

Resumen de la tesis doctoral de Jesús M. Corral Santana

Search and characterization of Galactic black holes

Dirigida por el Dr. Jorge Casares y el Dr. Ignacio Glez. Martínez-Pais

Se estima que hay alrededor de 10^9 agujeros negros (ANs) de masa estelar en la galaxia, pero sólo aquellos que se encuentran en sistemas binarios pueden ser más fácilmente detectados. Todos los ANs galácticos conocidos han sido descubiertos en binarias de rayos X transitorias (BRXTs). Estos sistemas presentan largos periodos de quietud y episodios eruptivos esporádicos [1] que aumentan su brillo en todas las longitudes de onda y permiten su localización por los satélites de rayos X. Se estima que hay en torno a 10^4 BRXTs en la galaxia [2, 3], sin embargo, en ~ 50 años de astronomía de rayos X, sólo hemos detectado 55 candidatos a AN de los cuales sólo 18 se han confirmado dinámicamente (dos de ellos son fruto del trabajo realizado en esta tesis) y todos ellos descubiertos al entrar en erupción. La motivación de este trabajo de tesis ha sido precisamente aumentar la población de ANs mediante: (i) la confirmación dinámica de los candidatos descubiertos a través de episodios eruptivos y (ii) el diseño de técnicas que permitan detectar la población oculta de ANs transitorios antes de entrar en erupción.

En este trabajo de tesis se presenta la confirmación dinámica de un AN en el sistema XTE J1859+226, el primero descubierto con datos del Gran Telescopio Canarias [4]. También se describe la confirmación de un AN en el sistema Swift J1357.2–0933 [5], siendo el primero descubierto a muy alta inclinación. Debido a este hecho, pudimos descubrir la presencia de una estructura vertical toroidal en el disco de acreción que producía eclipses extremadamente rápidos y oscurecía al AN. La presencia de esta estructura podría estar presente en todas o muchas otras BRXT y gracias a la cercanía del sistema (1.6 kpc) y su alta inclinación ha sido posible descubrirla. Esto convierte a Swift J1357.2–0933 en el primero de una población hasta ahora oculta de sistemas con muy alta inclinación [6]. La detección de esta estructura inédita puede jugar un papel fundamental en los modelos de acreción y los mecanismos de colimación de chorros o *jets* en los agujeros negros de masa estelar.

Estos dos nuevos objetos completan la muestra actual de 18 ANs dinámicamente confirmados, una población muy escasa debido a que hasta ahora, todos los objetos han sido detectados al entrar en erupción. Para descubrir ANs en quietud, hemos analizado las propiedades observacionales y dinámicas de todos los sistemas conocidos. En este trabajo se presenta la recopilación de todos estos datos, siendo el catálogo de propiedades más actualizado y completo de los elaborados hasta la fecha y disponible en internet [7]. Basándonos en esta información (distribución en torno al plano galáctico y la emisión en $H\alpha$ producida en el disco de acreción) hemos hecho uso de los cartografiados astronómicos IPHAS [8], UVEX [9] (en los que he participado activamente en su desarrollo) y 2MASS [10] para diseñar los criterios de búsqueda de ANs en quietud. Mediante diagramas color-color, analizando la localización de los ANs en ellos y la de otras familias de objetos del plano galáctico con emisión en $H\alpha$, hemos desarrollado los criterios de color más eficaces para buscar ANs [11]. Esto ha permitido obtener 11.000 candidatos de una base de datos inicial de ~ 200 millones de objetos. El análisis de la naturaleza de estos posibles candidatos a AN se ha hecho a través de espectroscopia de fibras y, aunque no hemos encontrado todavía ningún candidato, sólo hemos analizado $< 1\%$ del número total de objetos que se esperan obtener cuando los cartografiados hayan terminado. Estimamos encontrar ~ 25 nuevos ANs con las restricciones de los catálogos lo que supone multiplicar por 2,4 el número de ANs descubiertos en ~ 50 años pero, sobre todo, esta técnica permitirá descubrir ANs transitorios en quietud, lo que ha sido imposible hasta la fecha y supone una revolución para el campo de las binarias de rayos X [12].

Referencias del resumen

- [1] McClintock, J. E. & Remillard, R. A., 2006. *Black hole binaries*, chapter 4, pp. 157–213
- [2] Kiel, P. D. & Hurley, J. R., 2006. *MNRAS*, **369**, 1152
- [3] Yungelson, L. R. et al., 2006. *A&A*, **454**, 559
- [4] Corral-Santana, J. M. et al., 2011. *MNRAS*, **413**, L15
- [5] Corral-Santana, J. M. et al., 2013. *Science*, **339** 6123, 1048
- [6] Narayan, R. & McClintock, J. E., 2005. *ApJ*, **623**, 1017
- [7] Corral-Santana, J. M., Casares, J. & Martínez-Pais, I. G., 2013. *in preparation*
- [8] Drew, J. E. et al., 2005. *MNRAS*, **362**, 753
- [9] Groot, P. J. et al., 2009. *MNRAS*, **399**, 323
- [10] Skrutskie, M. F. et al., 2006. *AJ*, **131**, 1163
- [11] Corral-Santana, J. M., Casares, J. & Martínez-Pais, I. G., 2010. In J. M. Diego, J. I. G.-S. . J. G., L. J. Goicoechea, ed., *Highlights of Spanish Astrophysics V*, p. 389
- [12] Corral-Santana, J. M., Casares, J. & Martínez-Pais, I. G., 2013. *in preparation*

Publicaciones arbitradas derivadas de la tesis

- [1] Casares, J., Morales, J. C., Ribas, I., Ribó, M., Paredes, J. M., **Corral-Santana, J. M.**, and Muñoz-Darias, T., 2013, *The γ -ray binary LS 5039. II - Evidence for stellar oscillations*, *MNRAS submitted*
- [2] Casares, J., Orosz, J. A., Zurita, C., Shahbaz, T., **Corral-Santana, J. M.**, McClintock, J. E., García, M. R., Martínez-Pais, I. G., Charles, P. A., Fender, R. P., and Remillard, R. A., 2009, *Refined Orbital Solution and Quiescent Variability in the Black Hole Transient GS 1354-64 (= BW Cir)*, *ApJS* **181**, 238
- [3] **Corral-Santana, J. M.**, Casares, J., and Martínez-Pais, I. G., 2013a, *Unveiling new quiescent black holes with the EGAPS surveys, in preparation*
- [4] **Corral-Santana, J. M.**, Casares, J., and Martínez-Pais, I. G., 2013b, *An Updated Census of Black Holes Transients, in preparation*
- [5] **Corral-Santana, J. M.**, Casares, J., Muñoz-Darias, T., Rodríguez-Gil, P., Shahbaz, T., Torres, M. A. P., Zurita, C., and Tyndall, A., 2013c, *A Black Hole Nova Obscured by an Inner Disk Torus*, *Science* **339(6123)**, 1048
- [6] **Corral-Santana, J. M.**, Casares, J., Shahbaz, T., Zurita, C., Martínez-Pais, I. G., and Rodríguez-Gil, P., 2011, *Evidence for a black hole in the X-ray transient XTE J1859+226*, *MNRAS* **413**, L15
- [7] Groot, P. J., Verbeek, K., Greimel, R., Irwin, M., González-Solares, E., Gänsicke, B. T., de Groot, E., Drew, J., Augusteijn, T., Aungwerojwit, A., Barlow, M., Barros, S., van den Besselaar, E. J. M., Casares, J., Corradi, R., **Corral-Santana, J. M.**, Deacon, N., van Ham, W., Hu, H., Heber, U., Jonker, P. G., King, R., Knigge, C., Mampaso, A., Marsh, T. R., Morales-Rueda, L., Napiwotzki, R., Naylor, T., Nelemans, G., Oosting, T., Pyzas, S., Pretorius, M., Rodríguez-Gil, P., Roelofs, G. H. A., Sale, S., Schellart, P., Steeghs, D., Szyszka, C., Unruh, Y., Walton, N. A., Weston, S., Witham, A., Woudt, P., and Zijlstra, A., 2009, *The UV-Excess survey of the Northern Galactic plane*, *MNRAS* **399**, 323
- [8] Verbeek, K., de Groot, E., Groot, P. J., Scaringi, S., Drew, J., Greimel, R., Irwin, M., González-Solares, E., Gänsicke, B. T., Casares, J., **Corral-Santana, J. M.**, Deacon, N., and Steeghs, D., 2012a, *A first catalogue of automatically selected ultraviolet-excess sources from the UVEX survey*, *MNRAS* **420**, 1115

- [9] Verbeek, K., Groot, P. J., Nelemans, G., Scaringi, S., Napiwotzki, R., Drew, J. E., Steeghs, D., Casares, J., **Corral-Santana, J. M.**, Gänsicke, B. T., González-Solares, E., Greimel, R., Heber, U., Irwin, M. J., Knigge, C., Wright, N., and Zijlstra, A., 2013, *The space density and formation rate of hydrogen atmosphere white dwarfs in the Galactic plane*, *MNRAS submitted*
- [10] Verbeek, K., Groot, P. J., Scaringi, S., Napiwotzki, R., Spikings, B., Østensen, R. H., Drew, J. E., Steeghs, D., Casares, J., **Corral-Santana, J. M.**, Corradi, R. L. M., Deacon, N., Drake, J. J., Gänsicke, B. T., González-Solares, E., Greimel, R., Heber, U., Irwin, M. J., Knigge, C., and Nelemans, G., 2012b, *Spectroscopic follow-up of ultraviolet-excess objects selected from the UVEX survey*, *MNRAS* **426**, 1235
- [11] Zurita, C., Casares, J., and **Corral-Santana, J. M.**, 2013, *The historical X-ray transient KY TrA*, *MNRAS Submitted*

Otras publicaciones de la tesis no arbitradas

- [1] Casares, J., **Corral-Santana, J. M.**, Herrero, A., Morales, J. C., Muñoz-Darias, T., Negueruela, I., Paredes, J. M., Ribas, I., Ribó, M., Steeghs, D., van Spaandonk, L., and Vilardell, F., 2011a, in D. F. T. . N. Rea (ed.), *High-Energy Emission from Pulsars and their Systems*, p. 559
- [2] Casares, J., Rodríguez-Gil, P., Zurita, C., **Corral-Santana, J. M.**, Corradi, R., Cornelisse, R., and Charles, P. A., 2012, *Optical photometry and Halpha Spectroscopy of SWIFT J1910.2-0546/MAXI J1910-057*, *The Astronomer's Telegram* **4347**, 1
- [3] Casares, J., Torres, M. A. P., Negueruela, I., Gonzalez-Fernandez, C., **Corral-Santana, J. M.**, Zurita, C., and Llano, S. R., 2011b, *High resolution Halpha spectroscopy and R-band photometry of Swift J1357.2-0933*, *The Astronomer's Telegram* **3206**, 1
- [4] **Corral-Santana, J. M.**, Casares, J., Hornochova, P., and Wolf, M., 2010a, *Possible Nova in M31: M31N 2010-10b*, *Central Bureau Electronic Telegrams* **2487**, 1
- [5] **Corral-Santana, J. M.**, Casares, J., and Martínez-Pais, I. G., 2010b, in J. M. Diego, L. J. Goicoechea, J. I. González-Serrano, and J. Gorgas (eds.), *Highlights of Spanish Astrophysics V*, p. 389
- [6] **Corral-Santana, J. M.**, Casares, J., Martínez-Pais, I. G., and Rodríguez-Gil, P., 2008, in D. G. . C. R. G. R. M. Bandyopadhyay, S. Wachter (ed.), *A Population Explosion: The Nature & Evolution of X-ray Binaries in Diverse Environments*, Vol. 1010 of *American Institute of Physics Conference Series*, pp 79–81
- [7] **Corral-Santana, J. M.**, Casares, J., and Rodríguez-Gil, P., 2010c, *Addendum: Optical re-brightening of the black hole transient XTE J1752-223*, *The Astronomer's Telegram* **2805**, 1
- [8] **Corral-Santana, J. M.**, Rodríguez-Gil, P., Guerra, J. C., and Casares, J., 2010d, *XTE J1752-223: back to optical quiescence*, *The Astronomer's Telegram* **2818**, 1
- [9] **Corral-Santana, J. M.**, Rodríguez-Gil, P., Hurley, D., and Casares, J., 2010e, *Optical re-brightening of the black hole binary XTE J1859+226*, *The Astronomer's Telegram* **2845**, 1
- [10] de Ugarte Postigo, A., Castro-Tirado, A. J., **Corral-Santana, J. M.**, Casares, J., Blomme, J., Kubanek, P., Jelinek, M., and Gorosabel, J., 2008, *SGR 0501+4516: optical observations.*, *GRB Coordinates Network* **8121**, 1
- [11] Hornoch, K., **Corral-Santana, J. M.**, and Casares, J., 2010a, *No-vae in M31*, *Central Bureau Electronic Telegrams* **2391**, 1
- [12] Hornoch, K., **Corral-Santana, J. M.**, Casares, J., Garnavich, P., Kennedy, C., Kubanek, P., Morales, N., Ortiz, J. L., Gorosabel, J., Jelinek, M., Littlefield, C., Paul, N., Bouzid, S., Lara-Gil, O., Pinfield, D., Sipocz, B., Kovacs, G., and Martorell, P., 2010b, *Apparent Novae in M31*, *Central Bureau Electronic Telegrams* **2411**, 1
- [13] Torres, M. A. P., Rodríguez-Gil, P., Steeghs, D., **Corral-Santana, J. M.**, Casares, J., and Jonker, P. G., 2007, *Optical decline of HETE J1900.1-2455*, *The Astronomer's Telegram* **1090**, 1
- [14] Zurita, C., Casares, J., and **Corral-Santana, J. M.**, 2012, *Optical photometry of MAXI J1647-227*, *The Astronomer's Telegram* **4204**, 1