

AGUJEROS NEGROS SUPERMASIVOS BINARIOS EN GALAXIAS ACTIVAS

El modelo de evolución galáctico más ampliamente reconocido sugiere que las galaxias crecen mediante fusiones que aumentan la formación estelar y posiblemente desencadenan actividad en el núcleo galáctico^{1,2}. Según este modelo, sistemas binarios de agujeros negros (BBH) deberían formarse en el transcurso de una fusión galáctica^{3,4}. Sin embargo el escaso número de BBHs confirmados pone en duda el paradigma de evolución jerárquico, mientras que modelos alternativos como la evolución secular están ganando fuerza hoy en día. Con el objetivo de esclarecer cuál es el modelo evolutivo que rige las galaxias, en mi tesis he seguido tres líneas de estudio para obtener pruebas observacionales de BBHs: en radio-galaxias en forma de X, en fuentes ultraluminosas de rayos X, y en galaxias con núcleo doble.

a) Resultados más importantes obtenidos en la tesis

Las radio-galaxias en forma de X poseen una peculiar morfología que podría ser debida a una fusión reciente de dos agujeros negros supermasivos (SMBH)⁵. En mi tesis esta hipótesis se ha probado mediante un estudio de la masa de agujero negro (BH), las edades de los radio-lóbulos, y las historias de formación estelar de estas galaxias. Los resultados indican que las radio-fuentes en forma de X se encuentran en galaxias elípticas, que sus masas de BH son superiores a los de una muestra de control, y que presentan una mayor formación estelar a escalas de tiempo esperadas en fusiones galácticas^{6,7}. La edad de los radio-lóbulos está también en acuerdo con un retraso entre la fusión galáctica y el inicio de la actividad nuclear desencadenada por la fusión. Todos estos resultados refuerzan la hipótesis de la fusión como origen de la peculiar morfología en X y apoyan el modelo jerárquico galáctico en el que las galaxias crecen mediante fusiones que desencadenan formación estelar y actividad en el núcleo galáctico.

Las fuentes ultraluminosas de rayos X (ULX) emiten una alta luminosidad en rayos X que sugiere que estos objetos podrían ser binarias de rayos X con acrecimiento súper-Eddington^{8,9}, agujeros negros de masa intermedia¹⁰ (IMBH, los cuales se cree son clave en la formación de SMBHs), o el núcleo de galaxias satélite en fusión con la galaxia anfitriona de la ULX^{11,12}. Con el fin de aclarar cuál es la situación más probable, en mi tesis la masa de BH de aquellas ULXs con contrapartidas en radio ha sido estimada a partir de su ubicación en el plano fundamental de los BH. Encontramos que las ULXs estudiadas tienen masas de BH en el rango de 10^3 – $10^8 M_\odot$, reforzando el escenario en el que las ULXs son el núcleo de galaxias satélite, y que el 58% de ellas tienen masas en el rango 10^2 – $10^5 M_\odot$ esperado en IMBHs¹³. También llevamos a cabo observaciones en radio de alta resolución de tres ULXs, obteniendo como resultado dos claras candidatas a IMBH¹⁴ y la estructura resuelta de uno de los restos de supernova más joven conocido¹⁵.

Por último, en mi tesis se ha aplicado por primera vez un modelo evolutivo de BBH^{3,16}, basado en la evolución de la luminosidad nuclear con respecto a la distancia entre los dos núcleos, a una muestra de galaxias con núcleo doble. Los resultados indican que la luminosidad de los dos núcleos se ve afectada por un aumento de la tasa de acrecimiento debido a efectos de marea y por la rotura del disco de acrecimiento, y que la actividad del agujero negro secundario se apaga rápidamente en estas galaxias, lo cual explica la baja tasa de detección de agujeros negros secundarios¹⁷. Así mismo encontramos que en 19 de las galaxias estudiadas los dos núcleos están separados físicamente menos de 1 kpc. Estas fuentes son, por tanto, candidatas a contener pares de núcleos galácticos activos (AGN) a escalas inferiores al kpc.

b) Posible impacto de estos resultados en su campo de especialidad

Los resultados de esta tesis tienen una gran repercusión en el campo de la formación y evolución galáctica puesto que refuerzan el modelo jerárquico en el que las galaxias crecen mediante fusiones. Los resultados obtenidos para las radio-galaxias en forma de X refuerzan, además, que estas fusiones desencadenan formación estelar y que afectan la actividad del núcleo galáctico y sus radio-jets.

Según el modelo jerárquico, en el universo actual las grandes galaxias deberían de haber capturado entre 10 y 100 galaxias satélite más pequeñas¹⁸. El resultado obtenido para las ULXs, en el que las masas de BH encontradas apoyan su posible naturaleza como galaxias satélite, no sólo revela el posible origen de las ULXs sino que también refuerza todavía más el modelo jerárquico. Por otro lado, los candidatos a IMBH encontrados conllevan un gran impacto puesto que los IMBHs se cree son clave para explicar la formación de los SMBHs. Hasta ahora, sólo una ULX ha sido confirmada como IMBH¹⁹.

Por último, el hallazgo de que la luminosidad de los dos núcleos en los BBH se ve afectada por la rotura del disco de acrecimiento y que la actividad del agujero negro se apaga rápidamente es de gran importancia puesto que ofrece una explicación al bajo número de detecciones de BBHs. El descubrimiento de varios candidatos a BBH separados menos de 1 kpc supone también un gran impacto puesto que tan sólo un par de casos han sido detectados hasta ahora^{20,21}.

c) Futuras líneas de actuación

La ocurrencia de una fusión en las radio-galaxias en forma de X y las de núcleo doble podría ser confirmada mediante estudios de la cinemática estelar y del gas (p.ej. mediante espectroscopía integral de campo y observaciones del hidrógeno neutro). Para las radio-galaxias en forma de X, observaciones del gas neutro han sido ya iniciadas con el fin de desvelar la interacción entre los radio-jets y el evento de fusión galáctico. Para las de núcleo doble se propone, además, observaciones en rayos X con tal de confirmar la presencia de dos AGNs separados menos de 1 kpc.

Para las ULXs, observaciones en radio de alta resolución han sido garantizadas con tal de estudiar la presencia de IMBHs (mediante detección de emisión compacta y estimación de la temperatura de brillo e índice espectral). El estudio de contrapartidas ópticas (mediante fotometría y espectroscopía) está también planeado.

d) Publicaciones derivadas de la tesis (en preparación, enviadas o publicadas)

De los resultados de esta tesis se espera un total de 6 artículos arbitrados de primer autor. Dos de ellos han sido ya publicados y citados por otros autores:

Double nucleus post-merger galaxies

Mezcua, M.; Lobanov, A.P., E. Mediavilla, *Astronomy & Astrophysics* (en preparación)

Mass estimates of ultraluminous X-ray sources

Mezcua, M.; Lobanov, A.P., *Astronomy & Astrophysics* (enviada)

The shell-like structure of the extragalactic supernova remnant SNR 4449-1

Mezcua, M.; Lobanov, A.P.; Martí-Vidal, I., *Astronomy & Astrophysics* (enviada)

Merger signatures in X-shaped radio galaxies

Mezcua, M.; Chavushyan, V. H.; Lobanov, A. P.; León-Tavares, J. , *Astronomy & Astrophysics* (enviada)

Compact radio emission in Ultra Luminous X-ray sources

Mezcua, M.; Lobanov, A. P. 2011 *Astronomische Nachrichten* [2011AN....332..379M](#)

Black Hole Masses and starbursts in X-shaped radio sources

Mezcua, M.; Lobanov, A. P.; Chavushyan, V. H.; León-Tavares, J. 2011 *Astronomy & Astrophysics* [2011A&A...527A..38M](#)

A search for radio counterparts to Chandra ULX candidates

Pérez-Ramírez, D.; **Mezcua, M.**; Leon, S.; Caballero-García, M. 2011 *Astronomische Nachrichten* [2011AN....332..384P](#)

X-shaped radio galaxies: their black hole masses and starburst histories

Mezcua, M., Lobanov, A.P., Chavushyan, V.H., & León-Tavares, J. 2011, *Highlights of Spanish Astrophysics VI, Proceedings of the IX Scientific Meeting of the Spanish Astronomical Society* [2011hsa6.conf..271M](#)

Black Hole Masses in X-shaped radio sources

Mezcua, M., Lobanov, A.P., Chavushyan, V.H., & León-Tavares, J. 2009, *Proceedings of the Physics of Galactic Nuclei Conference* [2009pgn.confE..32M](#)

e) Referencias usadas en el texto

- ¹ Kauffmann & Haehnelt 2000, *MNRAS* 311; ² Hopkins et al. 2008, *ApJS* 175; ³ Begelman et al. 1980, *Nature* 287; ⁴ Volonteri et al. 2003, *ApJ* 582; ⁵ Merritt & Ekers 2002, *Science* 297; ⁶ Mezcua et al. 2011, *A&A*, 527, 38; ⁷ Mezcua et al. 2012a, *A&A*, enviada; ⁸ King et al. 2001, *ApJ*, 552; ⁹ Begelman 2002, *ApJ*, 568; ¹⁰ Colbert & Mushotzky 1999, *ApJ*, 519; ¹¹ Lobanov 2007, *Proceedings of Science*, p. 113; ¹² King & Dehnen 2005, *MNRAS*, 357; ¹³ Mezcua & Lobanov 2012, *A&A*, enviada; ¹⁴ Mezcua & Lobanov 2011, *AN*, 332, 379; ¹⁵ Mezcua et al. 2012b, *A&A*, enviada; ¹⁶ Lobanov, 2008, *Mem. Soc. Astron. Italiana*, 79; ¹⁷ Mezcua et al. 2012c, en preparación; ¹⁸ White & Rees 1978, *MNRAS*, 183; ¹⁹ Farrell et al. 2009, *Nature*, 460; ²⁰ Rodríguez et al. 2006, *ApJ*, 646; ²¹ Fabbiano et al. 2011, *Nature*, 477.