el plano focal de $0.25''/\text{pixel}$, lo que produce un campo de visión de $4.25' \times 4.25'$. Las propiedades del CCD son las siguientes: ruido de lectura de $5.73e^{-1}$ y un tamaño de *pixel* de $19 \mu\text{m}$.

Las observaciones presentadas en este trabajo fueron obtenidas en condiciones fotométricas con una calidad de imagen típica (*seeing*) de 1.0 a 2.4 segundos de arco. Para cada galaxia estudiada se obtuvieron series de cuatro imágenes en cada filtro, las cuales fueron posteriormente combinadas (sumadas) para presentar una sola imagen por filtro de cada galaxia.

3.2.3 Observaciones Fotométricas

Un conjunto de estrellas estándares de la lista de Oke (1974) fueron observadas cada noche para la calibración espectro-fotométrica, muchas de las cuales se observaron en más de una ocasión durante cada noche. Las estándares para cada temporada fueron:

- marzo/1992: GD 140 y L 970-30
- junio/1992: L970-30
- julio/1992: Hz 29
- octubre/1992: BD +40 4032, Feige 24 y He 3
- abril/1993: BD +8 2015, L 930-80 y Wolf 485A
- septiembre/1993: BD +28 4211 y G 191B2B.

Los detalles de las observaciones fotométricas de las galaxias se presentan en la Tabla 3.1. El contenido es el siguiente: Col. (1) nombre de la galaxia; Col. (2) fecha de la observación; Col. (3) filtro de interferencia usado; Col. (4) tiempo de integración en segundos; y Col. (5) el ancho a intensidad media de la *PSF* en segundos de arco.

3.3 Análisis de las Imágenes

En la reducción de las imágenes de CCD se siguió el procedimiento estándar (ver Kent 1984; Cornell et al. 1987). La reducción y análisis se hicieron con la paquetería de reducción IRAF (*Image Reduction and Analysis Facility*), desarrollado por el NOAO (Barnes 1993, Massey 1992 y Massey & Davis 1992), usando rutinas propias de IRAF (NOAO, IMAGES, etc.), como algunas que se han agregado a éste (STSDAS, XRAY, SPIRAL [Hamabe 1993]), con el procedimiento detallado en el Cap. 2.

Además, del procedimiento ya descrito para las imágenes de banda ancha, se hicieron las siguientes correcciones para las imágenes de banda angosta:

1. Se tomaron dos conjuntos de imágenes en cada filtro de interferencia, uno que corresponde al corrimiento al rojo de cada fuente (imagen "ON") y uno que corresponde al continuo lo más cercano posible a la línea ("OFF").
2. Ambos conjuntos de imágenes, previamente combinadas (sumadas), ya que cada una es el resultado de al menos cuatro imágenes, se alinearon usando como referencia a estrellas dentro de la misma imagen, para poder tener ambas imágenes ("ON" y "OFF") igualmente posicionadas.
3. La calibración en flujo de cada imagen se hizo a partir de los perfiles, en los que se calculó el número de cuentas por unidad de área en anillos concéntricos de distintas intensidades, alrededor de la emisión central.
4. Las estrellas usadas para la calibración en cada filtro de interferencia fueron estándares espectro-fotométricas de la lista de Oke (1974), con el mismo procedimiento de las galaxias.
5. Una vez corregidas (por *bias*, *flats*, *pizeles* malos y rayos cósmicos), alineadas y calibradas se restaron: ON - OFF, para obtener sólo la imagen de la emisión en la línea sin su continuo (luz estelar, fundamentalmente).

6. Para tener una mejor representación visual de las imágenes, así como para el análisis de ellas, se usó el método descrito por Fabbiano et al. (1994), el cual consiste en deconvolucionar las imágenes usando las técnicas de Lucy-Richardson (Lucy 1974; Richardson 1972).
7. Una vez deconvolucionadas las imágenes se “suavizaron” convolucionando con una función gaussiana bidimensional de 2 *píxeles*.

Las imágenes resultantes de este procedimiento son las que presentamos al final de este capítulo.

Debido a que nos interesa poder comparar las imágenes obtenidas con los filtros de interferencia, centrados en las líneas ya indicadas, con las estructuras en radio (jets, lóbulos, halos) y las imágenes de banda ancha (V, R e I), además del proceso indicado se hicieron las siguientes correcciones:

1. Se alinearon (rotaron) E-W las imágenes de banda ancha usando como referencia las placas digitalizadas de Palomar (POSS: Golombek 1992).
2. Para hacer coincidir (“mover y rotar”) las imágenes de banda ancha con las de interferencia se usaron las estrellas que se encuentran en las imágenes como referencia, basándose en las imágenes de banda ancha previamente corregidas.
3. Para comparar las imágenes de banda ancha con las estructuras en radio se usaron los centros de banda ancha óptica indicados en los mapas de radio, por el grupo de Boloña, donde se indica la posición del centro de la galaxia óptica, ver Fig. 3.2.

3.4 Resultados Fotométricos y Morfológicos

3.4.1 Imágenes

Las imágenes finales de las RGDs estudiadas en este trabajo se presentan en las Figs. 3.1a, b y c. Las imágenes de cada galaxia corresponden a uno de los filtros de interferencia centrados en las líneas: $H\alpha + [NII]$ y/o $[OIII]$ con la orientación N hacia arriba y E a la izquierda. Las barras corresponden a 15". La imagen final es el

resultado de la combinación de un conjunto de cuatro imágenes obtenidas para cada galaxia en los diferentes filtros.

Las imágenes de las galaxias en que encontramos correspondencia espacial con la estructura en radio se presentan en las Figs. 3.2a y b, en las que los mapas de contornos de radio están sobrepuestos con las imágenes de línea con la orientación N hacia arriba y E a la izquierda y las barras corresponden a $15''$.

En estas imágenes encontramos que muchas de las galaxias tienen RELE con morfologías muy variadas: ovaladas centralmente condensadas, ovaladas con extensiones débiles y amorfas. La discusión de cada fuente individual se presenta al final de este capítulo.

3.4.2 Propiedades de las Regiones con Líneas en Emisión

A partir de las imágenes en línea ya calibradas y sin el continuo, obtuvimos para cada galaxia estudiada las siguientes propiedades:

- a) La intensidad total de la emisión en $H\alpha + [NII]$ y $[OIII]$, al corrimiento al rojo de cada fuente.
- b) El radio de la región extendida resuelta hasta 3σ del ruido, se midió preferentemente en $H\alpha$.
- c) El ángulo de posición para el eje mayor de la elipse que mejor se ajusta para la región extendida, medido a partir del N y en sentido contrario al reloj.

Así mismo, para cada fuente se describe: a) el tipo de estructura en radio (jets, centros, etc.); b) los tamaños de estas estructuras en radio; y c) los ángulos de posición, todos estos datos obtenidos de la literatura (referencias citadas del grupo de Boloña) y presentados en la Tabla 2.6.

En la Tabla 3.2 mostramos los datos de las imágenes, para las galaxias en que encontramos emisión, cuyo contenido es el siguiente: Col. (1) nombre de la fuente; Col. (2) el flujo corregido por extinción galáctica en $H\alpha + [NII]$ en unidades de 10^{-2} mJy; Col. (3) la luminosidad en $H\alpha + [NII]$ en unidades de ergs s^{-1} ; Col. (3) el flujo corregido por extinción galáctica en $[OIII]$ en unidades de 10^{-2} mJy; Col. (4) la luminosidad en $[OIII]$ en unidades de ergs s^{-1} . Para las luminosidades se usaron

las distancias calculadas a partir de los corrimientos al rojo de cada fuente, con la constante de Hubble: $H_0 = 100 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$. También mostramos los radios de las regiones con líneas en emisión encontrados para cada fuente, en el caso de ser resueltos, lo cual mostramos en la Tabla 3.3, la que contiene: Col. (1) nombre de la fuente; Col (2) el radio lineal (semieje mayor) en kpc; y Col. (3) el ángulo de posición de las RELE en grados.

3.5 Discusión

3.5.1 Características de las RELE

A partir de las observaciones en los filtros de interferencia encontramos que en el 100% de la muestra detectamos evidencia de la presencia de RELE, aunque sólo en el 81% de las galaxias resolvemos estas regiones.

De los datos de la Tabla 3.3 mostramos un histograma (Fig. 3.4a) con los radios lineales de las RELE resueltas, hasta un límite de 3σ el ruido, en las líneas observadas, los cuales tienen un intervalo de 1.6 a 9.1 kpc, con un valor promedio de ~ 4.6 kpc, los cuales son radios ligeramente mayores que el encontrado para radio fuentes débiles 3C (~ 2.6 kpc; Baum & Heckman 1989a). Esta diferencia se puede explicar considerando que las radiogalaxias débiles 3C tienden a ser fuentes poco resueltas.

Para ver como es el comportamiento de las luminosidades en las líneas, mostramos un histograma (Fig. 3.4b), en el que encontramos que las luminosidades en $H\alpha + [\text{NII}]$ y $[\text{OIII}]$ están en el intervalo de 1.3×10^{39} a 6.7×10^{41} ergs s^{-1} , con una luminosidad promedio de $\sim 1.1 \times 10^{41}$ ergs s^{-1} . Del histograma encontramos que el número de fuentes aumenta hasta una luminosidad límite, después de la cual el número disminuye bruscamente. Para comparar este comportamiento con la radio emisión, mostramos en la Fig. 3.4c un histograma con la luminosidad del radio centro en el que encontramos que el comportamiento de la radio emisión es ligeramente diferente al de la línea óptica, ya que aunque el número de fuentes disminuyen a altas luminosidades, esta disminución es menos brusca. Por lo que, el comportamiento de las luminosidades de línea ($H\alpha$ y $[\text{OIII}]$), se puede deber a que la muestra de radiogalaxias B2 está compuesta basicamente de fuentes débiles en radio, por lo que si existe una correlación entre la luminosidad en radio y la de línea en emisión, se esperaría que existiera un corte a altas luminosidades como el que encontramos. El que exista un

comportamiento ligeramente distinto en el corte a altas luminosidades se puede deber a que en la luminosidad del radio centro se tienen varias contribuciones: la máquina central, el haz del radio *jet*, etc.

Gráficamos los radios lineales de las RELE contra su luminosidad de línea en $H\alpha$ + $[NII]$ y $[OIII]$, en la Fig. 3.5. Parece haber una correlación entre los radios de las RELE y las luminosidades en las líneas en emisión (coeficiente de correlación $r = 0.4$), a mayor luminosidad parece corresponder un mayor radio (Fig. 3.5c). Cuando separamos las luminosidades en $[OIII]$ y en $H\alpha$ + $[NII]$ contra el radio de las RELE, encontramos que esta dependencia se aprecia bien en $H\alpha$ + $[NII]$ (Fig. 3.5b). Los radios parecen ser menos dependientes de las luminosidades en el caso de $[OIII]$ (Fig. 3.5a), mayor dispersión. En general la dependencia entre la luminosidad en las líneas y el radio de las RELE está de acuerdo con lo que se observa en las radiogalaxias potentes (Baum & Heckman 1989a). Para mostrar que esta tendencia no es producto de la dependencia en la distancia, en las Figs. 3.6 y 3.7 gráficamos la luminosidad en $H\alpha$ + $[NII]$ y $[OIII]$ vs. la distancia de las galaxias huésped y el radio de las RELE vs. la distancia de las galaxias huésped, respectivamente. En estas gráficas encontramos que no parece existir correlación entre estos parámetros (luminosidades y radios) con la distancia, con lo que la posible correlación entre luminosidades en $H\alpha$ + $[NII]$ y $[OIII]$ vs. radios puede ser válida.

3.5.2 Comparación con otros NAGs

La frecuencia que hemos obtenido de RELE en las RGD de nuestra muestra es muy similar a la encontrada para RGP por Baum et al. (1988), estos autores muestran que en $\sim 85\%$ (de 38 fuentes) de las fuentes hay RELE. El encontrar que la frecuencia de la presencia de RELE es similar entre las RGD y RGP muestra que el gas ionizado puede estar presente independientemente de la potencia de la radiofuente.

Las RELE que encontramos en nuestra muestra tienen formas que predominantemente son ovaladas centralmente condensadas y en menor número tienen estructuras filamentosarias o son amorfas. Este tipo de morfologías son similares a las encontradas en las radiogalaxias potentes, en las que también predominan las formas ovaladas y en menor número las filamentosarias en forma de Z o S y en mucho menor número las estructuras amorfas. Cuando se comparan las RELE con formas ovaladas con las radio estructuras, ambas estructuras coinciden en la región central (ej. 3C 98,

Baum et al. 1988). En los casos más espectaculares coinciden los *jets* y lóbulos en radio con las RELE de forma filamentaria (ej. 3C 277.3, van Breugel et al. 1985). Finalmente existen casos en que sólo coinciden los núcleos no resueltos de radio y las RELE confinadas en el centro (ej. 3C 196.1, Baum et al. 1988). Las estructuras de las RELE que encontramos son similares al de las galaxias Seyfert (ej. Pogge 1989), en las que predominan las estructuras ovaladas centralmente condensadas.

Aunque las formas en general parecen ser las mismas, las diferencias se presentan en los radios asociados a estas regiones extendidas, como se mostró en la sección anterior, así por ejemplo se tiene que para las RGP, los tamaños típicos son ~ 10 kpc (Hansen et al. 1987; Baum et al. 1988), en nuestro caso de RGD encontramos que los tamaños típicos son ~ 4 kpc, los cuales, por otro lado, son similares a los encontrados en las galaxias Seyfert (Pogge 1989).

Las diferencias en radios de las RELE entre los distintos NAGs pueden reflejar:

1. El aumento en la capacidad de ionización de la máquina central.
2. La presencia de choques entre la radio estructura extendida con el gas intergaláctico de la galaxia huésped.
3. Una combinación de estas dos posibilidades.
4. El gas tiene diferentes orígenes entre las distintas muestras de NAGs.

La primera opción es debida a que a mayor potencia de la "máquina central" mayor posibilidad de llegar a regiones más alejadas del centro de la galaxia huésped, con lo que las RGP tendrían más posibilidad de llegar a ionizar hasta distancias de varias decenas de kpc, comparadas con las RGD, aunque no se descarta la dependencia en la opacidad del gas. La segunda opción es debido a que, existen radiogalaxias en que la estructura en radio extendida coincide espacialmente con las RELE, con lo que habría la posibilidad de que el gas de las RELE sea ionizado por choques del radio *jet*. La tercera opción surge a partir de los modelos "híbridos" para explicar los distintos cocientes de líneas de las "regiones de líneas angostas" en NAGs, en los que es necesario considerar, además de fotoionización por continuos de ley de potencias, ionización por choques de nubes que están saliendo o entrando a esta región. Como última opción estaría el considerar que el gas tiene distintos orígenes, esto es, que la galaxia huésped se encuentre en medios de distinta densidad de galaxias, con lo

que habría la posibilidad de enriquecer de forma distinta al medio que puede ser ionizado, pero como mostramos en el Cap. 2, no parecen existir diferencias entre las peculiaridades encontradas en las radiogalaxias potentes y las débiles, con lo que esta opción puede ser menos importante, al menos para radiogalaxias.

Otras de las diferencias entre los NAGs son las luminosidades de línea ($H\alpha + [NII]$ y/o $[OIII]$). Así se tiene que para las galaxias Seyfert estas luminosidades en promedio son $\sim 6.5 \times 10^{39}$ ergs s^{-1} (Pogge 1989). Para radiogalaxias potentes estos valores varían de 2.2×10^{39} a 1.3×10^{43} con un valor promedio de $\sim 3 \times 10^{41}$ ergs s^{-1} (Baum & Heckman 1989a). En nuestro caso los valores que obtenemos están entre 1.3×10^{39} a 6.7×10^{41} con un valor promedio de $\sim 1 \times 10^{41}$ ergs s^{-1} . Lo cual muestra que el promedio de las luminosidades de las radiogalaxias, son del orden de una magnitud y media mayor que el de las galaxias Seyfert. Entre las radiogalaxias los promedios de las luminosidades son similares, aunque los intervalos son más amplios para las radiogalaxias potentes.

3.5.3 Parámetros Físicos de las RELE

Entre las propiedades que podemos obtener a partir de las luminosidades de las RELE está la densidad electrónica y la masa del gas de las regiones que están emitiendo. Para estimar la densidad suponemos el caso B de recombinación (Osterbrock 1989), con lo cual podemos expresar la densidad electrónica como función de la luminosidad:

$$n_e^2 = \frac{L_{H\alpha}}{f V \alpha_{H\alpha}^{eff} h \nu_{H\alpha}} \quad (3.1)$$

donde $L_{H\alpha}$ es la luminosidad en $H\alpha$ de la porción de la nebulosa donde estamos estimando la densidad, V es el volumen que ocupa el gas que está emitiendo, f es el factor de llenado (*filling factor*) en el gas, h la constante de Planck, $\nu_{H\alpha}$ la frecuencia de $H\alpha$ y $\alpha_{H\alpha}^{eff}$ el coeficiente efectivo de recombinación, usamos $\alpha_{H\alpha}^{eff} = 1.17 \times 10^{-13}$ $cm^3 s^{-1}$ (Brocklehurst 1971).

Para la estimación del volumen suponemos que el filamento tiene un ancho w y un largo l , por lo que usamos:

$$V = \frac{4\pi}{3} w^{3/2} l^{3/2} \quad (3.2)$$

el cual podemos estimar directamente de las imágenes de línea. Para nuestro cálculo

suponemos que el factor de llenado es $f = 1.0$, ya que en la mayoría de las fuentes es difícil poder estimar cuál es el valor de f , por lo que en nuestra estimación de la densidad electrónica lo que estamos obteniendo es la densidad rms.

Bajo las mismas suposiciones, podemos dar una estimación de la masa rms del gas que está emitiendo:

$$M_{gas} = f V n_e m_p = \frac{L_{H\alpha} m_p}{\alpha_{H\alpha}^{eff} h \nu_{H\alpha} n_e} \quad (3.3)$$

donde m_p es la masa del protón y los demás son los parámetros ya definidos, e igualmente usamos la densidad rms, de tal forma que podemos tener una estimación de la masa rms.

Existe otro parámetro igualmente importante que podemos obtener, el parámetro de ionización (U), el cual nos da una estimación del número de fotones ionizantes, con respecto al número de partículas del gas. Este parámetro lo podemos expresar usando las relaciones de Osterbrock (1989) y Baum & Heckman (1989a), para el caso de un continuo no-térmico, como:

$$U = \frac{Q_H}{4\pi r^2 n_e c} = \frac{1}{4\pi r^2 n_e c} \frac{2.2 L_{H\alpha}}{h \nu_{H\alpha}} \quad (3.4)$$

donde Q_H es el número de fotones ionizantes emitidos por segundo, r la distancia entre la nube y el centro de la radiación ionizante, el resto de los parámetros ya han sido definidos anteriormente.

El suponer un factor de llenado de $f = 1.0$, y no estimarlo de las imágenes se debe a que debido al procedimiento seguido para resaltar las estructuras de bajo brillo superficial (sección 3.3), las estructuras que encontramos se han visto modificadas de tal forma que los valores del factor de llenado, que se podrían obtener en tres dimensiones, son inciertos.

Debido a que las observaciones en filtros de interferencia centrados en $H\alpha$ se encuentran sumados $H\alpha$ con el doblete de [NII] se requiere descontar la contribución del [NII]. A partir de los datos espectroscópicos de las radiogalaxias de líneas delgadas de Costero & Osterbrock (1977), Koski (1978) y Cen A (Osterbrock & Miller 1975), obtuvimos el valor promedio del cociente $\frac{[NII]\lambda 6549 + [NII]\lambda 6583}{H\alpha}$. Además, debido a que en algunas galaxias solamente tenemos observaciones en [OIII], igualmente calculamos el cociente de $\frac{[OIII]\lambda 5007}{H\alpha}$ a partir de los datos espectroscópicos ya indicados y los

datos de las galaxias en las que tenemos observaciones de [OIII] y H α , esta ultima ya corregida del doblete del [NII]. Estos cociente se obtuvieron objeto por objeto y se calcularon los promedios que se aplicaron a la muestra.

Los valores que obtuvimos del conjunto de radiogalaxias que usamos son:

- $\frac{[NII]\lambda 6548 + [NII]\lambda 6583}{H\alpha} \sim 1.3 \pm 0.8$
- $\frac{[OIII]\lambda 5007}{H\alpha} \sim 0.9 \pm 0.7$

El cociente del N[II]/H α está dentro de los valores esperados para las líneas delgadas en NAGs (~ 1.2), no así el de [OIII]/H α que es más heterogéneo en las radiogalaxias de líneas angostas. Con estos cocientes obtuvimos las luminosidades en H α para cada galaxia.

Con las luminosidades de H α , los volúmenes de las RELE y usando las ecuaciones 3.1 a 3.4 obtuvimos los valores de n_e (rms), M_{gas} (rms) y U (rms), para cada galaxia, los cuales mostramos en la Tabla 3.4 que contiene: Col. (1) nombre de la fuente; Col. (2) la densidad electrónica rms en cm^{-3} ; Col. (3) la masa rms en unidades de M_{\odot} del gas en la nube que está emitiendo; Col. (4) el parámetro de ionización rms en unidades de 10^{-2} .

Para mostrar como es el comportamiento global de estos tres parámetros, los graficamos en histogramas (Figs. 3.8), de los cuales encontramos que la densidad electrónica rms (Fig. 3.8a) se encuentra en el intervalo de 0.02 a 0.26 cm^{-3} ; la masa rms del gas (Fig. 3.8b) de las RELE se encuentran entre 1.16×10^8 y $2.63 \times 10^9 M_{\odot}$; mientras que el parámetro de ionización rms (Fig. 3.8c) está en el intervalo de 0.05×10^{-2} a 1.06×10^{-2} . Los valores promedio de estos parámetros son: $\langle n_e(rms) \rangle = 0.09 \text{ cm}^{-3}$, $\langle M(rms) \rangle = 9.23 \times 10^8 M_{\odot}$, $\langle U(rms) \rangle = 0.40 \times 10^{-2}$.

Los valores que obtuvimos del parámetro de ionización están de acuerdo con los valores que se han estimado para los NAGs (0.01×10^{-2} a 10×10^{-2}), mientras que los valores de la densidad electrónica rms son compatibles con la densidad obtenido de datos espectroscópicos de las RELE resueltas en radiogalaxias potentes (n_e (rms) $3 \times 10^2 \text{ cm}^{-3}$). Estos parámetros se han calculado de forma similar para radiogalaxias potentes (Baum & Heckman, 1989a): $\langle n_e(rms) \rangle = 0.05$ a 0.5 cm^{-3} ; $\langle M(rms) \rangle = 4 \times 10^7$ a $6 \times 10^9 M_{\odot}$; $\langle U(rms) \rangle = 0.03 \times 10^{-2}$ a 4×10^{-2} . Comparando estos límites de las RGP con los que hemos obtenido para RGD tenemos que son similares, independientemente de la potencia en radio. En el siguiente capítulo se muestra cómo

se comportan estos parámetros en función de las peculiaridades morfológicas y del medio ambiente de las galaxias huésped.

3.5.4 Descripción de Galaxias Individuales

A continuación describimos para cada fuente estudiada, las propiedades en $H\alpha+[NII]$ y $[OIII]$, así como la comparación con los datos de radio y banda ancha.

- B2 0034+25. Esta fuente presenta regiones extendidas con líneas en emisión en ambos filtros de interferencia: $H\alpha+[NII]$ y $[OIII]$, en forma ovalada centralmente condensada y parece seguir la distribución de la estructura observada en banda ancha con los mismos ángulos de posición. En la imagen de $H\alpha+[NII]$ parece existir una ligera extensión hacia el SW. En el caso de $[OIII]$ la morfología es más concentrada hacia el centro. No parece existir correlación con la estructura en radio, la cual consiste de jets bipolares casi orientados E-W con tamaños ~ 19 kpc (Fanti et al. 1986), Fig. 3.1a y Fig. 3.2a.
- B2 0055+26 (NGC 326). Se trata de un par de galaxias, en las que ambas presentan regiones extendidas con líneas en emisión concentradas alrededor de los núcleos, en forma ovalada y ambos núcleos muestran intensidad muy similar. La estructura en radio es muy extendida, \sim minutos de arco donde la galaxia del NW parece ser a la que se le asocia la emisión en radio (Ekers et al. 1978). La emisión óptica sólo corresponde a la estructura del radio núcleo que muestra una extensión con tamaños ~ 1.6 kpc, en dirección casi E-W, Fig. 3.1a.
- B2 0116+31 (4C 31.04). A partir de las observaciones de banda ancha se encuentra que se trata de un par de galaxias, como en el caso anterior, rodeados en un halo común. En este caso la región extendida con líneas en emisión sólo está presente en la fuente más brillante, esta región tiene forma elíptica la cual cambia su ángulo de posición conforme se adentra en la fuente (Fig. 3.1a). Esta radiogalaxia no presenta estructura extendida en radio, se considera una fuente puntual la cual se usa como calibrador para el VLA (Fanti et al. 1987).
- B2 0120+33 (NGC 507). Esta galaxia presenta una región extendida con líneas en emisión alrededor del núcleo, la cual es de forma elíptica casi con el mismo

ángulo de posición de las imágenes de banda ancha. Esta fuente en radio presenta un *jet* poco definido pero un par de lóbulos orientados casi E-W que se extienden hasta distancias de ~ 14 kpc (de Ruiter et al. 1986). Cuando se comparan ambas estructuras se tiene que presentan sólo coincidencia en la parte del núcleo, Fig. 3.1a y Fig. 3.2a.

- B2 0331+39 (4C 39.12). Es una galaxia con una región extendida con líneas en emisión no resuelta (Fig. 3.1a), la cual parece coincidir con el radio centro el cual tampoco está resuelto, aunque si muestra un halo débil en radio, con extensión de ~ 20 kpc (Parma et al. 1986). Las estructuras de la RELE y de radio, sobrepuestas, las presentamos en la Fig. 3.2a, en la que se muestra la concordancia entre ambas estructuras no resueltas.
- B2 0838+32 (4C 32.26). Esta fuente está asociada al cúmulo Abell 695. A partir de las imágenes de banda ancha encontramos que se trata de un sistema de al menos cuatro galaxias en un mismo halo. En las imágenes de línea encontramos una cierta estructura de forma ovalada en la galaxia más brillante (Fig. 3.1a). Los mapas de radio muestran dos fuentes posibles de emisión (de Ruiter et al. 1986). La más intensa es a la que le asociamos la región extendida con líneas en emisión. Esta fuente tiene una extensión en radio al W, en el óptico parece haber una cierta extensión pero al SW.
- B2 0913+38. Galaxia que presenta una región extendida con líneas en emisión que aunque concentrada alrededor del núcleo, parece seguir la estructura de banda ancha (Fig. 3.1b). Además, esta región parece tener una buena coincidencia espacial con la región central de la estructura en radio de la región central (Fanti et al. 1978), Fig. 3.2a. A gran escala la radio fuente consiste de dos lóbulos bipolares con tamaños del orden de minutos de arco, con una estructura compleja y varios máximos (Parma et al. 1986). Tanto la estructura en radio como en línea en emisión son bastante complejas.
- B2 0916+33. A partir de las imágenes de banda ancha encontramos que se trata de una galaxia espiral con dos núcleos, en este caso encontramos que la región extendida con líneas en emisión se encuentra alrededor de éstos siendo más intensa la del NW, así como en una posible región HII, en el brazo del

SW, observado en $H\alpha+[NII]$ (Fig. 3.1b). En $[OIII]$ la región extendida está distribuida sólo alrededor de los dos núcleos. En esta fuente no contamos con el mapa en radio, sin embargo la distribución de energía con la frecuencia en el radio continuo es empinada con $\alpha \sim -1.07$ (Colla et al. 1975b).

- B2 1116+28. Galaxia con región extendida con $H\alpha+[NII]$ en emisión muy concentrada alrededor del núcleo, con ángulo de posición de 45° (Fig. 3.1b), diferente al de la distribución de banda ancha que es de 14° . En el caso de la estructura de radio sólo coincide el radio centro, la estructura en radio más extendida es más débil con dirección E-W, con tamaños del 49 kpc y 73 kpc, respectivamente (Fanti et al. 1978).
- B2 1144+35. Radiogalaxia con región con líneas en emisión central en $H\alpha+[NII]$ con un abanico en dirección E (Fig. 3.1b), esta emisión central es muy intensa, sin embargo en radio la estructura es débil, en forma de *jet* al SE con extensión del orden de segundos de arco y muestra varios máximos al SE y NW (Parma et al. 1986), Fig. 3.2a.
- B2 1322+36 (NGC 5141). Galaxia con región extendida con líneas en emisión concentrada en la región central, que parece seguir una forma de "S" en dirección E-W e isocontornos intensos, con tamaño del orden de segundos de arco (Fig. 3.1b). La estructura en radio es extendida en dirección N-S en forma de dos lóbulos (Fanti et al. 1986), que no parecen coincidir con la región extendida óptica que se encuentra perpendicular a ésta (Fig. 3.2a).
- B2 1339+26 (4C 26.41). Par de galaxias en las que la región extendida con líneas en emisión se localiza alrededor de ambas fuentes, las cuales presentan estructuras amorfas (Fig. 3.1b). Este es el único caso de nuestra muestra en que ambas fuentes son NAGs. Las dos galaxias son radiogalaxias de distintos tipos: la del W es una radiofuente con estructura elongada con un ángulo de apertura amplio (*Wide Angle Tail*) y la del E es una radiogalaxia con estructura elongada y la cabeza de esta (*heat-tail*) (Parma et al. 1986). En ambas galaxias los máximos en radio y en línea coinciden (Fig. 3.2b). Estas fuentes están asociadas al cúmulo Abell 1775 que es uno de los casos de fuentes en el que se

han encontrado halos observados en rayos-X con tamaños del orden de minutos de arco (Jones et al. 1979).

- B2 1346+26 (4C 26.42). Esta fuente es la más brillante (galaxia cD) del cúmulo Abell 1795, a la cual se le ha asociado también una región extendida observada en rayos-X (Jones et al. 1979). Esta fuente en observaciones de banda ancha (ver Cap. 2) parece presentar una extensión al SW (Fig. 3.3), sin embargo en radio es una fuente que presenta varios cambios en su estructura vista a diferentes resoluciones. En escalas de segundo de arco se encuentra que el radio centro no coincide con el centro de la galaxia óptica (Parma et al. 1986). En observaciones con mayor resolución en escalas de kpc se encuentran dos máximos, uno de los cuales, el menos intenso, es el que parece coincidir con el centro de la galaxia óptica; también se encuentran dos lóbulos que siguen una forma de "S" (Bridle & Fomalot, 1978), Fig. 3.3. Esta fuente ya ha sido observada en filtros de interferencia de $H\alpha$ por van Breugel et al. (1984), los cuales encuentran la presencia de una región extendida con líneas en emisión que parece estar correlacionada con la estructura en radio y aparentemente anticorrelacionada con la estructura observada en radio polarización. A partir de nuestras observaciones de línea reproducimos la estructura en $H\alpha$ de van Breugel et al. En el caso de la imagen en [OIII] encontramos que presenta dos lóbulos los cuales están en dirección casi N-S con un "puente" entre ambos lóbulos. El lóbulo del S presenta una extensión hacia el W, aunque en las imágenes de banda ancha encontramos una extensión casi en la misma dirección (SW) ambas no parecen coincidir espacialmente. Cuando comparamos nuestras imágenes de [OIII] con la estructura de radio encontramos que si existe una coincidencia espacial con los radio lóbulos. En la Fig. 3.3 presentamos en contornos punteados la estructura en banda ancha (V de Johnson), en color la estructura de línea y en isocontornos continuos la radio estructura a 6 cm.
- B2 1357+28. Esta fuente presenta una región extendida con líneas en emisión, en dirección NW-SE la cual parece coincidir con el ángulo de posición de la estructura en banda ancha (Fig. 3.1b), con forma alargada con tamaños del orden de segundos de arco. La estructura en radio corresponde a una fuente de dos jets bipolares que terminan en lóbulos en dirección casi N-S, con tamaños

del orden de 24 kpc; la estructura en el óptico parece coincidir sólo en la parte central.

- B2 1422+26. Radiogalaxia con estructura en radio de dos lóbulos extendidos en dirección casi E-W, con tamaños del orden de 32 kpc (de Ruiter et al. 1986). En esta fuente encontramos una región extendida con líneas en emisión con estructura centralmente concentrada con extensión al S del máximo de emisión y radio del orden de segundos de arco, la cual parece coincidir con la región central no resuelta de radio y una posible emisión en radio al S (Fig. 3.1b y Fig. 3.2b). Se requiere mapa en radio con mayor resolución.
- B2 1441+26. Radiogalaxia que presenta radio estructura en forma de dos lóbulos en dirección casi E-W, la cual tiene radios del orden de 108 kpc; en la que no está resuelta la región central (de Ruiter et al. 1986). A partir de nuestras observaciones en el óptico en banda ancha encontramos que se trata de una galaxia espiral con los brazos relativamente bien delineados. En nuestras observaciones de línea encontramos que la región con líneas en emisión es muy central. Esta es la fuente más débil que pudimos resolver de la muestra.
- B2 1557+26. Región extendida con líneas en emisión con dirección E-W que muestra un ángulo de posición similar al de banda ancha (Fig. 3.1c) e igualmente al de la radio estructura la cual consiste de una elongación en dirección E-W (Fanti et al. 1978). Los isocontornos internos tienen una elongación casi N-S.
- B2 1652+39 (4C 39.49). Esta fuente es de las catalogadas como objeto BL Lacertae (Mrk 501) que en radio muestra una fuente compacta o radio centro no resuelto (Fanti et al. 1987). La imagen en banda ancha corresponde a la de una galaxia elíptica y en las imágenes de línea encontramos una región con líneas en emisión extremadamente compacta en forma ovalada (Fig. 3.1c).
- B2 1658+30 (4C 30.31). En banda ancha encontramos que se trata de un par de galaxias, en el que la región extendida con líneas en emisión está presente alrededor del núcleo más intenso, el cual parece tener una elongación en dirección SW en forma de "C". Es interesante notar que esta fuente presenta una

estructura en $H\alpha$ que se asemeja a dos conos, siendo el del SW más intenso que el del N (Fig. 3.1c). La estructura en radio frecuencias es compleja, con dos lóbulos a distancias del orden de 41 kpc, los cuales tienen una dirección NE-SW (Fanti et al. 1978), Fig. 3.2b. La estructura en línea parece sólo mostrar extensión en la dirección del lóbulo del SW. Se requiere un mapa en radio de mejor resolución.

- B2 1752+32. Par de galaxias en el mismo halo. En este sistema la región extendida con líneas en emisión parece estar asociada a la fuente más intensa con una forma elíptica orientada casi E-W (Fig. 3.1c), aunque si muestra una elongación en dirección de la fuente secundaria. La estructura en radio corresponde a dos *jets* en dirección NE-SW con radios de 16 y 26 kpc (Parma et al. 1987). La estructura en radio no corresponde a la del óptico (Fig. 3.2b), ni en forma ni tampoco en los ángulos de posición. En mayores escalas de radio presenta una estructura en forma de "S" (Fanti et al. 1978).
- B2 1833+32 (3C 382). Esta radiogalaxia presenta una región extendida en radio con tamaños de 77 kpc, y alta radio potencia que se asemeja más a las radiofuentes de tipo FR II que a las RGDs. La estructura corresponde a dos lóbulos con dirección NE-SW, un centro no resuelto y sin la presencia aparente de *jets* (Parma et al. 1986). La estructura en banda ancha muestra a una galaxia huésped elíptica con una posible compañera al W, mucho más débil. En las observaciones de banda angosta encontramos una región con líneas en emisión central en forma de "S" en dirección NW-SE (Fig. 3.1c). Este tipo de forma de "S" se ha observado en las RELE de las radiogalaxias potentes, por ejemplo en PKS 2158-380 (Hansen et al. 1987).
- B2 1855+37. Estructura en radio en forma de un halo con dirección N-S y tamaño del orden de 4.8 kpc (Parma et al. 1986), mientras que la estructura de línea en emisión no está resuelta aunque parece elongada N-S y sólo parece coincidir con el radio centro no resuelto, ver Fig. 3.1c y Fig. 3.2b.
- B2 2116+26. Galaxia elíptica con una región con líneas en emisión no resuelta. La estructura en radio es de dos *jets* en dirección casi N-S (Parma et al. 1986),

con tamaños del orden de 9.54 kpc que se asemeja a la estructura de banda ancha, en tamaño y en ángulo de posición.

- B2 2236+35. Galaxia elíptica que presenta una región con líneas en emisión no resuelta, que coincide con la estructura de radio del centro de la fuente. La estructura en radio a gran escala corresponde a una radiofuente de dos lóbulos con extensiones del orden de minutos de arco (Parma et al. 1986).
- B2 2320+32. Las observaciones de banda ancha de esta radiofuente muestran que se trata de una galaxia peculiar con dos brazos encontrados. Las imágenes de línea muestran (Fig. 3.1c) una región con líneas en emisión muy compleja en diferentes partes además de la región central: en $H\alpha + [NII]$ presenta varios máximos en lo que correspondería a los brazos y en el núcleo; en $[OIII]$ presenta un máximo en la parte central y en uno de los brazos. Estos máximos podrían corresponder a regiones HII en los brazos. No se tienen mapas en radio de esta fuente, sin embargo su índice espectral de radio continuo es empinado (Colla et al. 1975). Dada la complejidad de la estructura, en este caso mostramos ambas imágenes de línea (Fig. 3.1c). Es necesario obtener mapas de radio con resolución similar.
- B2 2335+26 (NGC 7720). Las imágenes en banda ancha muestran un par de galaxias (Cap. 2) y en las observaciones en banda angosta presentan regiones con líneas en emisión alrededor de los núcleos en forma ovalada (Fig. 3.1c), con la misma dirección de las de banda ancha. Los mapas en radio muestran una radio estructura en forma de "C", en la que predomina la emisión de los lóbulos ya que el radio centro no está resuelto, los tamaños de los lóbulos son del orden de 158 kpc (van Breugel 1980). Esta estructura en radio no tiene correspondencia con la de línea óptica en emisión. La fuente presenta emisión en rayos-X, en forma de halos con tamaños del orden $12'.4$ (Jones et al. 1979) y se asocia a una galaxia D del cúmulo de Abell 2634.

3.6 Conclusiones

En éste capítulo hemos presentado los resultados de un programa de observaciones ópticas en filtros de interferencia centrados en las líneas: $H\alpha + [NII] \lambda\lambda 6548, 6583$ y

[OIII] λ 5007, al correspondiente corrimiento al rojo, de un total de 26 radiogalaxias débiles para estudiar las propiedades de las RELE. Obtenemos los siguientes resultados, con los que tratamos de responder algunas de las interrogantes que nos planteamos al principio de este trabajo:

1. En el 100 % se detectó la presencia de regiones con líneas de $H\alpha$ y/o [OIII] que señalan la presencia de gas ionizado.
2. En $\sim 81\%$ de las galaxias de nuestra muestra hemos podido resolver estas regiones; este porcentaje es semejante al encontrado para radiogalaxias potentes que es $\sim 85\%$. De estos porcentajes deducimos que el gas ionizado está presente en galaxias huésped de radiofuentes independientemente de la potencia de la emisión en radio.
3. Los radios de las RELE que resolvemos varían de 1.6 a 9.1 kpc., con un valor promedio de ~ 4.6 kpc. Comparando estos radios con los que se han obtenido para las radiogalaxias potentes, encontramos que son del orden de la mitad. Esta relación de radios puede reflejar la eficiencia en la capacidad de ionización de la máquina central o la posibilidad de que el radio *jet* sea el causante de la ionización, o una combinación de ambas posibilidades.
4. La morfología de las RELE es muy variada, predominan las formas ovaladas centralmente condensadas y en pocos casos presentan estructuras amorfas. En muchos de los casos encontramos que sólo la parte central de la estructura en radio frecuencias coincide espacialmente con las estructuras de las RELE. Un caso espectacular es el de B2 1346+26, en el que la morfología es semejante a dos lóbulos "ópticos" bien definidos, los que coinciden espacialmente con los lóbulos de radio.
5. A partir del acervo de imágenes ya calibradas obtuvimos las luminosidades en: $H\alpha$ + [NII] y [OIII], las cuales tienen un intervalo de 1.3×10^{39} a 6.7×10^{41} ergs s^{-1} , con un valor promedio de 1.1×10^{41} ergs s^{-1} . Al comparar este valor con los de otros tipos de NAGs encontramos que en promedio es un orden y medio de magnitud mayor que el de las galaxias Seyfert y es comparable al de las radiogalaxias potentes, aunque un poco menor (~ 3 veces menor).

6. A partir de los valores de luminosidad en $H\alpha$ calculamos: 1) la densidad electrónica rms la que varía de 0.02 a 0.26 cm^{-3} ; 2) la masa rms del gas ionizado que está emitiendo el que varía de 1.16×10^8 a $2.63 \times 10^9 M_{\odot}$; y 3) el parámetro de ionización rms el cual está entre 0.05×10^{-2} y 1.06×10^{-2} . Estos valores son del mismo orden de magnitud que los obtenidos para las radiogalaxias potentes, aunque los valores son 3 veces menor, lo que sugiere que, independientemente de la potencia de la fuente central, los parámetros de las RELE son similares.

3.7 Referencias

- Baum S.A., Heckman, T., Bridle, A., van Breugel, W., Miley, G., 1988, *Ap. J. Suppl. Ser.*, **68**, 643.
- Barnes, J., 1993, *A Beginner's Guide to Using IRAF (IRAF Version 2.10)*, beguide.ps.Z (iraf/docs directory).
- Baum S.A., Heckman, T., 1989a, *Ap. J.*, **336**, 681.
- Baum S.A., Heckman, T., 1989b, *Ap. J.*, **336**, 702.
- Bridle, A.H., Fomalont, E.B., 1978, *Astr. J.*, **83**, 704.
- Brocklehurst, M., 1971, *M.N.R.A.S.*, **153**, 471.
- Capetti, A., Morganti, R., Parma, P., Fanti, R., 1993, *Astr. Ap. Suppl. Ser.*, **99**, 407.
- Carrillo, R., Cruz-González, I., Guichard, J., 1995a, (Cap. 2), en preparación.
- Carrillo, R., Cruz-González, I., Guichard, J., 1995c, (Cap. 4) en preparación.
- Colla, G., Fanti, C., Fanti, R., Ficarra, A., Formiggini, L., Gandolfi, E., Gioia, I., Lari, C., Marano, B., Padrielli, L., Tomasi, P., 1973, *Astr. Ap. Suppl.*, **11**, 291.
- Colla, G., Fanti, C., Fanti, R., Gioia, I., Lari, C., Lequeux, J., Lucas, R., Ulrich, M.H., 1975a, *Astr. Ap.*, **38**, 209.
- Colla, G., Fanti, C., Fanti, R., Gioia, I., Lari, C., Lequeux, J., Lucas, R., Ulrich, M.H., 1975b, *Astr. Ap. Suppl.*, **20**, 1.
- Cornell, M.E., Aaronso, M., Bothun, G., Mould, J., 1987, *Ap. J. Suppl. Ser.*, **64**, 507.
- Costero, R., Osterbrock, D.E., 1977, *Ap. J.*, **211**, 675.
- de Ruiter, H.R., Parma, P., Fanti, C., Fanti, R., 1986, *Astr. Ap. Suppl. Ser.*, **65**, 111.
- Ekers, et al., 1978, *Nature*, **276**, 588.
- Fabbiano, G., Fassnacht, C., Trinchieri, G., 1994, *Ap. J.*, **434**, 67.
- Fanaroff, B.L., Riley, I.M., 1974, *M.N.R.A.S.*, **167**, 31P.
- Fanti, R., Gioia, I., Lari, C., Lequeux, J., Lucas, R., 1973, *Astr. Ap.*, **24**, 69.
- Fanti, R., Gioia, I., Lari, C., Ulrich, M.H., 1978, *Astr. Ap. Suppl.*, **34**, 341.
- Fanti, C., Fanti, R., de Ruiter, H.R., Parma, P., 1986, *Astr. Ap. Suppl. Ser.*, **65**, 145.
- Fanti, C., Fanti, R., de Ruiter, H.R., Parma, P., 1987, *Astr. Ap. Suppl. Ser.*, **69**, 57.
- Fosbury, R.A.E., Tadhunter, C.N., Bland, J., Danziger, I.J., 1984, *M.N.R.A.S.*, **208**, 955.
- Ford, H.C., Butcher, H., 1979, *Ap. J. Suppl.*, **41**, 147.
- Golombeck, D., 1992, *comunicación privada*.

- Hamabe, M., 1993, *comunicación privada*.
- Hansen, L., Nørgaard-Nielson, H.U., Jørgensen, H.E., 1987, *Astr. Ap. Suppl. Ser.*, **71**, 465.
- Heckman, T.M., 1981, *Ap. J.*, **250**, L39.
- Jones, C., Mandel, E., Schwarz, J., Forman, W., Murray, S.S., Harnden, F.R., 1979, *Ap. J.*, **243**, L21.
- Kent, S.M., 1984, *Ap. J. Suppl.*, **56**, 105.
- Koski, A.T., 1978, *Ap. J.*, **223**, 56.
- Lucy, L.B., 1974, *Astr. J.*, **79**, 745.
- Massey, P., 1992, *A User's Guide to CCD Reduction with IRAF*, ccduser2.ps.Z (iraf/docs directory).
- Massey, P., Davis, L., 1992, *A User's Guide to Stellar CCD Photometry with IRAF*, daophot2.ps.Z (iraf/docs directory).
- Morganti, R., Fanti, C., Fanti, R. Parma, P. de Ruiter, H.R., 1987, *Astr. Ap.*, **183**, 203.
- Oke, J.B., 1974, *Ap. J. Suppl. Ser.*, **27**, 21.
- Osterbrock, D.E., 1989, *Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei, University Science Books*.
- Osterbrock, D.E., Miller, J.S., 1975, *Ap. J.*, **197**, 535.
- Parma, P. de Ruiter, H.R., Fanti, C., Fanti, R., 1986, *Astr. Ap. Suppl. Ser.*, **64**, 135.
- Parma, P., Fanti, C., Fanti, R., Morganti, R., de Ruiter, H.R., 1987, *Astr. Ap.*, **181**, 244.
- Pogge, R.W., 1989, *Ap. J.*, **345**, 730.
- Richardson, W.H., 1972, *J. Opt. Soc. Am.*, **62**, 52.
- Robinson, A., Binette, L., Fosbury, R.A.E., Tadhunter, C.N., 1987, *M.N.R.A.S.*, **227**, 97.
- van Breugel, W., 1980, *Astr. Ap.*, **88**, 248.
- van Breugel, W., Heckman, T., Miley, G., 1984, *Ap. J.*, **276**, 79.
- van Breugel, W., Miley, G., Heckman, T., Butcher, H., Bridle, A., 1985, *Ap. J.*, **290**, 496.

3.8 Tablas y Figuras

3.8.1 Tablas

TABLE 3.1
Observaciones CCD de Radiogalaxias Débiles

Fuente B2	Fecha de Obs.	Filtros de Banda Angosta	Tiempo de Integración (s)	FWHM de PSF ($''$)	
0034+25	93 sep	$H\alpha_s$	1200	1.5	
		$H\alpha_c$	1200	1.7	
		$[OIII]_s$	1800	1.6	
		$[OIII]_c$	1200	1.5	
0055+26	92 oct	$H\alpha_s$	1800	1.7	
		$H\alpha_c$	1800	1.8	
		$[OIII]_s$	3600	1.9	
		$[OIII]_c$	3600	1.9	
0116+31	93 sep	$H\alpha_s$	1800	1.7	
		$H\alpha_c$	1800	1.5	
	92 oct	$[OIII]_s$	3600	1.7	
		$[OIII]_c$	3600	1.7	
	0120+33	93 sep	$H\alpha_s$	1800	1.6
			$H\alpha_c$	1800	1.9
$[OIII]_s$			2700	1.8	
$[OIII]_c$			2700	2.3	
0331+39	93 sep	$H\alpha_s$	1800	1.6	
		$H\alpha_c$	1200	1.5	
		$[OIII]_s$	2400	1.6	
		$[OIII]_c$	2400	1.7	
0838+32	92 oct	$[OIII]_s$	2700	1.8	
		$[OIII]_c$	1800	1.9	
0913+38	93 abr	$[OIII]_s$	3600	2.5	
		$[OIII]_c$	3600	2.1	
0916+33	92 oct	$H\alpha_s$	1200	2.2	
		$H\alpha_c$	900	1.8	
		$[OIII]_s$	1800	2.3	
		$[OIII]_c$	1800	2.0	
1116+28	92 mar	$H\alpha_s$	900	1.9	
		$H\alpha_c$	900	1.5	
	93 abr	$[OIII]_s$	1800	2.3	
		$[OIII]_c$	1800	1.8	
1144+35	92 mar	$H\alpha_s$	900	1.0	
		$H\alpha_c$	900	1.1	
1322+36	93 abr	$[OIII]_s$	2400	1.8	
		$[OIII]_c$	2400	1.7	
1339+26	93 mar	$H\alpha_s$	1200	2.1	
		$H\alpha_c$	900	1.8	
1346+26	93 mar	$H\alpha_s$	180	2.0	
		$H\alpha_c$	300	1.7	

Tabla 3.1
Continuación

Fuente B2	Fecha de Obser.	Filtros de Banda Angosta	Tiempo de Integración (s)	FWHM de PSF ($''$)
1357+28	93 abr	[OIII] _z	3600	1.6
		[OIII] _c	2100	1.8
1422+26	92 jun	H α _z	300	2.0
		H α _c	300	1.8
1441+26	93 abr	[OIII] _z	2400	1.8
		[OIII] _c	2400	1.9
1557+26	92 jul	H α _z	900	1.8
		H α _c	900	1.9
	93 abr	[OIII] _z	2400	1.9
		[OIII] _c	2400	1.7
1652+39	93 mar	H α _z	900	2.0
		H α _c	900	2.3
	93 abr	[OIII] _z	2700	1.7
		[OIII] _c	2700	1.5
1658+30	92 Jun	H α _z	300	2.0
		H α _c	300	1.8
	93 abr	[OIII] _z	3300	1.7
		[OIII] _c	2700	1.7
1752+32	93 abr	[OIII] _z	3600	2.0
		[OIII] _c	3600	2.0
1833+32	93 abr	[OIII] _z	3600	1.7
		[OIII] _c	3600	1.8
1855+37	93 sep	H α _z	1800	1.5
		H α _c	1800	1.8
2116+26	92 oct	H α _z	1200	1.9
		H α _c	1200	2.0
		[OIII] _z	1800	1.7
		[OIII] _c	1800	1.8
2236+35	93 sep	H α _z	1800	2.1
		H α _c	1800	2.0
		[OIII] _z	2700	1.9
		[OIII] _c	2700	2.2
2320+32	93 sep	H α _z	1800	1.5
		H α _c	1200	1.6
		[OIII] _z	1800	1.9
		[OIII] _c	1800	1.6
2335+26	92 oct	[OIII] _z	2700	1.8
		[OIII] _c	2700	2.0

z filtro al corrimiento al rojo de la fuente.

c filtro al continuo más cercano del corrimiento al rojo de la fuente.

TABLA 3.2
Densidades de Flujo de Energía y Luminosidades en
H α + [NII] y [OIII] de RGDs

Fuente B2	F _{Hα+ [NII]} (10 ⁻² mJy)	L _{Hα+ [NII]} (10 ⁴⁰ ergs/s)	F _[OIII] (10 ⁻² mJy)	L _[OIII] (10 ⁴⁰ ergs/s)
0034+25	1.82	9.50	0.28	1.94
0055+26	5.85	66.94	1.97	29.51
0116+31	0.06	0.99	0.79	18.84
0120+33	12.93	17.34	4.07	7.15
0331+39	0.06	0.13	0.12	0.33
0838+32			0.20	6.22
0913+38			0.04	1.26
0916+33	1.77	22.80	1.26	21.31
1116+28	0.89	20.76	1.51	45.96
1144+35	0.62	12.74		
1322+36			1.11	15.32
1339+26	0.25	6.14		
1346+26	1.35	28.22		
1357+28			0.14	3.83
1422+26	0.33	2.31		
1441+26			0.04	0.92
1557+26	0.80	7.98	1.01	13.30
1652+39	1.50	8.64	0.27	2.04
1658+30	1.76	11.03	1.38	11.30
1752+32			0.26	3.49
1833+32			0.35	8.17

TABLA 3.2
Continuación

Fuente B2	$F_{H\alpha+[NII]}$ (10^{-2} mJy)	$L_{H\alpha+[NII]}$ (10^{40} ergs/s)	$F_{[OIII]}$ (10^{-2} mJy)	$L_{[OIII]}$ (10^{40} ergs/s)
1855+37	0.02	0.26		
2116+26	0.50	0.68	0.42	0.74
2236+35	0.37	1.44	0.09	0.46
2320+32	5.05	7.89	1.78	3.64
2335+26			0.28	1.68

TABLA 3.3
Tamaño y Angulo de Posición de RELE en RGD

Fuente B2	R (kpc)	AP (°)	Fuente B2	R (kpc)	AP (°)
0034+25	3.2	3	1357+28	5.0	40
0055+26	6.2	152	1422+26	4.0	-32
0116+31	3.6	79	1441+26	no resuelta	
0120+33	1.9	21	1557+26	6.3	90
0331+39	no resuelta		1652+39	2.1	173
0838+32	3.1	40	1658+30	6.9	25
0913+38	5.1	24	1752+32	5.5	92
0916+33	4.6	137	1833+32	3.4	122
1116+28	9.1	45	1855+37	no resuelta	
1144+35	5.7	43	2116+26	no resuelta	
1322+36	3.6	65	2236+35	no resuelta	
1339+26	6.8	90	2320+32	1.9	116
1346+26	7.1	117	2335+26	1.6	100

TABLA 3.4
Propiedades Físicas de RELE en RGD

Fuente B2	n_e (rms) (cm^{-3})	M_{gas} (rms) ($10^6 M_{\odot}$)	U (rms) (10^{-2})
0034+25	0.10	9.91	0.40
0055+26	0.26	26.30	1.06
0116+31	0.15	14.71	0.60
0120+33	0.13	13.39	0.54
0331+39	0.01	1.16	0.05
0838+32	0.08	8.45	0.34
0913+38	0.04	3.80	0.15
0916+33	0.15	15.35	0.62
1116+28	0.15	14.65	0.59
1144+35	0.12	11.48	0.46
1322+36	0.13	13.27	0.54
1339+26	0.08	7.97	0.32
1346+26	0.18	18.00	0.73
1357+28	0.07	6.63	0.27
1422+26	0.05	4.88	0.20
1441+26	0.03	3.26	0.14
1557+26	0.09	9.08	0.37
1652+39	0.09	9.45	0.38
1658+30	0.11	10.68	0.43
1752+32	0.06	6.33	0.26
1833+32	0.10	9.69	0.39

Tabla 3.4
Continuación

Fuente B2	n_e (rms) (cm^{-3})	M_{gas} (rms) ($10^8 M_{\odot}$)	U (rms) (10^{-2})
1855+37	0.02	1.65	0.67
2116+26	0.03	2.64	0.11
2236+35	0.04	3.86	0.16
2320+32	0.09	9.03	0.37
2335+26	0.04	4.39	0.18

3.8.2 Figuras

Fig. 3.1 Imágenes en filtros de interferencia centrados en $H\alpha+[NII]\lambda\lambda 6548, 6583$ y/o $[OIII]\lambda 5007$, de las galaxias de nuestra muestra en la que encontramos emisión extendida. Para cada galaxia la orientación es: N arriba y E a la izquierda. La barra que se muestra corresponde a $15''$.

Las siguientes figuras corresponden a la secuencia de imágenes de izquierda a derecha:



Fig. 3.1a B2 0034+25 $H+[NII]$, B2 0055+26 $[OIII]$, B2 0116+31 $H+[NII]$, B2 0120+33 $H+[NII]$, B2 0331+39 $H+[NII]$, B2 0838+32 $[OIII]$.

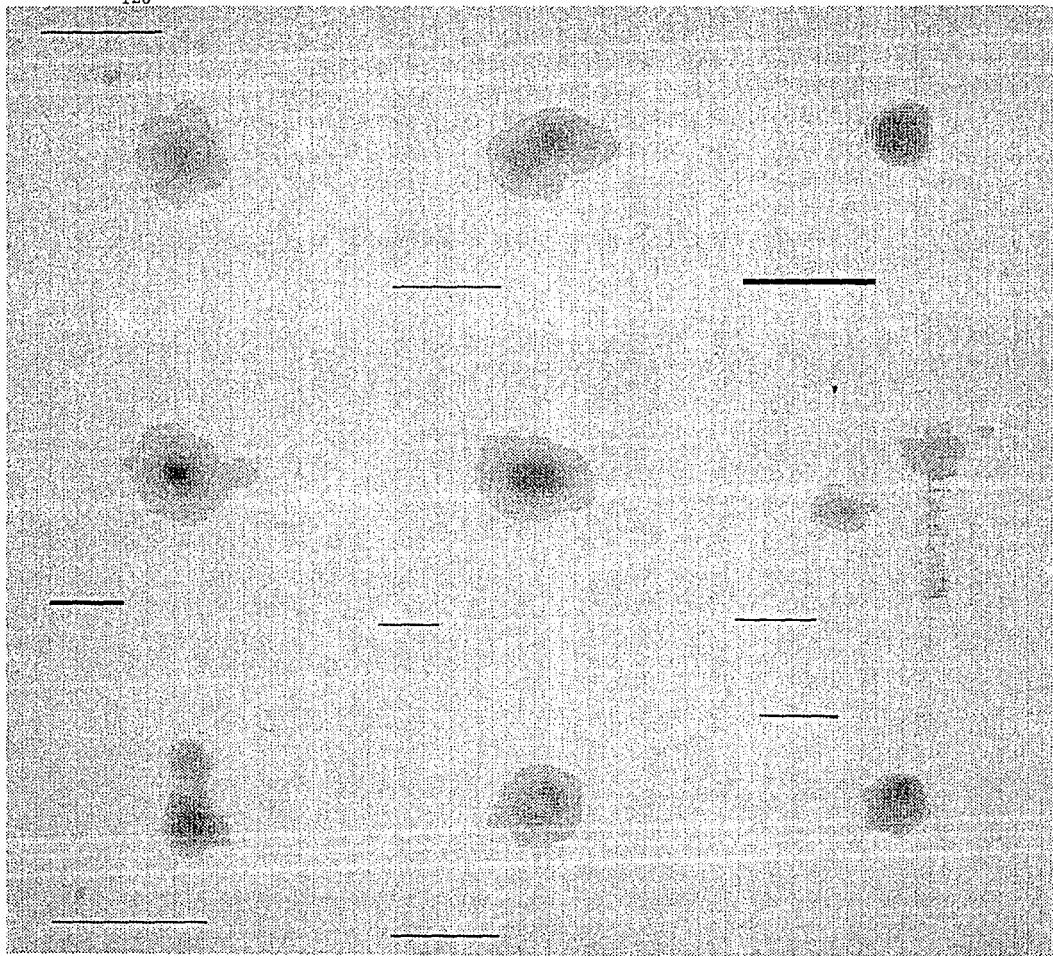


Fig. 3.1b B2 0913+38 H+[NII], B2 0916+33 H+[NII], B2 1116+28 H+[NII], B2 1144+35 H+[NII], B2 1322+36 [OIII], B2 1339+26 [OIII], B2 1346+26 [OIII], B2 1357+28 [OIII], B2 1422+26 H+[NII].

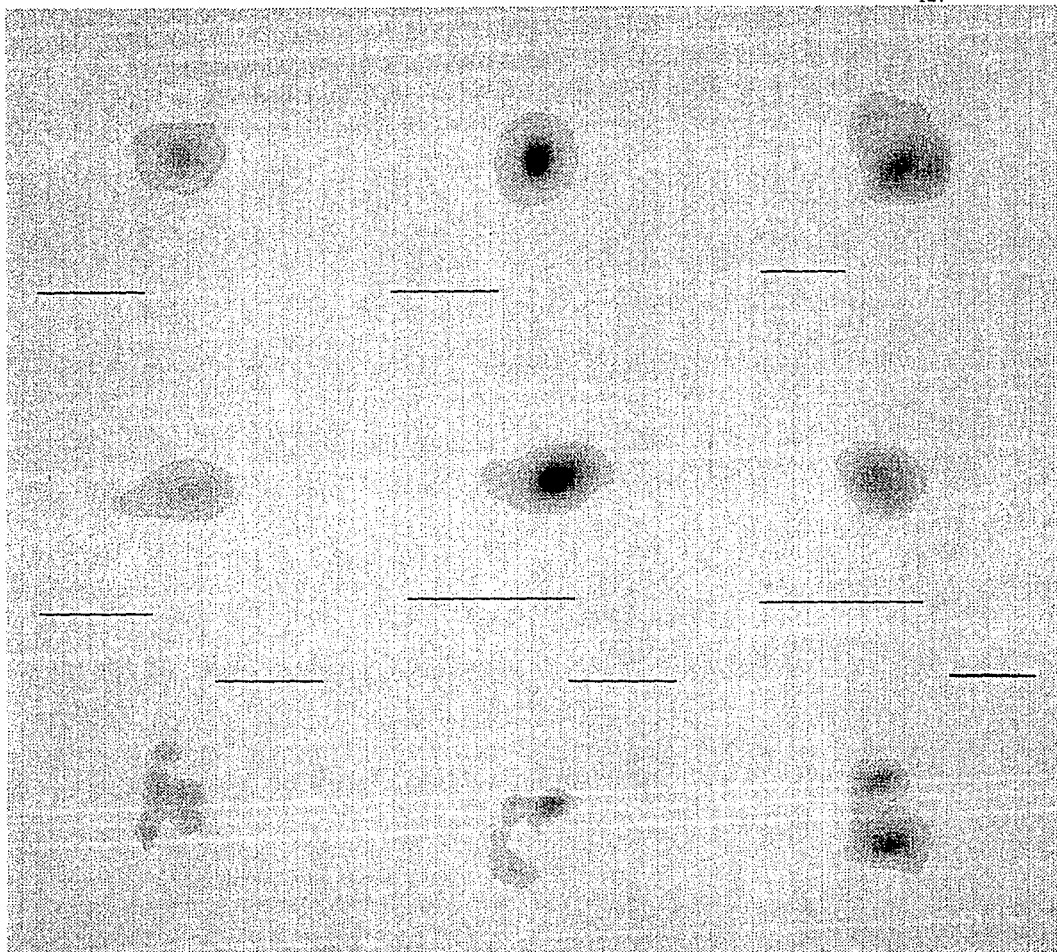


Fig. 3.1c B2 1557+26 [OIII], B2 1652+39 [OIII], B2 1658+30 H+[NII], B2 1752+32 [OIII], B2 1833+32 [OIII], B2 1855+37 H+[NII], B2 2320+32 H+[NII], B2 2320+32 [OIII], B2 2335+26 [OIII].

Fig. 3.2 Imágenes en filtros de interferencia centrados en $H\alpha + [NII]\lambda\lambda 6548, 6583$ y/o $[OIII]\lambda 5007$, de las galaxias de nuestra muestra en la que encontramos emisión extendida. Comparadas con las radio estructuras en las que los tamaños son comparables, isocontornos negros (referencias citadas del grupo de Boloña).

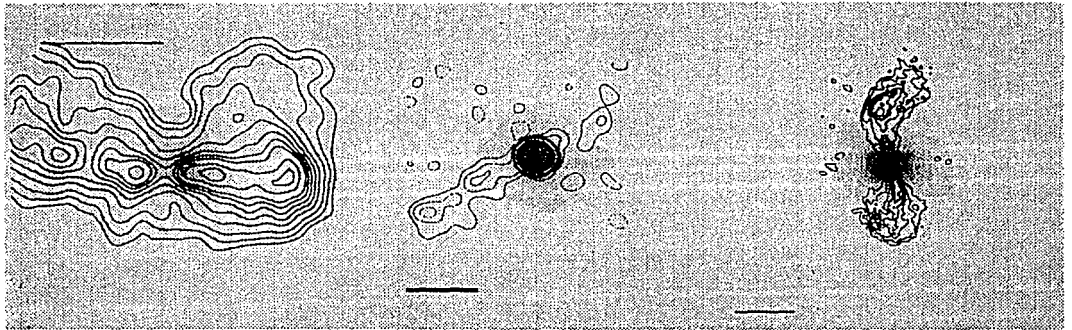
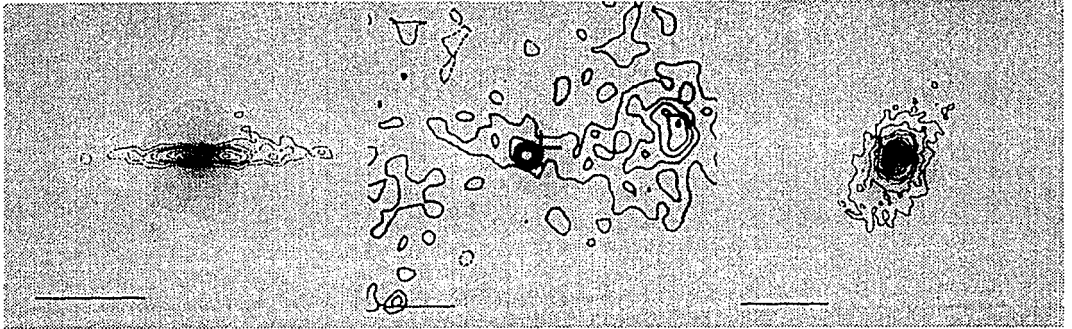


Fig. 3.2a B2 0034+25 $H + [NII]$, B2 0120+33 $H + [NII]$, B2 0331+39 $H + [NII]$, B2 0913+38 $H + [NII]$, B2 1144+35 $H + [NII]$, B2 1322+36 $[OIII]$.

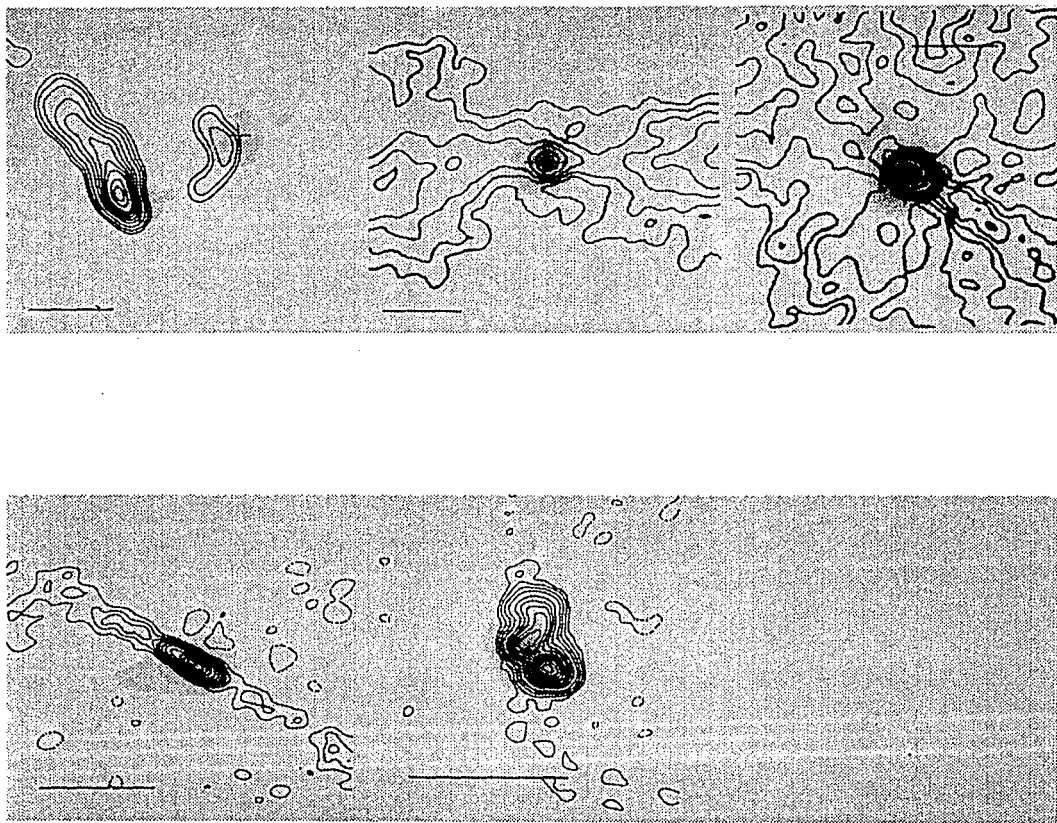


Fig. 3.2b B2 1339+26 [OIII], B2 1422+26 H+[NII], B2' 1658+30 H+[NII], B2 1752+32 [OIII], B2 1855+37 H+[NII].

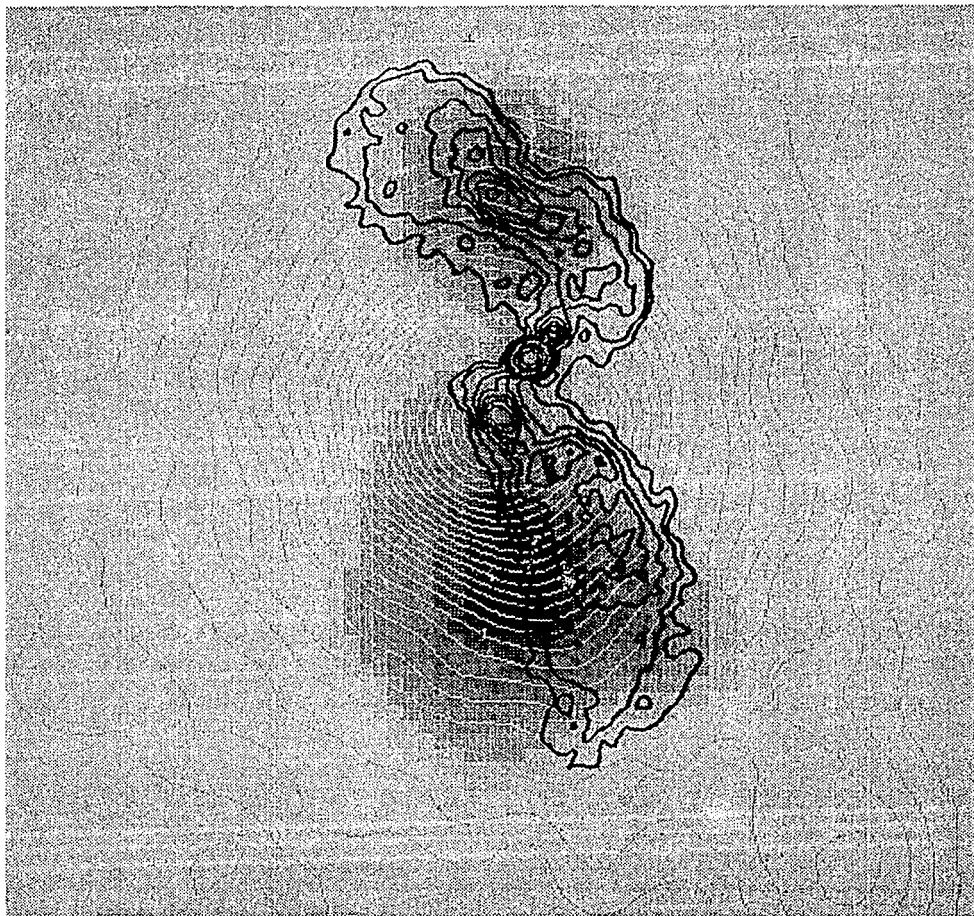


Fig. 3.3 Imagen de B2 1346+26 obtenida con el filtro de interferencia centrado en $[OIII]\lambda 5007$ (imagen en color), comparado con la radio estructura a 6 cm, isocontornos negros (van Breugel et al. 1984) y la estructura de la galaxia huésped, emisión de continuo en V, isocontornos verde (Carrillo et al. 1995a).

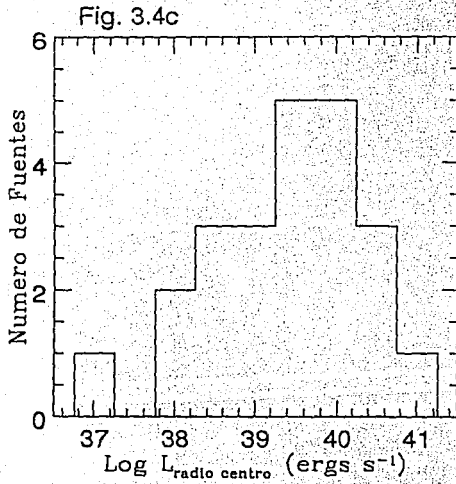
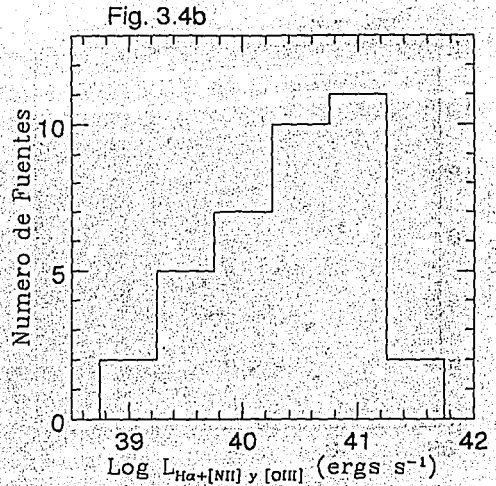
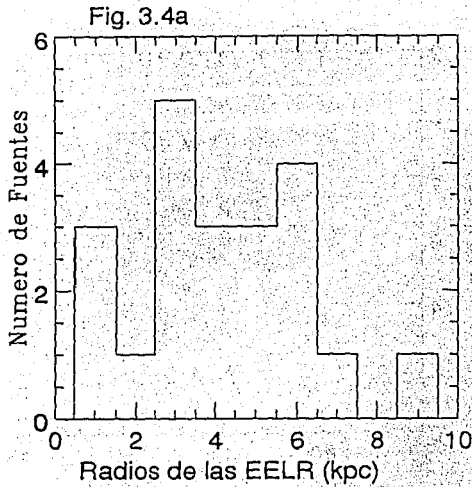


Fig. 3.4 Histogramas de: a) Radio lineal de las RELE (kpc) vs. el número de fuentes; b) Logaritmo de las luminosidades en $H\alpha+[NII]$ y $[OIII]$ (ergs s^{-1}) vs. número de fuentes; c) Logaritmo de las luminosidades del radio centro (ergs s^{-1}) vs. número de fuentes.

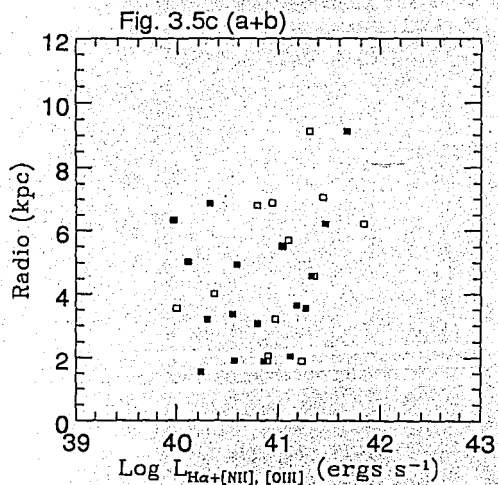
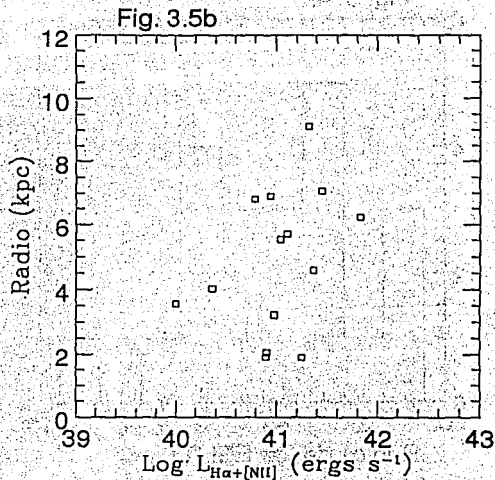
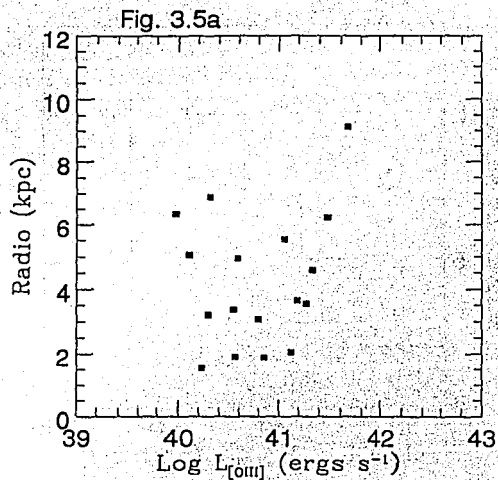


Fig. 3.5 Gráficas de la luminosidad de línea (ergs s^{-1}) vs. el radio de las RELE (kpc): a) Luminosidad en [OIII]; b) Luminosidad en $H\alpha$ + [NII]; c) Luminosidad en ambas líneas

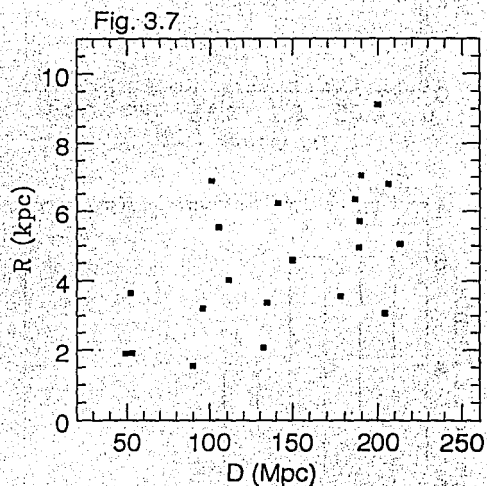
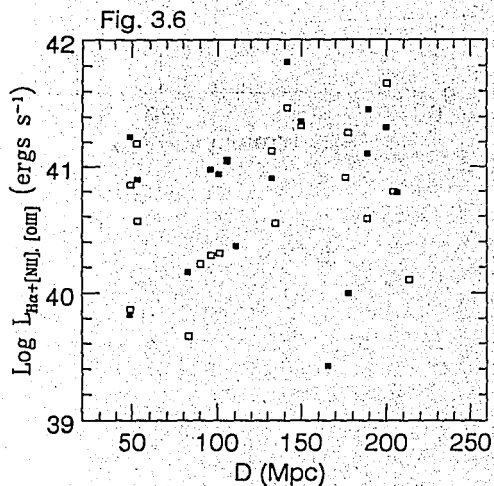


Fig. 3.6 Gráfica de la luminosidad de línea en $H\alpha+[NII]$ (■) y $[OIII]$ (□) en unidades de ergs s^{-1} vs. la distancia de la galaxia huésped (Mpc).

Fig. 3.7 Gráfica del radio de las RELE (kpc) vs. la distancia de la galaxia huésped (Mpc).

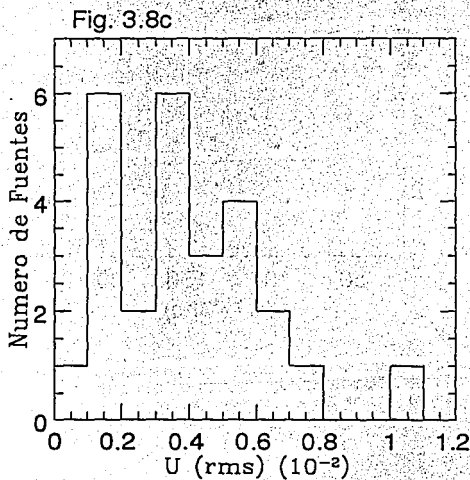
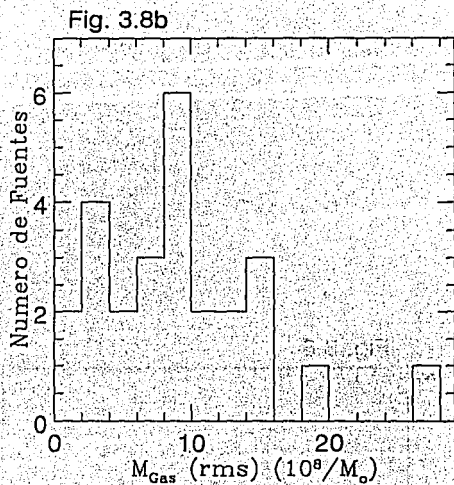
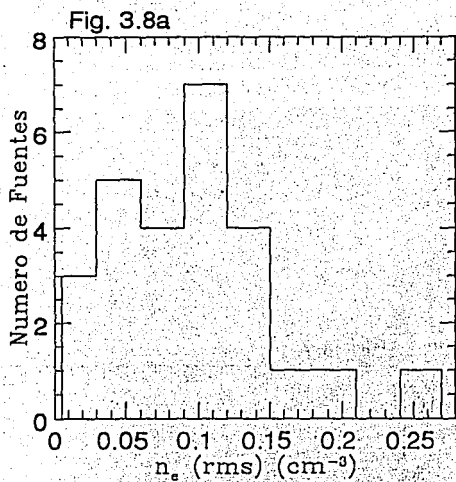


Fig. 3.8 Histogramas de: a) el valor rms de la densidad electrónica (cm^{-3}) vs. el número de fuentes; b) el valor rms de la masa del gas de las RELE ($10^8 / M_{\odot}$) vs. el número de fuentes; c) el valor rms del parámetro de ionización (U) vs. el número de fuentes.

Capítulo 4

RADIOGALAXIAS DEBILES III: CONDICIONES FISICAS

Resumen

En este capítulo presentamos los resultados de un estudio de regiones extendidas con líneas en emisión, en una muestra de radiogalaxias débiles B2, a partir de los resultados de las observaciones ópticas presentadas en los dos capítulos anteriores, en los que obtuvimos imágenes de banda ancha (V, R e I) y banda angosta (centrados en las líneas: $H\alpha$ + $[NII]$ y $[OIII]$), y las observaciones reportadas en la literatura en radio y en el infrarrojo (mediano y lejano).

Encontramos que la luminosidad en radio parece debilmente correlacionada con la luminosidad en $H\alpha$, sugiriendo que la fuente central que es la causante de la emisión en radio, también lo es de la ionización del gas que emite en las RELE.

A partir de las características de las galaxias huéspedes encontramos que las fuentes interactuantes muestran mayores luminosidades en radio y en $H\alpha$, así como mayores valores de la densidad electrónica y masa del gas de las RELE. Esto sugiere que el proceso de fusión entre galaxias es determinante en la adquisición de gas a distancias de kpc en radiogalaxias B2.

Encontramos que la emisión en el infrarrojo (IRAS) está correlacionada con la de radio, lo cual nos hace suponer que el polvo que produce la emisión en el infrarrojo es calentado preferentemente por el continuo de la fuente central.

4.1 Introducción

A partir del estudio en distintos tipos de núcleos activos de galaxias se ha establecido la existencia de RELE en estas fuentes. La importancia de la presencia de las RELE en NAGs, es que muestra la existencia de anisotropía en el óptico hasta distancias comparables a las observadas en radio. Los mecanismos que se han planteado para la anisotropía son similares a los utilizados en las regiones con líneas anchas y angostas en

emisión y a la extensión en radio. La anisotropía se puede deber a efectos intrínsecos, p. ej. haz relativista o un disco de acreción grueso, ó a efectos inducidos, p. ej. la radiación ionizante que escapa a lo largo de los polos de un toroide de gas molecular o entre nubes moleculares (ver Antonucci 1993).

Estos efectos de anisotropía han dado origen a escenarios de unificación en los que muchas de las diferencias entre diversos tipos de NAGs se pueden explicar por efectos geométricos como función de la orientación entre el observador y el eje de la emisión anisotrópica, diferencias en la máquina productora de la energía, etc. Sin embargo, es claro que no todas las diferencias entre los NAGs se pueden explicar por estos escenarios.

Para nuestro estudio de radiogalaxias débiles resulta importante conocer hasta donde se pueden explicar las diferencias con las radiogalaxias potentes, como diferencias cuantitativas de la "máquina" productora de la energía, en particular, por el escenario planteado por el grupo de Heckman et al. (1986, 1989a, 1989b y 1994) en el que las diferencias entre radiogalaxias se explica por características cualitativas: medio ambiente de la galaxias huésped del NAG diferente, fusiones entre galaxias, etc. En este escenario se espera que las radiogalaxias débiles tengan signos de actividad óptica muy modesta, sin presencia de peculiaridades morfológicas típicas de fusiones entre galaxias, etc. (Morganti, Ulrich & Tadhunter 1992). Sin embargo, hemos mostrado (Caps. 2 y 3) que las RGD tienen actividad óptica que es comparable a la encontrada en las RGP (Baum et al. 1988; Baum & Heckman 1989a, 1989b) y que las diferencias entre las radiogalaxias de diferentes potencias es solamente de tipo cuantitativo.

El estudio en multifrecuencias de NAGs, ha permitido mostrar cuales de los mecanismos físicos son los relevantes para cada tipo de fuente. En este trabajo, además de comparar las propiedades ópticas y de radio que hemos encontrado para la muestra observada, también usamos los datos publicados del mediano y lejano infrarrojo (que denominaremos MLIR en adelante) para estos y otros NAGs. Consideramos el MLIR debido a que este se origina por emisión térmica de polvo que ha sido calentado por la radiación UV de la fuente central. La baja opacidad del polvo en el MLIR hace difícil que su emisión sea afectada por la presencia de algún toroide de material opaco, por lo que resulta importante ver como se relaciona con las propiedades energéticas que sí son afectadas por la anisotropía intrínseca de la

ionización y/o por la anisotropía debida a la presencia de un toroide, como es el caso de la luminosidad total en radio y la luminosidad en $H\alpha$.

El presente capítulo está organizado de la siguiente manera: los resultados de las correlaciones energéticas las mostramos en §4.2, en §4.3 se dan las correlaciones de las propiedades físicas, en §4.4 presentamos las correlaciones con el MLIR, en §4.5 mostramos las distribuciones de energía para cada fuente, en §4.6 discutimos cómo se comparan nuestros resultados con la visión global que se tiene para las radiogalaxias y finalmente en §4.7 presentamos las conclusiones.

4.2 Correlaciones Energéticas

4.2.1 Resultados

En la Tabla 4.1 listamos las luminosidades en $H\alpha$ que se derivaron de las imágenes en $H\alpha + [NII]$ y/o $[OIII]$, estas luminosidades las consideramos como aproximaciones (Cap. 3). En esta tabla incluimos las luminosidades en radio obtenidas por el grupo de Boloña (Parma et al. 1986; de Ruiter et al. 1986; Fanti et al. 1986; Fanti et al. 1987; Morganti et al. 1987; Parma et al. 1987; Bicknell et al. 1990; de Ruiter et al. 1990; Capetti et al. 1993). La Tabla 4.1 contiene: Col. (1) nombre de la fuente; Col. (2) luminosidad en $H\alpha$ (ergs s^{-1}); Col. (3) luminosidad total a 408 MHz (ergs s^{-1}); Col. (4) la luminosidad del radio centro en 5 GHz (ergs s^{-1}).

En la Fig. 4.1, graficamos la luminosidad total en radio vs. la potencia del radio centro. De esta figura confirmamos que existe una fuerte correlación entre ambos parámetros. Esta correlación también fue encontrada para las radio fuentes extragalácticas del catálogo 3C (Ferretti et al. 1984) y es de la forma: $\log P_{\text{radio centro}} = m \log P_{\text{total radio}} + b$, donde la pendiente es $m = 0.66 \pm 0.1$ y $b = 6 \pm 3$. A partir de nuestra muestra encontramos: $m = 0.69 \pm 0.18$ y $b = 8.31 \pm 1.12$. Con lo cual concluimos que la radio emisión total es determinada por la potencia de la máquina central.

A partir de los datos de radio y de $H\alpha$, en las Figs. 4.2a y 4.2b graficamos la luminosidad total de radio y la luminosidad del radio centro vs. la luminosidad en $H\alpha$, respectivamente. De estas gráficas encontramos que parece existir una correlación entre las propiedades de radio continuo con la emisión en $H\alpha$. Ajustando por mínimos cuadrados los datos de estas gráficas encontramos que las ecuaciones de la forma: $\log L_{H\alpha} = m \log L_{\text{total radio}} + b$ y $\log L_{H\alpha} = m \log L_{\text{radio centro}} + b$, Fig. 4.2a y 4.2b

respectivamente, tienen pendientes y ordenadas al origen de: $m = 0.22 \pm 0.07$ y $b = 30.90 \pm 1.21$ ($r = 0.2$); $m = 0.11 \pm 0.07$ y $b = 37.11 \pm 1.65$ ($r = 0.2$), respectivamente. Estas "posibles correlaciones" predicen que las altas luminosidades de línea ($H\alpha$) se dan en las fuentes de más alta potencia en radio.

Para comparar estos resultados con otros tipos de radiofuentes, consideramos una muestra de radiogalaxias potentes (RGP), de bajo corrimiento al rojo ($z \leq 1$; Baum & Heckman 1989a). En la Fig. 4.3a mostramos esta gráfica incluyendo todos los objetos. De esta gráfica encontramos que la correlación discutida en el párrafo anterior se fortalece y hay una secuencia desde RGD a RGP. En el caso de las RGP ya se había encontrado la correlación entre la luminosidad total en radio vs. la luminosidad de $H\alpha$, con pendientes y ordenada de: $m = 0.73 \pm 0.06$, $b = 10 \pm 2.5$. Si consideramos ambas muestras (Fig. 4.3a), la pendiente es menos empinada, por lo que encontramos que las radiofuentes (RGDs y RGP) parecen seguir una correlación con los valores de: $m = 0.59 \pm 0.14$, y $b = 15.96 \pm 1.57$ ($r = 0.82$).

Para ver como es el comportamiento de las radiogalaxias con respecto a otros tipos de NAGs, en la Fig. 4.3b incluimos las regiones ocupadas por: radio cuasares con espectro empinado de la muestra de Stockton & Mac Kenty (1987), (región triangular en el extremo superior derecho); radiogalaxias potentes pero de alto corrimiento al rojo ($z \sim 1.8$), de Spinrad (1987), (región en forma de hexaedro irregular), y la región de galaxias Seyfert de de Bruy & Wilson (1978) y Whittle (1985), (región en forma de rombo en el extremo izquierdo).

De la gráfica 4.3b se ve claramente que la correlación entre la luminosidad en $H\alpha$ y la del radio continuo es muy fuerte para el conjunto de NAGs, ¿es esta una propiedad "universal" para estas fuentes? Si consideramos solamente nuestra muestra de RGD, éstas parecen no sólo representar el extremo débil de la correlación de las RGP y los cuasares, sino que también parecen ser el enlace entre estas radiofuentes y las fuentes más radio modestas como son las galaxias Seyfert. Es decir, la correlación liga a las RGDs con las galaxias Seyfert en dos propiedades importantes y son el extremo débil de una correlación entre radio y emisión en línea para NAGs.

En la Fig. 4.4 comparamos la potencia del radio centro con la luminosidad en $H\alpha$, para ambos conjuntos de radiogalaxias (RGD y RGP). En esta gráfica mostramos que sí existe una correlación entre ambas propiedades, esto es, que las fuentes con alta potencia del radio centro tienen una alta luminosidad en $H\alpha$. Esta correlación era

de esperarse ya que habíamos mostrado en las Figs. 4.1 y 4.2, que existe una fuerte correlación entre la potencia del radio centro y la luminosidad total en radio y a su vez entre la luminosidad total en radio y la luminosidad en $H\alpha$. Los valores que encontramos para la correlación es: $m = 0.87 \pm 0.09$, y $b = 15.79 \pm 1.55$ ($r = 0.60$). La correlación entre potencia del radio centro y la luminosidad en $H\alpha$ parece ser más débil que la correlación de la luminosidad total de radio y la luminosidad en $H\alpha$, debido a que en el primer caso el coeficiente de correlación es $r = 0.6$ y en el segundo caso es de $r = 0.82$.

4.2.2 *Discusión*

La correlación entre la radio luminosidad total y la luminosidad en $H\alpha$ puede tener varias explicaciones. En primer lugar, encontramos que la correlación para RGD tienen 4 órdenes de magnitud de dispersión en ambos sentidos, a diferencia de lo que se encuentra en las RGP, para las que son 4 órdenes para la luminosidad de $H\alpha$, pero 5 para la radio luminosidad total. Si consideramos que la fuente central es la responsable en, primer orden, de la emisión extendida en radio, como parece indicar la correlación entre $L_{total\ radio}$ y la $P_{radio\ centro}$, entonces esperaríamos que la fuente central igualmente fuera la causante directa de la ionización del gas que produce las líneas en $H\alpha$. Este resultado no es nuevo ya que a partir de observaciones espectroscópicas de las RELE resueltas, al comparar varios de sus cocientes de líneas en diagramas de diagnóstico (p. ej. Robinson 1989), se encuentra que muchos de éstos se pueden explicar por modelos de fotoionización con espectros de ley de potencia, lo que también explica la emisión en radio.

Nuestros resultados muestran que la "máquina central" puede ser la responsable de la ionización a escalas de kpc de la región central, lo mismo para radiogalaxias débiles como para potentes.

Debido a la dispersión de los datos, no se puede eliminar la posibilidad que existan otras fuentes de ionización, por ejemplo la interacción entre el radio *jet* y el gas de la galaxia huésped, lo cual se podría esperar por la coincidencia espacial, en algunos casos, entre la estructura óptica y la de radio (Cap. 3). Otra posibilidad es que pudiese existir una mezcla entre fotoionización por leyes de potencias y choques, como se han planteado para las regiones de líneas angostas en emisión (p. ej. Viegas & de Gouveia Dal Pino 1992).

Encontramos que la correlación entre las luminosidades en $H\alpha$ y de radio para los distintos tipos de radiofuentes es menos empinada cuando se incluyen las RGD. También logramos ligar a distintos NAGs en esta relación: galaxias Seyfert, radiogalaxias potentes de alto y bajo corrimiento al rojo, y cuasares con radio espectro empinado. El poder incluir a distintos tipos de NAGs y el que aparentemente esta relación sea válida para todos estos muestra que la galaxia huésped juega un rol secundario, ya que las galaxias Seyfert son de tipo espiral mientras que las radiogalaxias son predominantemente elípticas.

Debido a que existe la posibilidad de que la correlación entre la luminosidad total de radio y la luminosidad en $H\alpha$ esté reflejando solamente el aumento en la luminosidad en todas las frecuencias de las galaxias huésped, graficamos la luminosidad total en radio y en $H\alpha$ vs. la luminosidad en V de Johnson (Cap. 2), lo que mostramos en las Figs. 4.5a y 4.5b, respectivamente. De estas gráficas encontramos que aunque parece existir una tendencia, la dispersión es tal que más se asemejan a diagramas de dispersión. Por lo que la correlación encontrada no necesariamente depende de que tan brillante de la galaxia huésped.

4.3 Propiedades Físicas de RGD

4.3.1 Resultados

A partir de las observaciones en banda ancha, habíamos clasificado a las fuentes en función de las peculiaridades morfológicas encontradas en interactuantes. En este trabajo usamos estas características pero ahora como función de las propiedades físicas del gas de las regiones extranucleares con líneas en emisión que encontramos en el Cap. 3. Clasificaremos las fuentes de nuestra muestra en tres grupos que básicamente engloban a las que se encuentran interactuando y las que no lo están, al menos de forma obvia. La clasificación que proponemos es la siguiente:

- Grupo A. En este grupo incluimos a las fuentes que presentan dos núcleos dentro de 15 kpc, o una compañera cercana conectada por un puente de gas que se manifiesta como una región con líneas en emisión.
- Grupo B. Corresponde a fuentes con una compañera de tamaño comparable y proyectada dentro de una misma envolvente.

- Grupo C. Se incluyen fuentes que no muestran signos obvios de interacción.

Si usáramos la nomenclatura propuesta para RGP (Baum & Heckman 1989a) ésta correspondería a: Grupo A equivalente a tipos II y III, Grupo B a tipo IV y Grupo C a tipo V. Las fuentes quedan clasificadas como sigue:

- Grupo A: B2 0055+25, B2 0120+33, B2 0838+32, B2 0913+38, B2 0916+33, B2 1346+26, B2 1752+32, B2 2116+26, B2 2236+35, B2 2320+32, B2 2335+26.
- Grupo B: B2 0116+31, B2 1339+26, B2 1658+30.
- Grupo C: B2 0034+25, B2 0331+39, B2 1116+28, B2 1144+35, B2 1322+36, B2 1357+28, B2 1422+26, B2 1441+26, B2 1557+26, B2 1652+39, B2 1833+32, B2 1855+37.

Los grupos A y B corresponderían a galaxias interactuantes y el Grupo C a las no interactuantes.

Con base en esta clasificación en la Tabla 4.2 tabulamos, para cada grupo, la luminosidad en radio promedio, la luminosidad en H α promedio, y los radios de las extensiones promedios en radio y óptico. La Tabla 4.2 consiste de: Col. (1), nombre del grupo; Col. (2), la luminosidad en radio promedio en ergs s^{-1} ; Col. (3) la luminosidad en H α promedio en ergs s^{-1} ; Col. (4) el radio promedio de la extensión en radio en kpc; Col. (5) el radio promedio de la extensión en el óptico en kpc. En los casos en que convertimos escalas angulares a tamaños lineales usamos: $H_0 = 100 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ y $q_0 = 0$.

A partir de la clasificación que usamos, en la Tabla 4.3 tabulamos para cada grupo los valores promedios de: $n_e(\text{rms})$, $M_{\text{gas}}(\text{rms})$, $U(\text{rms})$ (del Cap. 3). Esta Tabla consiste de: Col. (1) nombre del grupo; Col. (2) la densidad electrónica rms en cm^{-3} ; Col. (3) la masa rms del gas en M_{\odot} ; Col. (4) el coeficiente de ionización rms en unidades de 10^{-2} .

De estas tablas (4.2, y 4.3) encontramos que los valores promedios, en general, son mayores para las galaxias que están interactuando que para las que no presentan signos obvios de interacción. Esto considerando como Grupo A y B vs. Grupo C.

4.3.2 *Discusión*

Si consideramos globalmente a las fuentes que están interactuando (Grupo A y B) con las que no tienen signos obvios de interacción (Grupo C), encontramos que en general las luminosidades promedio son mayores en las interactuantes que en las que no presentan esta actividad. Cuando comparamos cada grupo encontramos que mientras la luminosidad en $H\alpha$ es mayor en las galaxias del Grupo B, y menor para las del Grupo C, las luminosidades de radio siguen un comportamiento ligeramente diferente, ya que mientras el Grupo B es el más luminoso, el grupo de menor luminosidad en radio es el Grupo A, aunque es muy marginal esta diferencia.

Para mostrar como es el comportamiento de las galaxias en cada grupo, graficamos en las Figs. 4.6 la luminosidad de radio total vs. la luminosidad en $H\alpha$. Encontramos que las galaxias que muestran signos de interacción (Grupo A y B), Figs. 4.6a y 4.6b, parecen seguir la secuencia que mostramos en la sección 4.2.1 ($m = 0.22 \pm 0.06$ y $b = 31.67 \pm 0.89$). Para las galaxias que no muestran signos obvios de interacción (Grupo C), Fig. 4.6c, no encontramos ninguna correlación aparente y parecen ser las que aumentan la dispersión en la gráfica de las RGD de nuestra muestra. En la Fig. 4.6d mostramos la combinación de los tres grupos, esta gráfica es igual a la Fig. 4.2a. El mejor ajuste en la correlación para las galaxias del Grupo A y su secuencia a fuentes de mayor potencia nos sugieren que la actividad de fusión entre galaxias es un mecanismo importante en la actividad de las radiofuentes.

Una de las posibilidades es que las galaxias del Grupo B están experimentando o hayan tenido una interacción reciente, mientras que las galaxias del Grupo C no se ha dado ninguna interacción y en el Grupo A ya ha transcurrido mayor tiempo la interacción. Si este escenario es correcto, el gas ionizado de los grupos A y B, ha sido adquirido durante una fusión con una compañera rica en gas (Cap. 2).

Un comportamiento similar al que encontramos para nuestros tres grupos se ha encontrado para las RGP, con una división equivalente (Baum & Heckman 1989a): Grupos II y III (Grupo A), IV (Grupo B) y V (Grupo C). Lo cual parecería indicar que el mecanismo para adquisición de gas parece ser igual para las RGP y las RGD. Esto mostraría que las diferencias en radios de las RELE, reflejan el aumento en potencia de la máquina central y no diferentes orígenes del gas, como función del tipo de radiogalaxia (RGP o RGD). Este resultado está en contra de lo propuesto por el grupo de Heckman et al. (1986, 1989a, 1989b y 1994), que esperan que las

RGD se alimenten de gas del medio intracúmulo, mientras que las RGP son las que se alimentan de gas como consecuencia de la fusión entre galaxias.

4.4 Emisión Infrarroja

Para nuestro estudio de RGD y su comparación con otros tipos de NAGs, además de usar los datos en radio de la literatura (grupo de Boloña) y ópticos de nuestro acervo de observaciones, utilizamos la base datos del IRAS en el MLIR, publicados por Impey et al. (1990) y Golombek et al. (1990).

4.4.1 Resultados

En la Tabla 4.4 presentamos las densidades de flujo de energía en radio y MLIR, para cada fuente. Esta tabla consiste: Col. (1) el nombre de la fuente; las densidades de flujo de energía a 408 MHz y a 5 GHz en las Cols. (2) y (3), respectivamente; las densidades de flujo de energía a 100, 60, 25 y 12 μm en las Cols. (4),(5),(6) y (7), respectivamente.

En el MLIR, se encuentra que las RGP están bien detectadas a 25, 60 y 100 μm , mientras que en las RGD esta detección es sólo marginal (Heckman et al. 1994). En nuestra muestra la mayor parte tienen sólo límites superiores en los flujos, lo cual se ha indicado en la Tabla 4.4 y sólo en 35 % de nuestras fuentes tenemos una buena determinación. En este trabajo usaremos para nuestro análisis los valores a 60 μm .

En las Fig. 4.7a y 4.7b, graficamos la $L_{\text{total radio}}$ vs. $L_{60\mu\text{m}}$ y $L_{\text{radio centro}}$ vs. $L_{60\mu\text{m}}$. De estas gráficas encontramos que parece existir una correlación entre ambas propiedades (radio - MLIR), coeficiente de correlación de $r = 0.5$, lo que hace suponer que el polvo, cuya emisión térmica es la que se observa en el MLIR, es calentado por la emisión UV de la fuente central no-térmica. En la Fig. 4.8 graficamos la $L_{H\alpha}$ vs. $L_{60\mu\text{m}}$, en la que no encontramos ninguna correlación aparente. Estos resultados (Figs. 4.7 y 4.8) son sólo indicativos ya que la mayor parte de los datos son solamente límites, por lo que requieren verificación.

4.4.2 Discusión

La aparente correlación entre la emisión del gas en $H\alpha$ y la emisión térmica del polvo (MLIR) con la radio emisión no-térmica de la radiofuente central, mostraría que

en ambas propiedades de la galaxia huésped, la fuente central es la causante de la actividad. Cuando se han considerado a radiogalaxias 3C y B2 de mayor corrimiento al rojo, se ha encontrado que aparentemente existe una mejor correlación entre la luminosidad del radio centro con la del MLIR, que entre la luminosidad total en radio con el MLIR (Impey & Geogorini 1993). De nuestra muestra es difícil decir cual de ambas correlaciones se ajustan mejor debido a la falta de observaciones en el IR.

¿Cómo se comparan estos resultados con otros tipos de NAGs? Heckman et al. 1994, muestran el comportamiento entre $L_{50\mu m}$ vs. L_{5GHz} para radiofuentes intensas: cuasares, radiogalaxias de líneas anchas, radiogalaxias de líneas delgadas, RGD, RGP, etc. Usamos estos valores para compararlos con los de nuestra muestra, en la Fig. 4.9 graficamos los NAGs de Heckman et al. con nuestras fuentes en las hay mediciones en $60\mu m$, no incluimos los valores que son límites y suponemos que los valores de densidad de flujo de energía entre $50\mu m$ y $60\mu m$ son del mismo orden. De la gráfica encontramos que existe una fuerte correlación entre ambas luminosidades, en la que las RGD se encuentran en la parte débil de la secuencia. Esto parece indicar que el grueso de la actividad en el MLIR es determinado principalmente por la emisión del núcleo del NAG, al menos para las fuentes que muestran emisión apreciable en radio. Cuando comparamos nuestra muestra con RGP, se tiene que éstas son más luminosas en el MLIR por un factor de cuatro, lo que es de esperarse ya que las RGP tienen potencias en radio mayores que las RGD. La correlación que encontramos es de la forma: $\log L_{50\mu m} = m \log L_{5GHz} + b$ donde obtenemos que: $m = 0.80$ y $b = 10.58$ ($r = 0.97$). Esta correlación predice que las altas luminosidades en el MLIR se dan en las fuentes de más alta radio potencia.

A partir de la emisión en el MLIR, calculamos la luminosidad para este intervalo de frecuencias y como lo hicimos en la sección anterior, dividimos los resultados en función de la clasificación que hemos usado para galaxias interactuantes y no interactuantes, lo cual tabulamos en la Tabla 4.5, que consiste de: Col. (1) nombre del grupo; Col. (2) luminosidad promedio en el MLIR en unidades de ergs s^{-1} . Encontramos igualmente que las galaxias interactuantes tienen luminosidades mayores que las galaxias no interactuantes, aunque este resultado es marginal.

De nuestro razonamiento para la adquisición de gas por fusiones entre galaxias como una de las fuentes principales para estas radiogalaxias, el encontrar el mismo

patrón cuando no existe correlación aparente entre la luminosidad en H α y la luminosidad del MLIR, parecería indicar que existen otros mecanismos adicionales que están actuando en el MLIR y en H α . Una posibilidad es que por efecto de la interacción se produzcan fuertes brotes de formación estelar (*starbursts*) circunnucleares. Por lo que además de polvo calentado por la emisión UV del NAG, se tendría polvo calentado por estos brotes y/o una combinación de estos dos mecanismos. En NAGs además de estos dos mecanismos se ha propuesto un tercero, este sería la emisión no-térmica en el MLIR del "haz" del *jet* relativista, pero este efecto es sólo importante para blazares en el que se tiene casi de frente el radio eje con la línea de visión del observador (p. ej. Antonucci 1993). En nuestro caso solamente B2 1652+39 está asociado a Mrk 501 que es un objeto BL Lacertae, pero no un blazar.

Además, existe un resultado observacional que mostraría que las fuentes que se encuentran en cúmulos de galaxias pueden tener una contribución adicional en el MLIR, independiente del NAG, ya que se ha encontrado que algunos centros de cúmulos presentan una luminosidad de $\sim 7.5 \times 10^9 L_{\odot}$ a $60 \mu\text{m}$, independientemente de que exista o no una radiogalaxia en el centro de dicho cúmulo (Wise et al. 1993), con lo que estas radiogalaxias podrían estar afectadas por esta contribución.

Podemos concluir que, en las galaxias de nuestra muestra está actuando como fuente principal de calentamiento del polvo, la máquina central no-térmica, además en algunos casos pueden existir brotes de formación estelar que podrían, igualmente, estar calentado el polvo y, en los pocos casos en que la galaxia huésped está asociada a una galaxia cD o centro de un cúmulo de galaxias, puede existir una contribución adicional del medio intracúmulo que deberá ser estudiada en el futuro.

4.5 Comparación en Multifrecuencias

4.5.1 Distribución de Densidad de Flujo de Energía

Un análisis de la distribución espectral de energía (DEE) de las galaxias de nuestra muestra en que tenemos casi todos los valores bien detectados, no límites, se presentan en las Figs. 4.10. En estas figuras graficamos el logaritmo de la densidad de flujo de energía vs. el logaritmo de la frecuencia.

De la DEE encontramos que existen fuentes que en el MLIR presentan excesos los cuales se podrían interpretar como brotes de formación estelar, con los que la

posibilidad de calentamiento para este intervalo de frecuencias por *starbursts* podrían ser importantes en algunos casos. La Fig. 4.10 muestra las fuentes en donde ocurren estos excesos: B2 1217+29, B2 1318+34 y B2 2116+26. Así mismo, presentamos la fuente B2 0913+38, donde se observa la DEE que esperamos para una fuente con emisión sincrotrónica con diferentes fuentes de emisión: radio centro, *jets*, etc. (ej. en Carrillo 1988). Para B2 0913+38 las diferentes pendientes que obtenemos son: $\alpha_{408MHz-100\mu m} = -0.08$, $\alpha_{100\mu m-12\mu m} = -0.86$ y $\alpha_{12\mu m-V} = -3.26$.

Las fuentes en que encontramos excesos en el infrarrojo corresponden a galaxias con:

- B2 1217+29. Radiogalaxia con una galaxia compañera cercana, en el mismo halo.
- B2 1318+34. Galaxia peculiar con dos *tails* y varios máximos internos.
- B2 2116+26. Galaxia con compañera cercana y una banda de polvo interna.

Con estos resultados surge la posibilidad de calentamiento del polvo por formación estelar en algunas galaxias RGD, como se discutió en la sección anterior.

4.6 Visión General de Radiogalaxias

4.6.1 Hipótesis de Unificación

Los modelos llamados de unificación tratan de explicar al conjunto de NAGs como fuentes con las mismas propiedades y en los que las diferencias se explican como función del ángulo que sustenta el eje de la "máquina central" y el eje de visión del observador.

En particular una clasificación que resulta importante de analizar en cuanto a algún escenario de unificación, es el desarrollado para las radiofuentes de tipo FR I (RGD) y FR II (RGP) (Fanaroff & Riley 1974; Bridle & Perley 1984). El escenario que se ha propuesto para las radiofuentes consiste en separar a las fuentes en:

- Clase A: Son galaxias que se asocian con fuentes FR II (RGP), son menos luminosas en el óptico (Smith & Heckman 1989), habitan en regiones de baja a moderada densidad galáctica (Prestage & Peacock, 1988), tienen líneas intensas

en emisión (Heckman et al. 1986) y presentan peculiaridades morfológicas ($\sim 56\%$) indicativas de fusiones entre galaxias (Heckman et al. 1986; Baum & Heckman 1989; Smith & Heckman 1989) y colores anormales, más azules que el resto de las galaxias elípticas normales (Smith & Heckman 1989a, 1989b) lo que puede ser indicativo de una tasa de formación estelar intensificada. La fusión entre galaxias, en la que al menos una es espiral, es la que provee de gas el cual es ionizado y da origen a las RELE. La presencia de RELE es de $\sim 85\%$, con radios típicos de ~ 10 kpc, los cuales tienen formas ovaladas y en pocos casos formas filamentosarias (Baum et al. 1988; Baum & Heckman 1989a). Así mismo, el brote de formación estelar, que podría ser producto de la fusión entre galaxias, es el que calentaría al polvo que emite en el infrarrojo. En el MLIR se tiene que estas fuentes son generalmente detectadas a 25, 60, 100 μm , con una luminosidad promedio de $\sim 1.7 \times 10^{10} L_{\odot}$ (Heckman et al. 1994),

- Clase B: Las galaxias asociadas a fuentes FR I (RGD), habitan regiones de alta densidad de galaxias, no tienen líneas en emisión o son débiles, se asocian con galaxias elípticas muy luminosas o galaxias cD (Prestage & Peacock 1988). En este caso se sugiere que las galaxias son alimentadas de gas del medio intergaláctico y no por fusiones entre galaxias. Debido a que estas fuentes se les asocia con radiofuentes débiles, se considera que deben de tener en general, menos manifestaciones de actividad en el óptico (p. ej. Hine & Longair 1979), aunque esto no han sido establecido de forma cuantitativa. En este caso la emisión en el MLIR se asocia más con el medio intracúmulo que con el NAG propiamente. En el MLIR se tiene que estas fuentes son marginalmente detectadas a 12, 60, 100 μm , con una luminosidad promedio de $\sim 7 \times 10^9 L_{\odot}$ (Heckman et al. 1994).

Debido a este escenario se tiene la idea de que las diferencias entre RGP y RGD se deben, principalmente, a una diferencia cualitativa y no cuantitativa en el origen de la actividad. Por lo que, la idea de que las diferencias se podrían explicar solamente por la diferencia en la intensidad de la máquina central sería más compleja y tendría que incluir el ambiente galáctico.

4.6.2 Implicaciones

¿Cómo se insertan nuestros resultados en este escenario de unificación para las RGP y RGD? A partir de los Cap. 2, 3 y 4, en el que hemos estudiado una muestra de RGD, donde hemos cuantificado varias de las propiedades de estas fuentes, podemos describir, con una muestra comparable a la de las RGP, de forma cuantitativa como es la clase B de radiofuentes, que es la siguiente:

- Clase B: Las galaxias huésped son principalmente elípticas ($\sim 90\%$), aunque existen galaxias peculiares y espirales. El 29 % de las galaxias están asociadas a cúmulos o grupos de galaxias, de las cuales el $\sim 10\%$ presentan halos detectados en rayos-X, algunas de las cuales se asocian a galaxias cD. Un alto porcentaje presentan peculiaridades morfológicas ($\sim 65\%$) indicativos de recientes colisiones entre galaxias, este porcentaje es similar al encontrado para RGP. Igualmente, estas galaxias presentan colores anormales, que pueden ser indicativos de una tasa de formación estelar intensificada. La presencia de RELE es común en las RGD ($\sim 81\%$), con radios típicos de ~ 4.6 kpc. Las morfologías de las RELE son principalmente ovaladas centralmente condensadas y en menor número formas filamentosas. Finalmente, encontramos correlaciones entre luminosidades en $H\alpha$ con la potencia del radio centro, y luminosidad total en radio. Estas correlaciones al ser comparadas con las RGP y otros tipos de NAGs muestran que todos los objetos siguen una misma secuencia. Este resultado muestra que la máquina central que es la productora de la emisión en radio, también es la fuente principal de ionización del gas de las RELE. De la comparación entre la luminosidad en 5 GHz y $50 \mu m$ para las RGD y RGP encontramos que están correlacionadas, donde las RGD se encuentran en la parte débil de la secuencia. Lo que indica que como en las RGP, el MLIR es también determinado principalmente por la emisión nuclear del NAG.

Estos resultados muestran que la diferencia entre las RGP y RGD es cuantitativa y no sólo cualitativa. Consideramos que las diferencias son el resultado de la presencia de una "máquina central" con diferentes potencias, siendo esta la fuente principal que da lugar a las diferentes manifestaciones de actividad nuclear y extranuclear.

Este escenario sugiere que las características de la galaxias huésped juegan un papel secundario, pero sin lugar a duda importante.

4.7 Conclusiones

En éste capítulo hemos presentado los resultados de las correlaciones entre propiedades ópticas que obtuvimos para radiogalaxias débiles y las observaciones en radio y en el mediano y lejano infrarrojo, que obtuvimos de la literatura. Las correlaciones y resultados que obtuvimos son los siguientes:

1. A partir de las luminosidades en $H\alpha$, encontramos que esta se encuentra correlacionada con la luminosidad total de radio y la potencia del radio centro. Este resultado muestra que así como la emisión total en radio es determinada por la potencia de la "máquina central", ésta igualmente podría ser la fuente principal de ionización del gas de línea en emisión, por medio del continuo no-térmico de la fuente central.
2. Esta correlación entre la luminosidad en $H\alpha$ y la radio potencia parece ser válida para todo el conjunto de NAGs, por lo que no sólo la foto-ionización se reduce a las regiones nucleares (regiones de líneas anchas), y circunnucleares (regiones de líneas angostas), sino también a las regiones extendidas con líneas en emisión. Encontramos que la correlación es menos "empinada" que la propuesta originalmente para radiofuentes potentes.
3. El considerar como fuente principal de ionización el continuo no-térmico de la fuente central no elimina otras contribuciones, por ejemplo ionización por choques debido a la interacción del radio *jet* con el medio intergaláctico, como consecuencia de la coincidencia espacial entre ambas extensiones.
4. A partir del estudio de las propiedades físicas de las galaxias de nuestra muestra, divididas en galaxias que tienen manifestaciones obvias de interacción y de no interacción, se tiene que una posibilidad para la alimentación del gas podrían ser estas fusiones, en las que al menos una de las galaxias que está interviniendo sea rica en gas. Otras posibilidades de alimentación de gas, como material acretado del medio intracúmulo es menos claro ya que es bajo el porcentaje de galaxias, de nuestra muestra, en cúmulos.

5. Comparando los datos del MLIR con los del radio y óptico encontramos que existe una fuerte correlación entre la luminosidad en el MLIR y la luminosidad total en radio y del radio centro. Esto indica que en estas fuentes es la "máquina central" la que está a su vez determinando la emisión en el MLIR. En este caso el continuo no-térmico de la fuente central es el que puede estar calentando al polvo observado en el MLIR. Sin embargo, no hay correlación entre la luminosidad en $H\alpha$ vs. MLIR, debido a que $H\alpha$ puede tener otras fuentes de ionización.
6. A partir de los datos en radio, MLIR y óptico, para cada galaxia mostramos su distribución espectral de energía y encontramos que en algunas hay excesos en el infrarrojo que podrían ser manifestaciones de fuertes brotes de formación estelar.
7. A partir de estos resultados como de los encontrados en los dos trabajos previos de RGD (Cap. 2 y 3), mostramos que el escenario propuesto por Heckman et al. para las radiogalaxias potentes y débiles es más simple. Nuestros resultados muestran que la "máquina central" es la causante principal de la actividad nuclear y extranuclear en los NAGs y que las propiedades de las galaxias huésped, así como el ambiente, juegan un papel secundario, aunque importante.

4.8 Referencias

- Antonucci, R., 1993, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **31**, 473.
- Baum S.A., Heckman, T., Bridle, A., van Breugel, W., Miley, G., 1988, *Ap. . Suppl. Ser.*, **68**, 643.
- Baum S.A., Heckman, T., 1989a, *Ap. J.*, **336**, 681.
- Baum S.A., Heckman, T., 1989b, *Ap. J.*, **336**, 702.
- Baum S.A., Heckman, T., van Breugel, 1992, *Ap. J.*, **389**, 208.
- Bridle, A.H., Perley, R.A., 1984, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **22**, 319.
- Capetti, A., Morganti, R., Parma, P., Fanti, R., 1993, *Astr. Ap. Suppl. Ser.*, **99**, 407.
- Carrillo, R., 1988, *Lic. Tesis, Fac. de Ciencias, UNAM.*
- Carrillo, R., Cruz-González, I., Guichard, J., 1995a, (Cap. 2), en preparación.
- Carrillo, R., Cruz-González, I., Guichard, J., 1995b, (Cap. 3) en preparación.
- de Bruyn, A.G., Wilson, A.S., 1976, *Astr. Ap.*, **53**, 93.
- de Ruiter, H.R., Parma, P., Fanti, C., Fanti, R., 1986, *Astr. Ap. Suppl. Ser.*, **65**, 111.

- Fanaroff, B.L., Riley, I.M., 1974, *M.N.R.A.S.*, **167**, 31P.
- Fanti, C., Fanti, R., de Ruiter, H.R., Parma, P., 1986, *Astr. Ap. Suppl. Ser.*, **65**, 145.
- Fanti, C., Fanti, R., de Ruiter, H.R., Parma, P., 1987, *Astr. Ap. Suppl. Ser.*, **69**, 57.
- Feretti, L., Giovannini, G., Gregorini, L., Parma, P., Zamorani, G., 1984, *Astr. Ap.*, **139**, 55.
- Golombek, D., Miley, G.K., Neugebauer, G., 1990, *Astr. J.*, **95**, 26.
- Heckman, T.M., O'Dea C.P., Baum, S.A., Laurikainen, E., 1994, *Ap. J.*, **428**, 65.
- Heckman, T.M., Smith, E.P., Baum, S.A., van Breugel, W.J.M., Miley, G.K., Illingworth, G.D., Bothun, G.D., Balick, B., 1986, *Ap. J.*, **311**, 526.
- Impey, C.D., Gregorini, L., 1993, *Astr. J.*, **105**, 853.
- Impey, C.D., Wynn-Williams, C.G., Becklin, E.E., 1990, *Ap. J.*, **356**, 62.
- Morganti, R., Fanti, C., Fanti, R., Parma, P., de Ruiter, H.R., 1987, *Astr. Ap.*, **183**, 203.
- Parma, P., de Ruiter, H.R., Fanti, C., Fanti, R., 1986, *Astr. Ap. Suppl. Ser.*, **64**, 135.
- Parma, P., Fanti, C., Fanti, R., Morganti, R., de Ruiter, H.R., 1987, *Astr. Ap.*, **181**, 244.
- Prestage, L., Peacock, J., 1988, *M.N.R.A.S.*, **230**, 131.
- Robinson, A., 1989, *En: ESO Workshop on Extranuclear Activity in Galaxies, eds. Meur, E.J.A. & Fosbury, R.A.E. ESO Conf. and Workshop Proc. No. 32 Garching*, p. 259.
- Smith, E.P., Heckman, T.M., 1989a, *Ap. J. Suppl. Ser.*, **69**, 365.
- Smith, E.P., Heckman, T.M., 1989b, *Ap. J.*, **341**, 658.
- Spinrad, H., 1987, preprint.
- Stockton, A., Mac Kenty, J.W., 1987, *Ap. J.*, **316**, 584.
- Viegas, S.M., de Gouveia Dal Pino, E.M., 1992, *Ap. J.*, **384**, 467.
- Whittle, M., 1985, *M.N.R.A.S.*, **213**, 33.
- Wise, M., O'Connell, R., Bregman, J., Roberts, M., 1993, *Ap. J.*, **405**, 94.

4.9 Tablas y Figuras

4.9.1 Tablas

TABLA 4.1
Luminosidades Ópticas y de Radio para RGDs

Fuente B2	$L_{H\alpha}$ (10^{39} ergs/s)	$L_{radio} (total)$ (10^{39} ergs/s)	$L_{radio} (centro)$ (10^{39} ergs/s)
0034+25	41.31	1.22	0.55
0055+26	29.10	47.79	0.96
0116+31	91.01	53.54	274.50
0120+33	75.39	8.12	0.20
0331+39	5.67	3.07	3.26
0838+32	30.05	38.86	27.04
0913+38	6.07	18.15	2.71
0916+33	99.13	4.16	
1116+28	90.26	20.83	7.16
1144+35	55.39	5.73	53.23
1322+36	74.01	2.29	2.46
1339+26	26.70	26.11	13.97
1346+26	136.30	55.25	11.39
1357+28	18.48	4.33	6.58
1422+26	10.03	12.11	1.84
1441+26	4.46	11.14	0.15
1557+26	34.71	2.14	3.25
1652+39	37.57	8.80	76.15
1658+30	47.96	8.36	5.55
1752+32	16.87	2.82	1.30
1833+32	39.45	205.90	34.63
1855+37	1.15	10.67	16.35
2116+26	2.94	0.38	0.68
2236+35	6.28	2.59	
2320+32	34.31	0.29	
2335+26	8.11	80.11	13.12

TABLA 4.2
Luminosidades y Tamaños de RELE de
Galaxias Interactuantes y no Interactuantes

Categoría	L_{radio} (10^{40} ergs/s)	$L_{H\alpha}$ (10^{40} ergs/s)	R_{radio} (kpc)	$R_{H\alpha}$ (kpc)
Grupo A	2.28	4.04	36.14	4.09
Grupo B	2.93	5.52	64.65	5.74
Grupo C	2.40	3.40	29.18	4.71

TABLA 4.3
Propiedades Físicas de RELE de
Galaxias Interactuantes y no Interactuantes

Categoría	n_e (rms) (cm^{-3})	M_{gas} (rms) ($10^9 M_{\odot}$)	U (rms) (10^{-2})
Grupo A	0.10	1.01	0.45
Grupo B	0.11	1.11	0.45
Grupo C	0.08	7.93	0.37

A + B Galaxias Interactuantes
C Galaxias no Interactuantes

TABLA 4.4
Densidades de Flujo de Energía en Multifrecuencias de RGDs

Fuente B2	408MHz ¹ (mJy)	5GHz ² (mJy)	100 μ m (mJy)	60 μ m (mJy)	25 μ m (mJy)	12 μ m (mJy)
0034+25	270	10	< 378	< 153	< 113	< 103
0055+26	4900	8	< 170	< 64	< 67	< 40
0116+31	3490	< 1460	539 \pm 57	154 \pm 21	< 60	< 40
0120+33	690	1.4	< 347	< 140	< 93	< 84
0206+35	4560	106	< 284	< 126	< 86	< 87
0331+39	1720	149	< 410	< 140	< 113	< 101
0838+32	1920	< 109	< 315	< 126	< 139	< 96
0913+38	820	< 1	399 \pm 105	251 \pm 47	< 113	< 94
1122+39	4950	6	7014 \pm 116	1813 \pm 47	128 \pm 33	105 \pm 30
1217+29	580	350	2041 \pm 57	618 \pm 21	112 \pm 22	65 \pm 13
1318+34	220		20082	16070	1311	270
1322+36	1710	150	< 378	< 153	< 93	< 101
1339+26	1260	55	< 347	< 154	< 106	< 105
1346+26	3150	53	< 170	< 64	< 53	< 40
1357+28	250	31	< 315	< 126	< 80	< 82
1422+26	2020	25	< 315	< 140	< 80	< 119
1441+26	660	< 0.7	472 \pm 84	< 112	< 66	< 77
1557+26	250	31	< 315	< 126	< 80	< 82
1652+39	1770	1250	< 400	107 \pm 9	67 \pm 4	39 \pm 4
1658+30	1550	84	< 252	< 112	< 73	< 75
1752+32	320	12	< 221	< 84	< 60	< 59
1833+32	13700	188	< 300	98 \pm 9	97 \pm 4	72 \pm 4
1855+37	800	< 100	< 315	< 112	< 73	< 87
2116+26	320	47	1276 \pm 57	538 \pm 17	47 \pm 13	54 \pm 10
2236+35	770		< 155	< 50	< 45	< 35
2335+26	20200	270	< 198	149 \pm 21	< 54	< 40

¹ densidad de flujo de energía total en radio

² densidad de flujo de energía del radio centro

TABLA 4.5
Luminosidades en el MLIR de
Galaxias Interactuantes y no Interactuantes

Categoría	$L_{90\mu m}$ (10^{43} ergs/s)
Grupo A	1.65
Grupo B	2.52
Grupo C	1.30

A + B Galaxias Interactuantes
C Galaxias no Interactuantes

4.9.2 Figuras

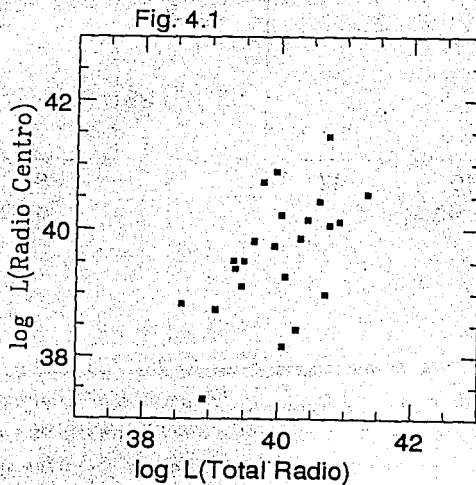


Fig. 4.1 Gráfica de $\log L_{\text{total radio}}$ vs. $\log L_{\text{radio centro}}$, donde $L_{\text{radio centro}}$ es la luminosidad del centro en radio en ergs s^{-1} y $L_{\text{total radio}}$ la luminosidad total en radio en unidades de ergs s^{-1} .

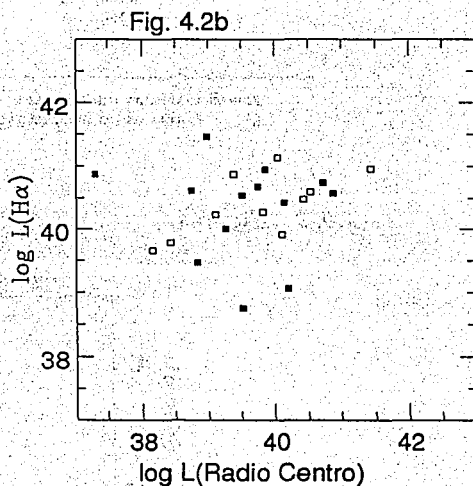
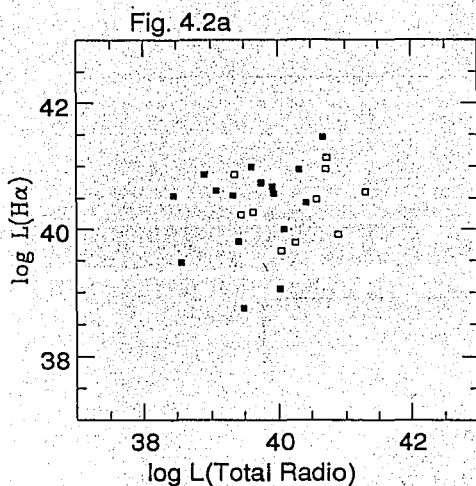


Fig. 4.2 (a) Gráfica de $\log L_{\text{total radio}}$ vs. $\log L_{H\alpha}$, donde $L_{H\alpha}$ es la luminosidad en $H\alpha$ en unidades de ergs s^{-1} y $L_{\text{total radio}}$ la luminosidad total en radio en unidades de ergs s^{-1} . Las fuentes con ■ corresponden a las luminosidades estimadas del flujo de $H\alpha + [NII]$, y □ corresponden a las luminosidades obtenidas del flujo de $[OIII]$.

(b) Gráfica con los mismos parámetros de la anterior, pero en lugar de la luminosidad total en radio, usamos la luminosidad del centro en radio en unidades de ergs s^{-1} .

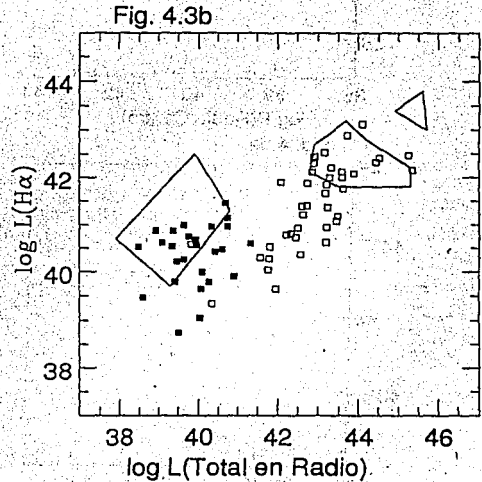
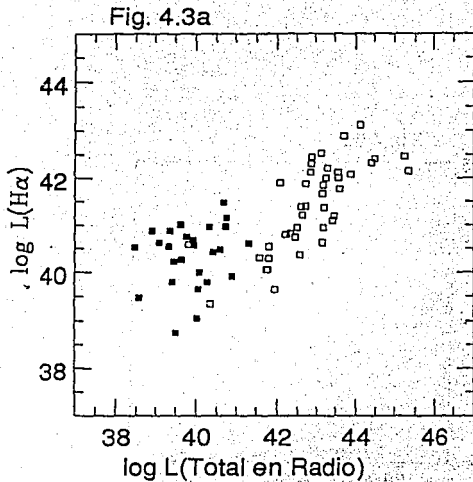


Fig. 4.3 (a) Gráfica de $\log L_{\text{total radio}}$ vs. $\log L_{H\alpha}$, donde $L_{H\alpha}$ es la luminosidad en $H\alpha$ en unidades de ergs s^{-1} y $L_{\text{total radio}}$ la luminosidad total en radio en unidades de ergs s^{-1} , donde además de graficar nuestra muestra (■) usamos los datos de radiogalaxias potentes (Baum & Heckman 1989a), □.

(b) Gráfica con los mismos parámetros de la anterior, en la que hemos incluido: ■ nuestra muestra de RGD; □ RGP (Baum & Heckman 1989a); ◇ región de las galaxias Seyfert (Whitte 1985; de Bruy & Willson 1978); △ región de radiogalaxias de alto corrimiento al rojo (Spinrad 1987); y la zona de cuasares con espectro en radio empinado (steep-spectrum, Stockton & Mac Kenty 1987).

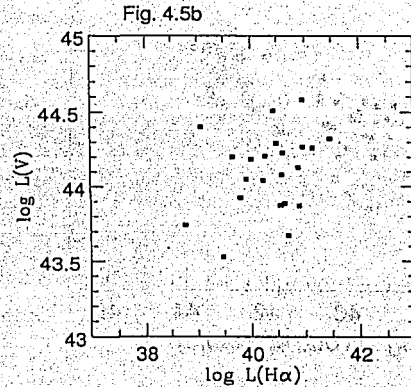
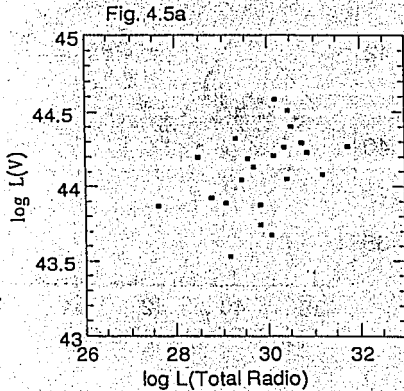
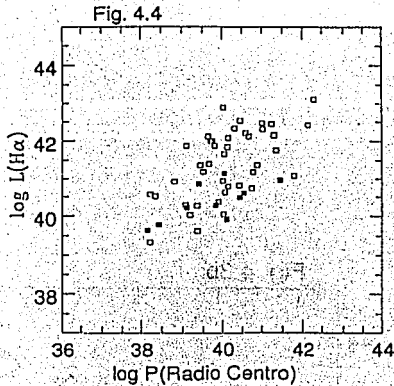


Fig. 4.4 Gráfica de $\log L_{\text{radio centro}}$ vs. $\log L_{H\alpha}$ donde $L_{\text{radio centro}}$ es la luminosidad del radio centro en ergs s^{-1} y $L_{H\alpha}$ es la luminosidad en $H\alpha$ en unidades de ergs s^{-1} donde hemos incluido: ■ nuestra muestra de RGD; y □ RGP (Baum & Heckman 1989a).

Fig. 4.5 (a) Gráfica de $\log L_{\text{total radio}}$ vs. $\log L_V$ donde $L_{\text{total radio}}$ es la luminosidad total en radio, en unidades de ergs s^{-1} y L_V es la luminosidad en V de Johnson, en unidades de ergs s^{-1} .

(b) Gráfica de $\log L_{H\alpha}$ vs. $\log L_V$ donde $L_{H\alpha}$ es la luminosidad total en $H\alpha$, en unidades de ergs s^{-1} y L_V es la luminosidad en V de Johnson, en ergs s^{-1} .

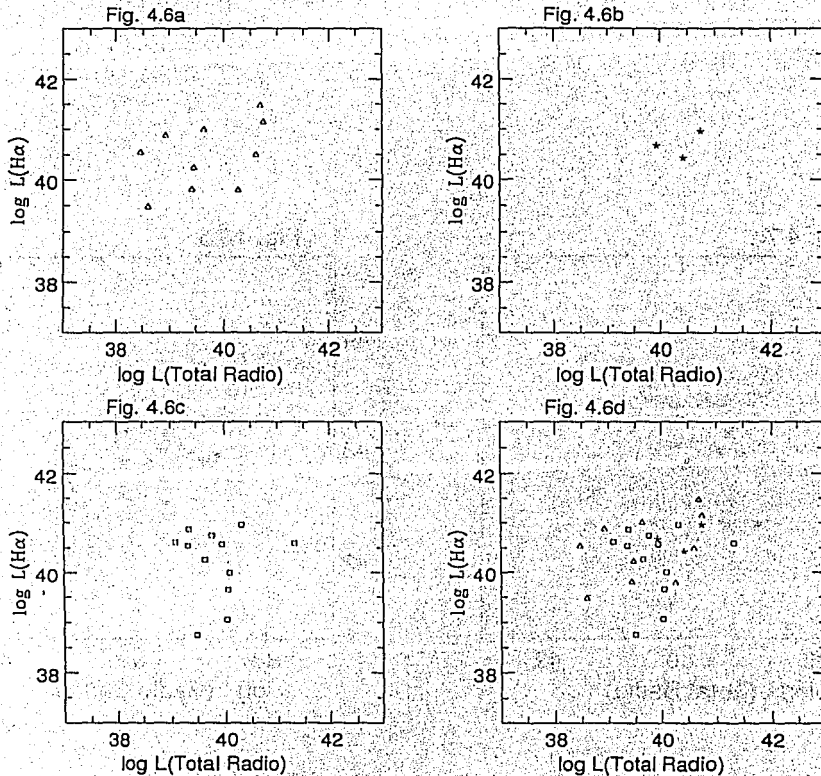


Fig. 4.6 (a) Gráfica de $\log L_{\text{total radio}}$ vs. $\log L_{H\alpha}$, donde $L_{H\alpha}$ es la luminosidad en $H\alpha$ en unidades de ergs s^{-1} y $L_{\text{total radio}}$ la luminosidad total en radio en unidades de ergs s^{-1} , para radiogalaxias del Grupo A.

(b) Gráfica con los mismos parámetros de la anterior, pero para radiogalaxias del Grupo B.

(c) Gráfica con los mismos parámetros de la anterior, pero para radiogalaxias del Grupo C.

(d) Gráfica con la combinación de los tres grupos de radiogalaxias: Grupo A, Δ ; Grupo B, $*$; y Grupo C, \square .

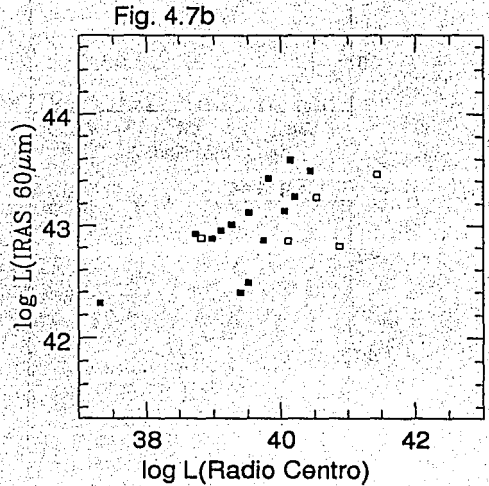
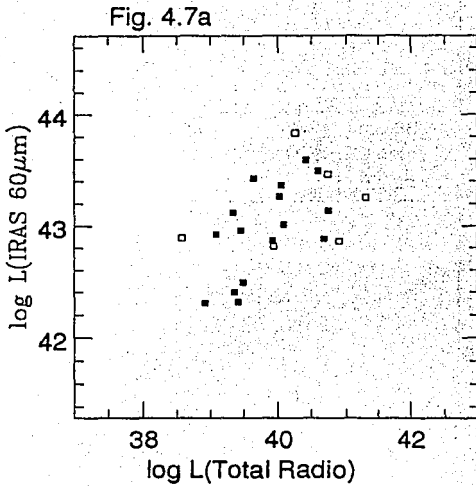


Fig. 4.7 (a) Gráfica de $\log L_{\text{total radio}}$ vs. $\log L_{60\mu\text{m}}$, donde $L_{60\mu\text{m}}$ es la luminosidad en $60\mu\text{m}$ en unidades de ergs s^{-1} y $L_{\text{total radio}}$ la luminosidad total en radio en unidades de ergs s^{-1} , las fuentes con \square corresponden a las luminosidades en que se tienen mediciones a $60\mu\text{m}$ y \blacksquare corresponden a las luminosidades que son sólo límites.

(b) Gráfica con los mismos parámetros de la anterior, pero en lugar de la luminosidad total en radio, usamos la luminosidad del radio centro en ergs s^{-1} .

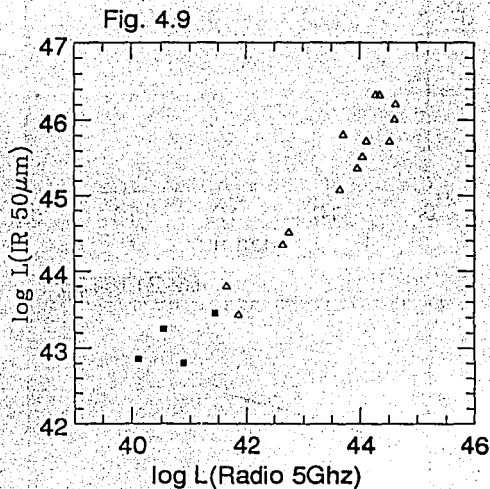
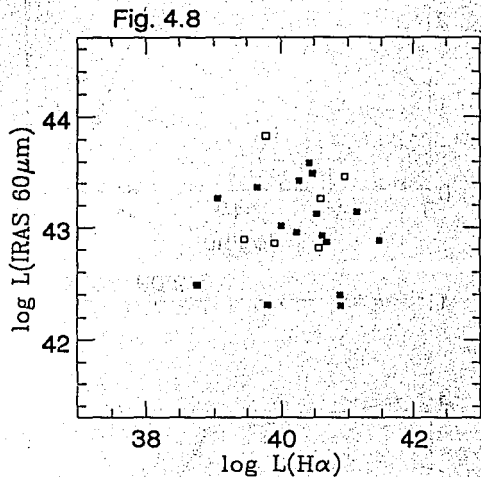


Fig. 4.8 Gráfica de $\log L_{H\alpha}$ vs. $\log L_{60\mu m}$, donde $L_{H\alpha}$ es la luminosidad en $H\alpha$ en unidades de ergs s^{-1} y $L_{60\mu m}$ es la luminosidad en $60\mu m$ en unidades de ergs s^{-1} , las fuentes con \square corresponden a las luminosidades en que se tienen mediciones a $60\mu m$ y \blacksquare corresponden a las luminosidades que son sólo límites.

Fig. 4.9 Gráfica de $\log L_{5\text{Ghz}}$ vs. $\log L_{50\mu m}$, donde $L_{5\text{Ghz}}$ es la luminosidad en radio a 5 Ghz en unidades de ergs s^{-1} y $L_{50\mu m}$ es la luminosidad en $50\mu m$ en unidades de ergs s^{-1} , donde hemos incluido las fuentes en que tenemos valores medidos a estas frecuencias y no sólo límites, \blacksquare ; y los datos para diferentes tipos de NAGs (RGP, cuasares), Δ (Heckman et al. 1994).

Fig. 4.10

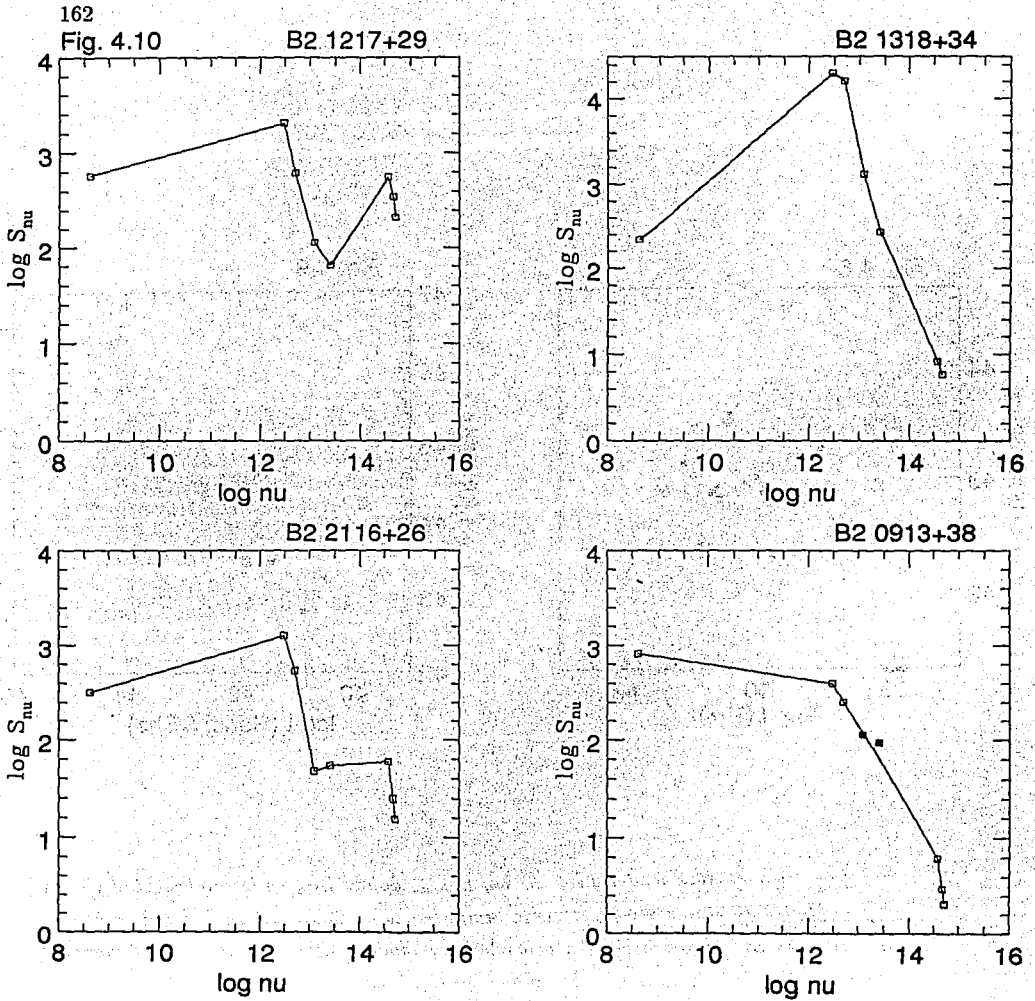


Fig. 4.10 Distribución de energía de radiogalaxias B2 con excesos en el IR: B2 1217+29, B2 1318+34 y B2 2116+26. Comparados con la distribución de energía típica sincrotrónica: B2 0913+38. Los datos medidos son indicados con \square ; y los valores que son límites se indican con \blacksquare . Los datos de radio se obtuvieron del grupo de Boloña, los del MLIR de Impey et al. 1990, y los del óptico del Cap. 2.

Capítulo 5

CONCLUSIONES GENERALES

En este trabajo de tesis hemos presentado los resultados de un programa de observaciones ópticas, basados en imágenes tomadas en el Observatorio Astronómico en San Pedro Mártir, B.C. Las observaciones se hicieron a través de los filtros de banda ancha: V, R e I, y los filtros de interferencia centrados en las líneas: $H\alpha$ + $[NII]\lambda\lambda 6548,6583$ y $[OIII]\lambda 5007$, al corrimiento al rojo de las fuentes. La muestra analizada consistió de 31 radiogalaxias débiles (26 en las imágenes de línea), tomadas del segundo catálogo de radiofuentes de Boloña, B2. Los objetivos principales fueron la búsqueda y caracterización de las regiones extendidas con líneas en emisión y las galaxias huésped de estas radiogalaxias débiles.

5.1 Resultados Generales

En el primer capítulo presentamos una serie de interrogantes que tratamos de responder:

1. ¿Son galaxias elípticas normales las galaxias huésped?
2. ¿Cuál es el origen de estas peculiaridades en este tipo de galaxias: fusiones entre galaxias?
3. Si existen interacciones, ¿qué tipo de galaxias están involucradas en la interacción?
4. ¿Qué fracción de radiogalaxias débiles muestran peculiaridades en su morfología óptica y cómo se compara esta fracción con las radiogalaxias potentes?
5. ¿Cuál es la importancia de las interacciones entre galaxias con el gas ambiental?
6. ¿Cuál es la frecuencia de las RELE en radiogalaxias débiles?

7. ¿Cómo se correlaciona el gas del RELE con la estructura de radio extendida y a su vez con la estructura de la galaxia huésped?
8. ¿Se debe la fotoionización de las RELE a la fuente central o existen fuentes alternas de ionización?
9. ¿Se afecta la distribución del gas de las RELE por interacción con la radiofuente extendida o está totalmente determinada por la máquina central?
10. ¿Qué explican nuestros resultados en la evolución de las radiogalaxias?

Del análisis presentado, los resultados son:

1. Las galaxias de la muestra son básicamente elípticas ($\sim 90\%$), algunas son galaxias de tipo espiral ($\sim 8.2\%$) y de tipo peculiar. Estas elípticas tienen una distribución desde altas luminosidades (galaxias cD) hasta galaxias elípticas poco brillantes.
2. Un alto porcentaje de las galaxias huésped de la muestra ($\sim 65\%$) presentan peculiaridades en su morfología óptica. Este porcentaje de peculiaridades es comparable al 56% encontrada en radiogalaxias potentes (Heckman et al. 1986).
3. Las peculiaridades morfológicas se manifiestan como: abanicos, colas, bandas de polvo, etc., las cuales son semejantes a efectos encontrados en algunas simulaciones numéricas de fusiones entre galaxias. Además, algunas tienen dos o más núcleos o dos galaxias dentro del mismo envolvente. Estas peculiaridades morfológicas se observan a diferentes escalas en la galaxia huésped, tanto en las imágenes como en los perfiles de intensidad.
4. Las peculiaridades no sólo se muestran en la morfología, sino también en los índices de color. Los índices R-I de las galaxias de nuestra muestra son más azules, comparables a otros NAGs. En algunos casos encontramos índices de color R-I y V-R similares a los de las galaxias HII, con lo que muy probablemente se pueden estar produciendo brotes de formación estelar.
5. La presencia de galaxias compañeras es frecuente en las galaxias huésped de las radiofuentes de nuestra muestra a una distancia menor de 25 kpc. En la muestra el $\sim 67\%$ tiene una o más compañeras dentro de esta distancia.

6. En nuestra muestra de radiogalaxias débiles se encuentra que el 29% de las fuentes están asociadas a una agrupación ó cúmulos de galaxias. De esta fracción el 10% se les han detectado halos de rayos-X, por lo que es posible que el gas de este halo pueda alimentar a las partes externas de la galaxia huésped. Este resultado muestra que la presencia del gas en estas galaxias puede tener una contribución del material intracúmulo galáctico acretado a las galaxias huésped.
7. A partir de la comparación de los ángulos de posición de la estructura en radio y la imágenes en banda ancha, encontramos que no existe relación entre el continuo estelar óptico y el radio continuo sincrotrónico para las radiogalaxias débiles.
8. Encontramos que la presencia de las RELE es común en radiogalaxias débiles. En el 81% de los casos hemos podido resolver estas regiones; esta fracción es semejante al encontrado para radiogalaxias potentes que es de 85%. Es decir el gas que puede ser ionizado está presente en galaxias huésped de radiofuentes aparentemente independiente de la potencia de la emisión en radio.
9. Los radios de las RELE que resolvemos, en nuestra muestra de radiogalaxias débiles, varían de 1.6 a 9.1 kpc, con un valor promedio de 4.6 kpc. Estos radios son de la mitad de los que se han obtenido para las radiogalaxias potentes, lo cual puede reflejar que a mayor potencia aumenta la capacidad de ionización de la máquina central o la posibilidad de que el radio *jet* sea el causante de la ionización por choques o una combinación de ambas posibilidades.
10. La morfología de las RELE es muy variada, aunque predominan las formas ovaladas centralmente condensadas y en pocos casos estructuras amorfas. En muchos de los casos encontramos que sólo la parte central de la estructura en radio coincide espacialmente con las estructuras de las RELE. Un caso espectacular es el de B2 1346+26 en el que la morfología es semejante a dos "lóbulos ópticos" bien definidos, los que coinciden espacialmente con los lóbulos de radio.
11. A partir del acervo de imágenes ya calibradas obtuvimos las luminosidades en: $H\alpha + [NII]$ y $[OIII]$, las cuales están en el intervalo de 1.3×10^{39}

a 6.7×10^{41} ergs s^{-1} , con un valor promedio de 1.1×10^{41} ergs s^{-1} . Al comparar estos valores con los de otros tipos de NAGs encontramos que las luminosidades en promedio son dos órdenes de magnitud mayores que el de las galaxias Seyfert y comparables a los de las radiogalaxias potentes.

12. Una vez que obtuvimos, de las imágenes en $H\alpha + [NII]$ y/o $[OIII]$, los valores de la luminosidad en $H\alpha$ calculamos: 1) el valor rms de la densidad electrónica, encontramos que varía de 0.02 a 0.26 cm^{-3} ; 2) el valor rms de la masa del gas que está emitiendo, el que varía de 1.16×10^8 a $2.63 \times 10^9 M_{\odot}$; y 3) el valor rms del parámetro de ionización, el cual está entre 0.05×10^{-2} y 1.06×10^{-2} . Estos valores son del mismo orden de magnitud que los obtenidos para las radiogalaxias potentes, lo que muestra que independientemente de la potencia de la fuente central, los parámetros de las RELE son similares.
13. Encontramos que las luminosidades en $H\alpha$ están correlacionadas con la luminosidad total de radio y la potencia del radio centro. Este resultado sugiere que la máquina central que es la causante de la de emisión en radio, igualmente podría ser la fuente principal de ionización del gas que se observa en las RELE. También podrían existir otras contribuciones a la ionización, por ejemplo ionización por choques debido a la interacción del radio *jet* con el medio intergaláctico.
14. Esta correlación entre las luminosidades en $H\alpha$ y la luminosidad total de radio parece ser válida para todo el conjunto de NAGs. Encontramos que la correlación es menos empinada que la propuesta originalmente para radiofuentes potentes.
15. Del estudio de las propiedades físicas de las galaxias de nuestra muestra, se dividieron en galaxias que tienen manifestaciones obvias de interacción y de no interacción, encontramos que una posibilidad para la alimentación del gas podrían ser fusiones entre galaxias, en las que al menos una de las galaxias que interviene es rica en gas.
16. Comparando los datos del MLIR con los del radio y óptico encontramos que existe una fuerte correlación entre la luminosidad en el MLIR y la luminosidad total en radio y del radio centro. Esto indica que en estas fuentes es la "máquina central" la que está a su vez produciendo directa o

indirectamente la emisión en el MLIR. En este caso el continuo no-térmico de la fuente central es el que puede estar calentando al polvo observado en el MLIR.

17. A partir de los datos en radio, MLIR y óptico, para cada galaxia obtuvimos su distribución espectral de energía y encontramos que en algunas fuentes hay excesos en el infrarrojo que podrían ser manifestaciones de calentamiento del polvo por brotes de formación estelar.
18. Nuestros resultados muestran que el escenario propuesto por Heckman et al. (1986, 1989a, 1989b y 1994) para las radiogalaxias potentes y débiles puede simplificarse: la "máquina central" es la causante principal de la actividad nuclear y extranuclear en las radiogalaxias y las propiedades de las galaxias huésped, así como el ambiente, juegan un papel secundario, aunque importante.

5.2 Trabajos Futuros

A partir de nuestros resultados hemos podido responder la mayor parte de las preguntas planteadas en un inicio para fuentes de radio potencia débil, pero existen muchas interrogantes que surgen de nuestros resultados y de las comparaciones con las propiedades de otros NAGs. Algunas posibles investigaciones que se pueden seguir de este trabajo son:

- Estudio espectroscópico de las RELE que encontramos, para lo cual se requiere tiempo de observación en telescopios grandes debido a lo débil de las fuentes.
- Comparación de los perfiles de intensidad encontrados con los modelos numéricos que se han planteado recientemente para interacción entre galaxias.
- Debido a que es importante conocer la distribución de energía para tener un mejor conocimiento de las diferentes regiones de actividad en las radiogalaxias débiles. Se requieren, además de los datos de radio, el MLIR y del óptico (que obtuvimos), estudios en otros intervalos de frecuencias: cercano-mediano infrarrojo y rayos-X. En particular resulta importante el cercano-mediano infrarrojo por la posible presencia de polvo y la distribución espacial de este.