

PRESENTACIÓN ORAL

Regiones extendidas en emisión en las radiogalaxias 3C 381 y 3C 284: Análisis espectral *long-slit* con GMOS-Gemini

V. Reynaldi^{1,2} & C. Feinstein^{1,2}

(1) Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas - UNLP

(2) Instituto de Astrofísica de La Plata - CONICET

Abstract. *Hubble Space Telescope (HST)* imaging and long-slit spectroscopy with GMOS-Gemini are presented for the radio galaxies 3C 381 and 3C 284. We are studying the ionized regions located far away from the nucleus known as Extended Narrow-Line Regions (ENLR). The line-ratio diagnostic diagrams show that the ionization state of these regions could be explained by the interaction between the radio jet and ENLR's material. This is in agreement with the velocity fields found in both galaxies. We also discuss photoionisation by the AGN through the spatial behavior of the ionising parameter U , and through *matter-bounded clouds* proposed by Binette et al. (1996).

Resumen. En este trabajo presentamos los resultados de las observaciones de las radiogalaxias 3C 381 y 3C 284 con el *Telescopio Espacial Hubble (HST)* y con *GMOS/Gemini* en espectroscopía *long-slit* sobre las Regiones Extendidas de Líneas Angostas (ENLR). A través de diagramas de diagnósticos sobre las líneas de emisión encontramos que la interacción entre el *radio-jet* y el material de la ENLR podría explicar la ionización de la región; estos resultados concuerdan con los campos de velocidades. También se estudió la fotoionización central a través del comportamiento espacial del parámetro de ionización U y la fotoionización que tiene lugar cuando se consideran distintas profundidades ópticas en el material que compone la ENLR.

1. Introducción

Nos proponemos identificar cuál es el mecanismo dominante en la ionización de las ENLR. Analizamos tres teorías: fotoionización debida al AGN, fotoionización con nubes de distinto espesor óptico, e ionización por ondas de choque inducidas por la interacción del *jet* con el material intergaláctico (MIG). En todos los casos adoptamos metalicidad solar para el MIG.

2. Observaciones y Resultados

Las imágenes del HST forman parte del archivo del programa *Snapshot of the 3CR Catalogue* (PI:Sparks). Se utilizaron las imágenes del filtro F702W de ban-

da ancha y del filtro rampa FR533N33, centrado en $[\text{OIII}]\lambda 5007$. Los espectros *long-slit* fueron tomados con Gemini/GMOS con ángulos de posición de 155° para 3C 381 y 70° para 3C 284. Se utilizó una ranura de $0.5''$ de ancho, con la red B600-G5303, $R \sim 1700$, cuya resolución es $0.9\text{\AA}/\text{px}$.

Las imágenes de banda ancha (F702W) muestran a ambas galaxias elípticas; las del filtro rampa (FR533N33) presentan estructuras extendidas y dominadas por la emisión en $[\text{OIII}]\lambda 5007$ (Figura 1). Los espectros confirman que se trata de las Regiones Extendidas de Líneas Angostas (ENLR). Los tamaños lineales proyectados de estas estructuras son de 78.3 kpc para 3C 381 y 57.4 kpc para 3C 284 ($H_0 = 72\text{ km s}^{-1}\text{Mpc}^{-1}$, $\Omega_{\text{materia}} = 0.27$ and $\Omega_{\text{vacío}} = 0.73$).

El campo de velocidades medido en los espectros respecto a los centros galácticos, según las componentes de $[\text{OIII}]\lambda 5007$ muestra algunas componentes que acompañan el movimiento sistémico y otras a diferente velocidad que alcanzan los $\pm 600\text{ km s}^{-1}$.

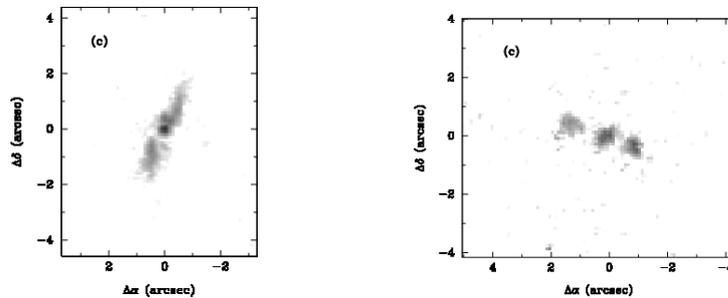


Figura 1. Imágenes del HST en el filtro rampa. *Izquierda:* 3C 381. *Derecha:* 3C 284. (Norte hacia arriba, Este hacia la izquierda)

3. Discusión

La fotoionización central del AGN puede describirse a través del parámetro de ionización $U = Q_0/(4\pi n_e r^2 c)$, que tiene en cuenta la dilución de los fotones ionizantes (Q_0) a una distancia r del AGN. Penston et al. (1990) encontraron que U tiene el mismo comportamiento que el cociente $[\text{OIII}]\lambda 5007/[\text{OII}]\lambda 3727$. Calculamos U a lo largo de toda la región (Figura 2) y con él obtuvimos una estimación de la cantidad de fotones emitidos por el AGN (Q_0). Adoptamos para la densidad n_e el valor de 370 cm^{-3} determinado por Robinson et al. (2002) para 3C 381 y de 100 cm^{-3} (valor mínimo para el cual se calculan los modelos) para 3C 284. De esta forma encontramos que $Q_0 = 1.8 \times 10^{55}\text{ fotones s}^{-1}$ para 3C 381 y una cota mínima de $Q_0 = 9.1 \times 10^{54}\text{ fotones s}^{-1}$ para 3C 284.

Dadas las distancias involucradas es esperable que Q_0 tome valores mayores que estos. Además, el comportamiento de U no es compatible con la fotoionización central. Feinstein et al. (1999, 2002) encontraron resultados similares para 3C 299 y 3C 244.1, donde estas regiones están ionizadas por el paso del *jet*. Luego, concluimos que la fotoionización central del AGN no puede ser el principal responsable del estado de ionización en las ENLR.

Binette et al. (1996) desarrollaron un modelo de fotoionización en el cual la

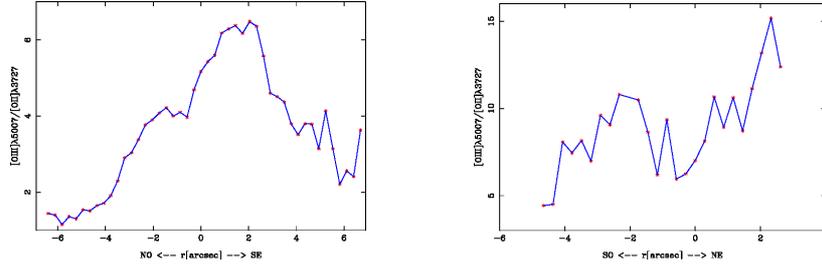


Figura 2. Comportamiento espacial de U respecto al centro galáctico. Izquierda: 3C 381. Derecha: 3C 284

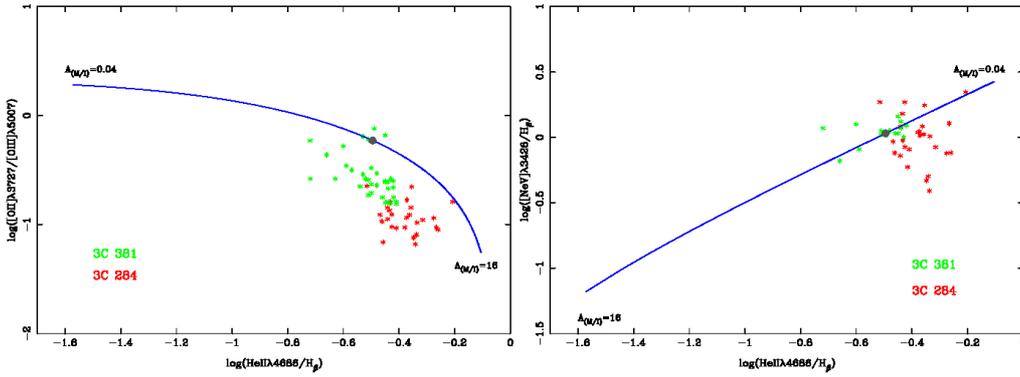


Figura 3. Modelo de fotoionización en fases (Binette et al., 1996,1997). El punto gris indica la posición de $A_{M/I} = 1$.

aparición del espectro de la ENLR es la combinación de los espectros de dos grupos de nubes: *matter-bounded clouds (MB)* ópticamente delgadas y más cercanas al AGN y *ionization-bounded clouds (IB)* ópticamente gruesas. El parámetro que describe este modelo es el cociente entre los ángulos sólidos subtendidos por las nubes MB respecto a las IB: $A_{M/I}$. Calculamos los cocientes de líneas teóricas en el intervalo $0.04 < A_{M/I} < 16$, acorde con el trabajo original. Según el modelo de unificación los valores $A_{M/I} < 1$ representan a aquellos objetos para los cuales la presencia del toroide opaca cierta fracción de las nubes MB: Seyfert 2 o NLRG, mientras que $A_{M/I} > 1$ corresponde a Seyfert 1 o BLRG.

Existe cierta inconsistencia entre distintos diagramas respecto a la posición de las observaciones, para ambas galaxias (Figura 3). La definición de $A_{M/I}$ contempla la orientación de los objetos (3C 381 y 3C 284 son NLRG) pero esto no se ve reflejado en los diagramas. Cuando comparamos nuestros resultados con los de Binette et al. (1996, 1997) es evidente que las observaciones no se ajustan a la secuencia de ionización dada por U , sin embargo tampoco es claro que puedan ajustarse con la secuencia de $A_{M/I}$. Incluso los valores de Q_0 derivados de U (prefijado en el modelo) siguen siendo muy bajos. Por lo tanto entendemos que, aunque es posible que el mecanismo funcione, no puede ser el proceso dominante.

Cuando los *jets* atraviesan el MIG desencadenan ondas de choque que,

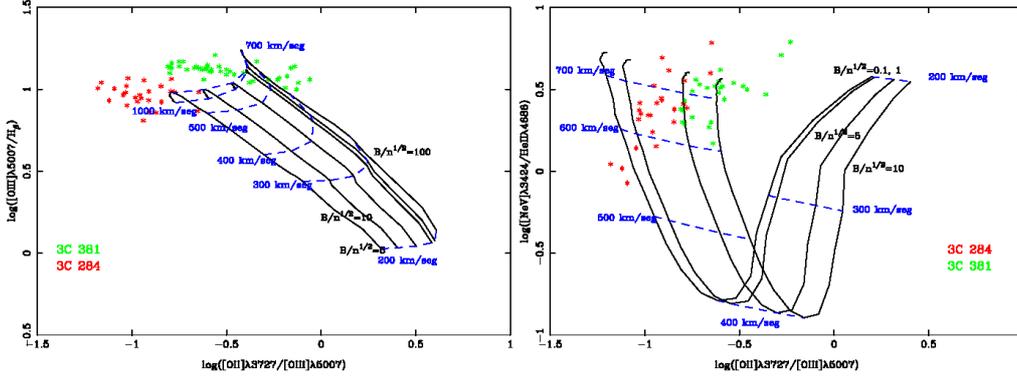


Figura 4. Modelos de ionización por ondas de choque (Allen et al., 2008) para una densidad ambiental de 100 cm^{-3} .

además de acelerar y comprimir el material, provocan emisión de radiación. Los modelos más sofisticados (Dopita & Sutherland 1995, 1996; Allen et al., 2008) incluyen choques y un precursor radiativo. Los parámetros que controlan el espectro son la velocidad de la onda y el parámetro magnético: B/\sqrt{n} , donde B es el campo magnético transversal y n la densidad.

Las ondas de choque con velocidades mayores que 500 km s^{-1} son compatibles con nuestras observaciones (Figura 5) y el parámetro magnético adopta distintos valores a lo largo de la región. Es notable la coherencia entre estos modelos magnetohidrodinámicos y los campos de velocidades en ambas galaxias, que son completamente independientes y permiten explicar tanto la dinámica como el estado de ionización a través de ondas de choque de alta velocidad.

4. Conclusiones

Los argumentos físicos basados en los cocientes entre las líneas de emisión o el comportamiento del parámetro de ionización a lo largo de la ENLR, y la evidencia cinemática en ambas galaxias nos permiten concluir que la interacción entre los *jets* y el MIG es el principal responsable del estado de ionización de estas regiones.

Referencias

- Allen M, Groves B, Dopita M, Sutherland R, Kewley L, 2008, ApJS, 178, 20
 Binette L, Wilson A, Storchi-Bergmann T, 1996, A&A, 312, 365
 Binette L, Wilson A, Raga A, Storchi-Bergmann T, 1997, A&A, 327, 909
 Dopita M, Sutherland R, 1995, ApJ, 455, 468
 Dopita M, Sutherland R, 1996, ApJ, 102, 161
 Feinstein C, Macchetto F, Martel A, Sparks W, McCarthy P, 1999, ApJ, 526, 623
 Feinstein C, Macchetto F, Martel A, Sparks W, 2002, ApJ, 565, 125
 Penston M.V. et al., 1990, A&A, 236, 53
 Robinson T, Tadhunter C, Dyson J, 2002, MNRAS, 331, 13