

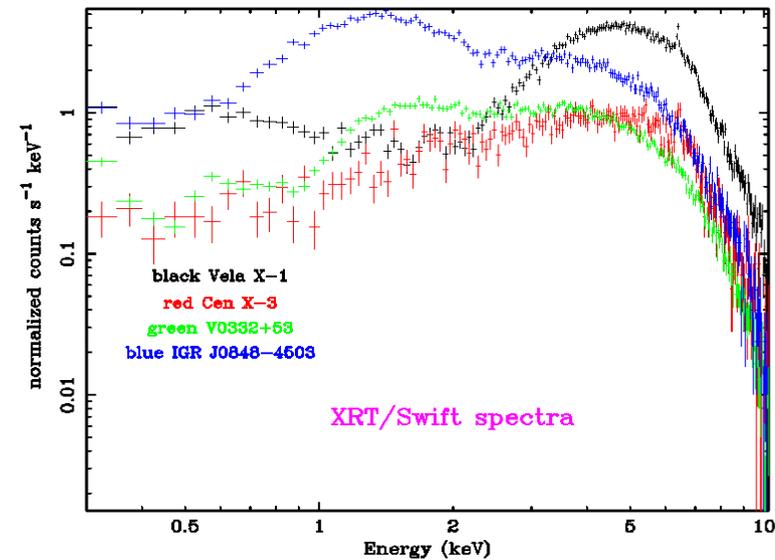


Departament de Física, Enginyeria de Sistemes i Teoria del Senyal  
Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal

**J. J. Rodes, J. M. Torrejón, K. L. Page, J. P. Osborne & G. Bernabéu**

## ***Espectroscopia de rayos X de binarias de alta masa con Swift/XRT***

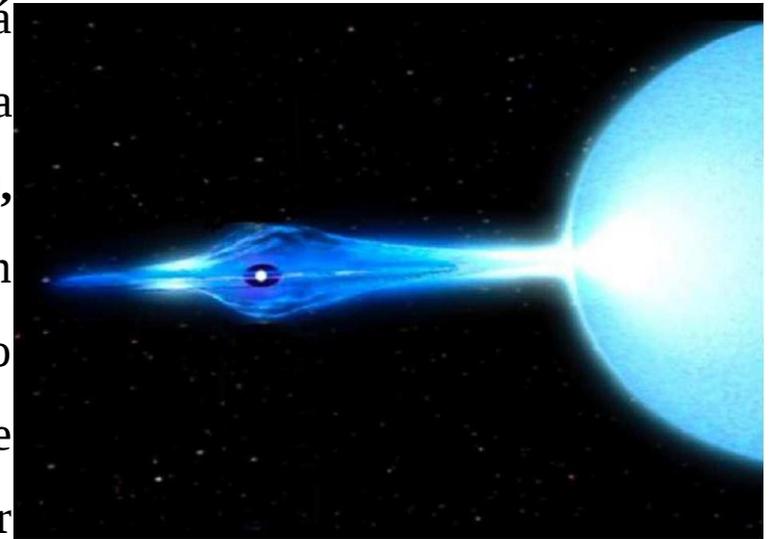
**Resumen.** *Estamos realizando una exploración sistemática de todos los sistemas binarios de alta masa (HMXB) detectados con el instrumento XRT (X-ray telescope) integrado en el observatorio espacial Swift, con el objetivo de obtener una caracterización homogénea. Aquí presentamos una muestra de tres sistemas HMXB: dos cuya componente óptica es una estrella de tipo supergigante (SGXB) y otra cuya componente óptica es una estrella de tipo Be (Be/X).*



**Acknowledgements.** Part of this work was supported by the Spanish Ministry of Education and Science **Primera ciencia con el GTC: La astronomía española en vanguardia de la astronomía europea CSD200670** and **Multiplicidad y evolución de estrellas masivas project number AYA200806166C0303**. KLP and JPO acknowledge support from STFC. JMT & JJRR acknowledge support by the Spanish **Ministerio de Educación y Ciencia (MEC)** under grants **PR2007-0176 & PR2009-0455**. This work made use of data supplied by the UK Swift Science Data Centre at the University of Leicester.

## 1. INTRODUCCIÓN

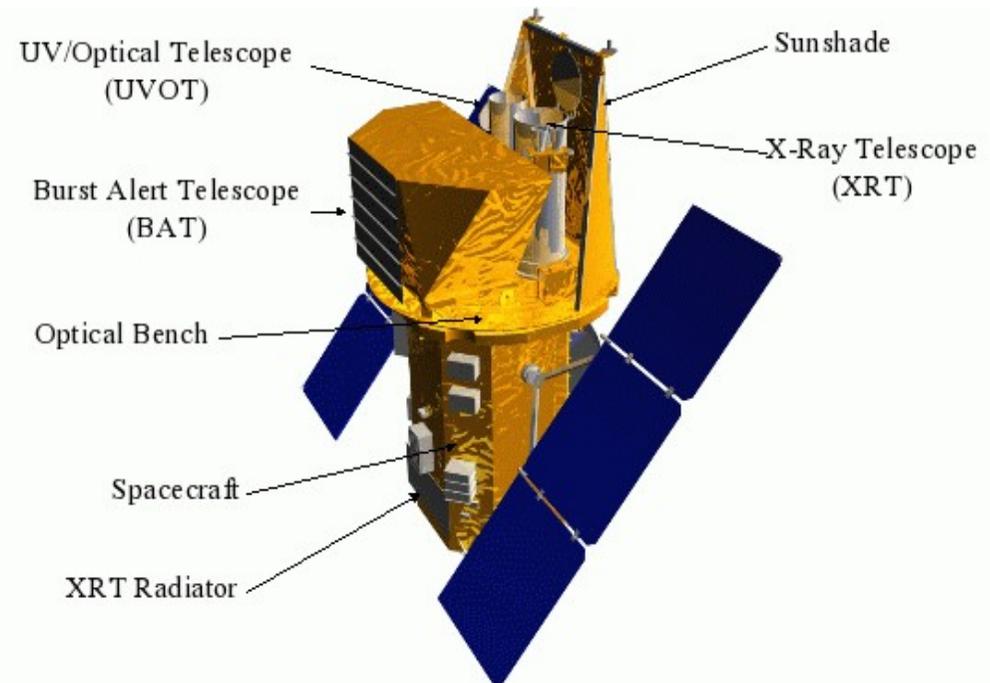
Las **binarias de rayos X de alta masa** constituyen un laboratorio excelente para analizar la materia en condiciones extremas de temperatura, densidad, gravedad y sus campos magnéticos. Estas características físicas son imposibles de lograr en laboratorios terrestres. Se puede definir como sistema binario de rayos X de alta masa como aquel que está constituido por un **objeto compacto** (habitualmente una **estrella de neutrones**) y una **estrella de tipo temprano O, B o Be**. Además, las evidencias observacionales permiten establecer que la transferencia de masa entre el objeto compacto y la estrella de tipo temprano (habitualmente denominadas ópticas, compañeras) se puede producir por captura de materia del viento estelar, a través del lóbulo de Roche o por la interacción del objeto compacto con el disco circunestelar, en el caso de las Be/X.



**Figura 1.** Esquema de un sistema binario de alta masa en el que se simula la captura de masa por viento estelar de un objeto compacto.

*Swift* es un satélite US/UK/Italiano diseñado para el estudio de estallidos de rayos gamma compuesto por los telescopios **BAT** (*Burst Alert Telescope*), **XRT** (*X-ray Telescope*) y **UVOT** (*Ultraviolet/optical Telescopes*). La Universidad de Leicester ha jugado un papel fundamental en la calibración del XRT y es la encargada de mantener la base de datos de las observaciones realizadas por el satélite Swift.

En este trabajo, en el marco de la colaboración entre las universidades de Leicester y Alicante, presentamos la espectroscopia de tres sistemas binarios de rayos X de alta masa observados por el XRT: **Vela X-1**, **Cen X-3** y **V0332+53**. Los dos primeros corresponden a sistemas cuya componente óptica es una estrella supergigante, mientras que en el último la componente óptica es una estrella de tipo Be.



**Figura 2.** Diagrama del satélite Swift y todos sus instrumentos.

## 2. OBTENCIÓN DE DATOS

El satélite **Swift** ha revolucionado nuestro conocimiento sobre los estallidos de rayos gamma (*GRBs* en el acrónimo en inglés, Gehrels et al. 2004) en el que el **XRT** ha desempeñado un papel importante en este proceso (Burrows et al. 2005). El principal objetivo es la caracterización de las HMXB mediante la obtención de una muestra homogénea con el observatorio espacial **Swift/XRT** (Evans et al. 2009).

La primera fase de este trabajo ha consistido en la búsqueda de todos los sistemas binarios de rayos X que tienen observaciones con XRT. Hemos encontrado una veintena de sistemas binarios de rayos X de alta masa (HMXB en el acrónimo en inglés) en los que, al menos, se ha podido extraer el espectro.

A continuación, presentamos el análisis de una muestra de tres HMXBs bien conocidas y que presentan elementos comunes en el espectro de altas energías (líneas de absorción ciclotrón): Vela X-1, Cen X-3 y V0332+53.

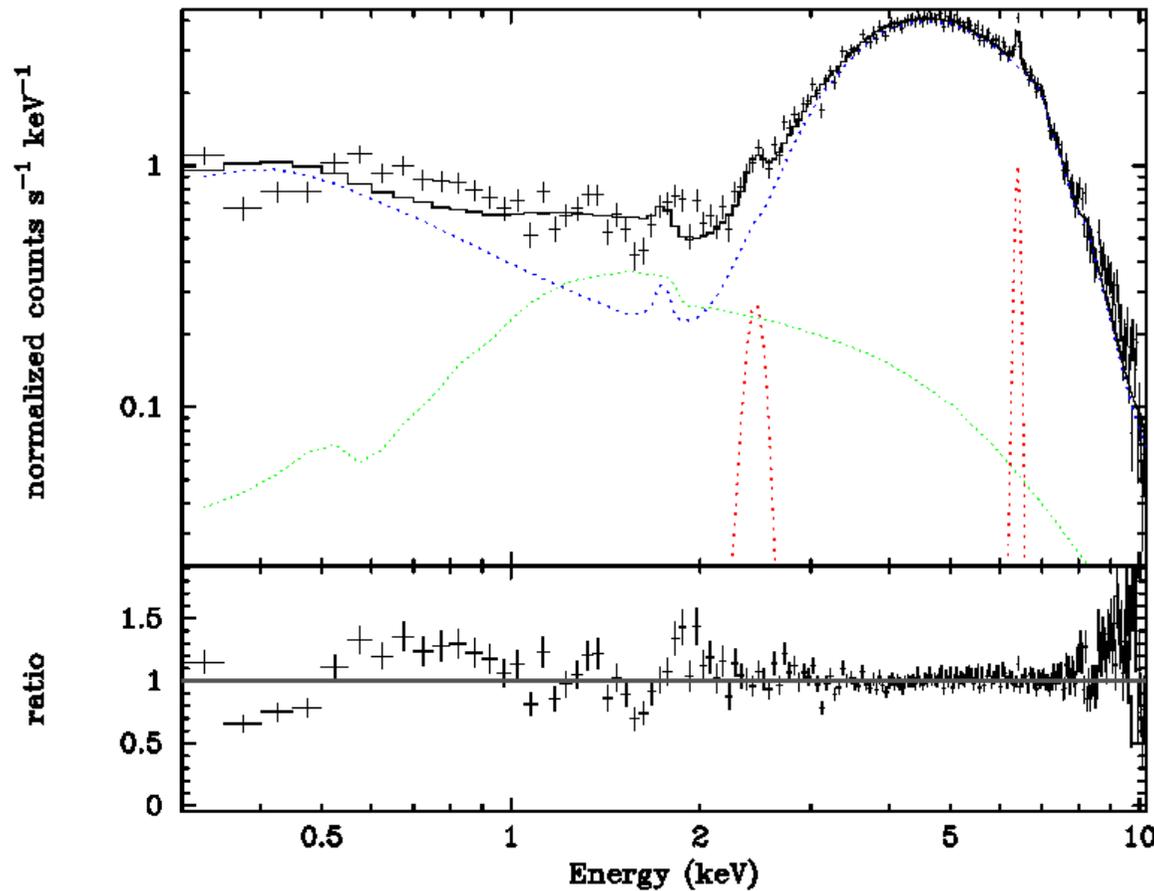
### **3. ANÁLISIS ESPECTRAL**

Para el estudio espectral hemos utilizado la versión 12.5.0 (Arnaud 1996) de XSPEC realizando los ajustes de los modelos en este entorno informático. Hemos centrado el análisis en la detección de características de absorción y/o emisión en el espectro de rayos X. La definición del continuo es fundamental para identificar la presencia de líneas espectrales.

#### **3.1. Vela X-1**

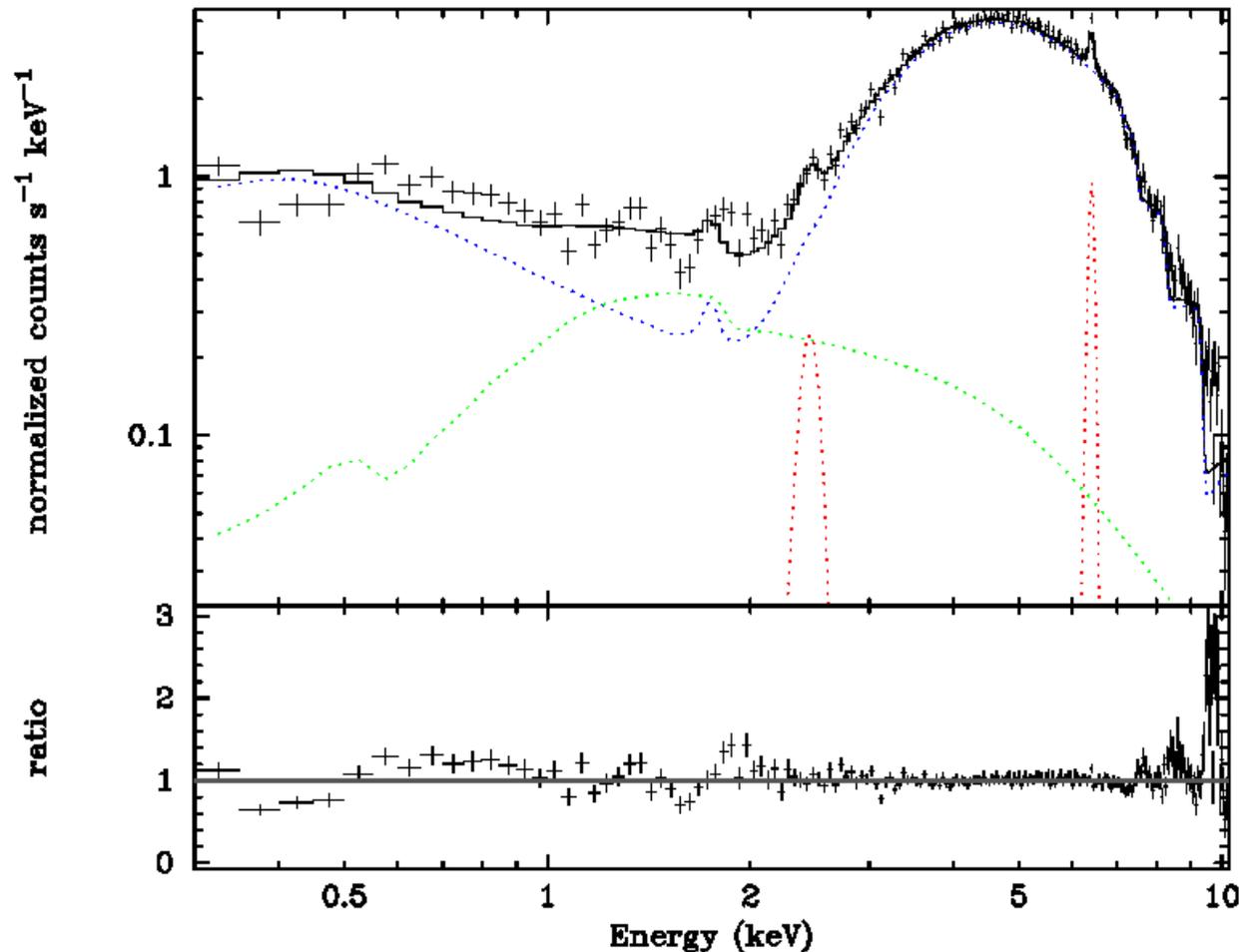
Es un sistema eclipsante formado por una estrella supergigante de tipo B0.5 Ib y una estrella de neutrones que captura materia del viento estelar. Este sistema ha sido estudiado en todo el espectro electromagnético: infrarrojo (Huthoff & Kaper 2002), óptico (van Kerkwijk et al. 1995, Kaper et al. 1994), ultravioleta (Sadakane et al. 1985, van Loon et al. 2001), rayos gamma (Raubenheimer et al. 1994), rayos X (Goldstein et al. 2004) y radio (Fender & Hendry 2000).

Hemos obtenido el espectro XRT/WT de Vela X-1 siendo el **nivel neto de cuentas** de  $17,52 \pm 0,08$  cts/s para un **tiempo de exposición** de 2816 s. Las figuras 3 y 4 muestran el modelo de continuo con



**Figura 3.** El modelo de continuo se compone de una ley de potencias absorbida para bajas energías (línea verde) y otra ley de potencias absorbida modificada por una línea de absorción de tipo gaussiano a 8,2 keV y una componente “*smedge*” en notación XSPEC para altas energías (línea azul). Sobre este continuo se detectan dos líneas de emisión a 6,4 keV (Fe K $\alpha$ ) y a 2,4 keV (S XV He $\alpha$ ) (líneas rojas).

sus componentes y los residuos respecto a los datos observacionales. El **chi-cuadrado reducido** para ambos ajustes fue de **1,3** siendo el número de **grados de libertad** de **983 (figura 3)** y **989 (figura 4)**.



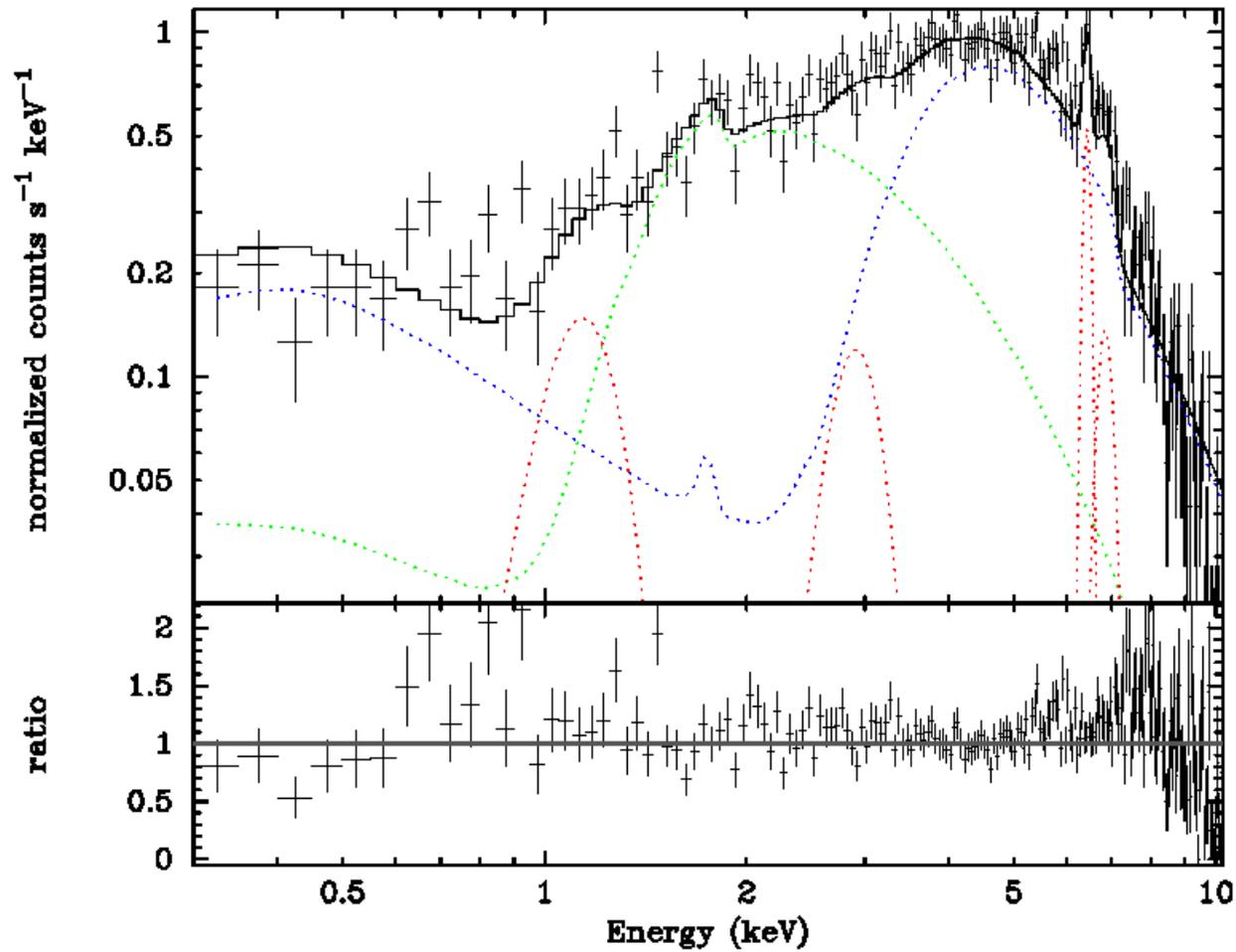
**Figura 4.** El modelo de continuo se compone de una ley de potencias absorbida para bajas energías (línea verde) y otra ley de potencias absorbida modificada por tres componentes “*edge*” en notación XSPEC (línea azul) para altas energías. Sobre este continuo se detectan dos líneas de emisión a 6,4 keV (Fe K $\alpha$ ) y a 2,4 keV (S XV He $\alpha$ ) (líneas rojas).

### 3.2. Cen X-3

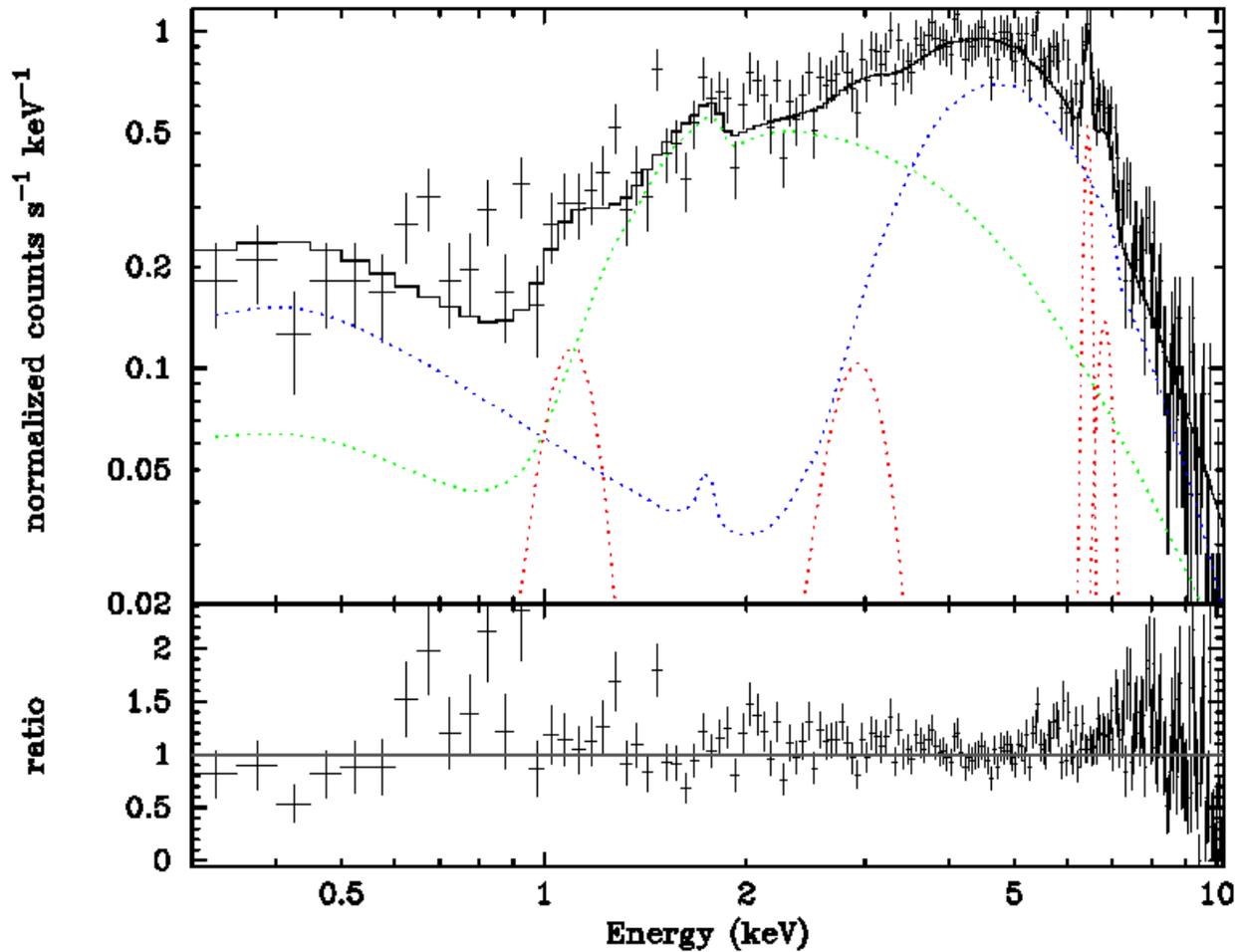
Es también un sistema eclipsante formado por una estrella supergigante de tipo O y una estrella de neutrones. Presenta una gran luminosidad en rayos X ( $10^{37} - 10^{38}$  erg/s) y el viento estelar de la estrella óptica es muy intenso, por lo que la fotoionización del viento circunestelar por radiación X debe ser significativa en este sistema (Day & Stevens 1993). Este hecho significa que es posible la presencia de líneas de emisión debido a recombinación en el plasma altamente ionizado.

Hemos obtenido el espectro XRT/WT de Cen X-3 siendo el **nivel neto de cuentas** de  $5,10 \pm 0,02$  cts/s para un **tiempo de exposición** de 1424 s. Las figuras 5 y 6 muestran el modelo de continuo con sus componentes y los residuos respecto a los datos observacionales. El **chi-cuadrado reducido** para ambos ajustes fue de **1,1** siendo el número de **grados de libertad** de **988**.

La presencia de líneas de emisión tanto de elementos con baja ionización como con alto grado de ionización sugiere que la materia responsable de la emisión se distribuye en un amplio rango de distancias o tiene una gran diversidad de densidades.



**Figura 5.** El modelo de continuo se compone de una ley de potencias absorbida para bajas energías (línea verde) y otra ley de potencias absorbida para altas energías (línea azul). Sobre este continuo se detectan cuatro líneas de emisión a 6,4 keV (Fe  $K\alpha$ ), a 6,8 keV (Fe XXVI), a 2,9 keV (Ar  $K\alpha$ ) y a 1,1 keV (Ne X  $Ly\alpha$ ) (líneas rojas).

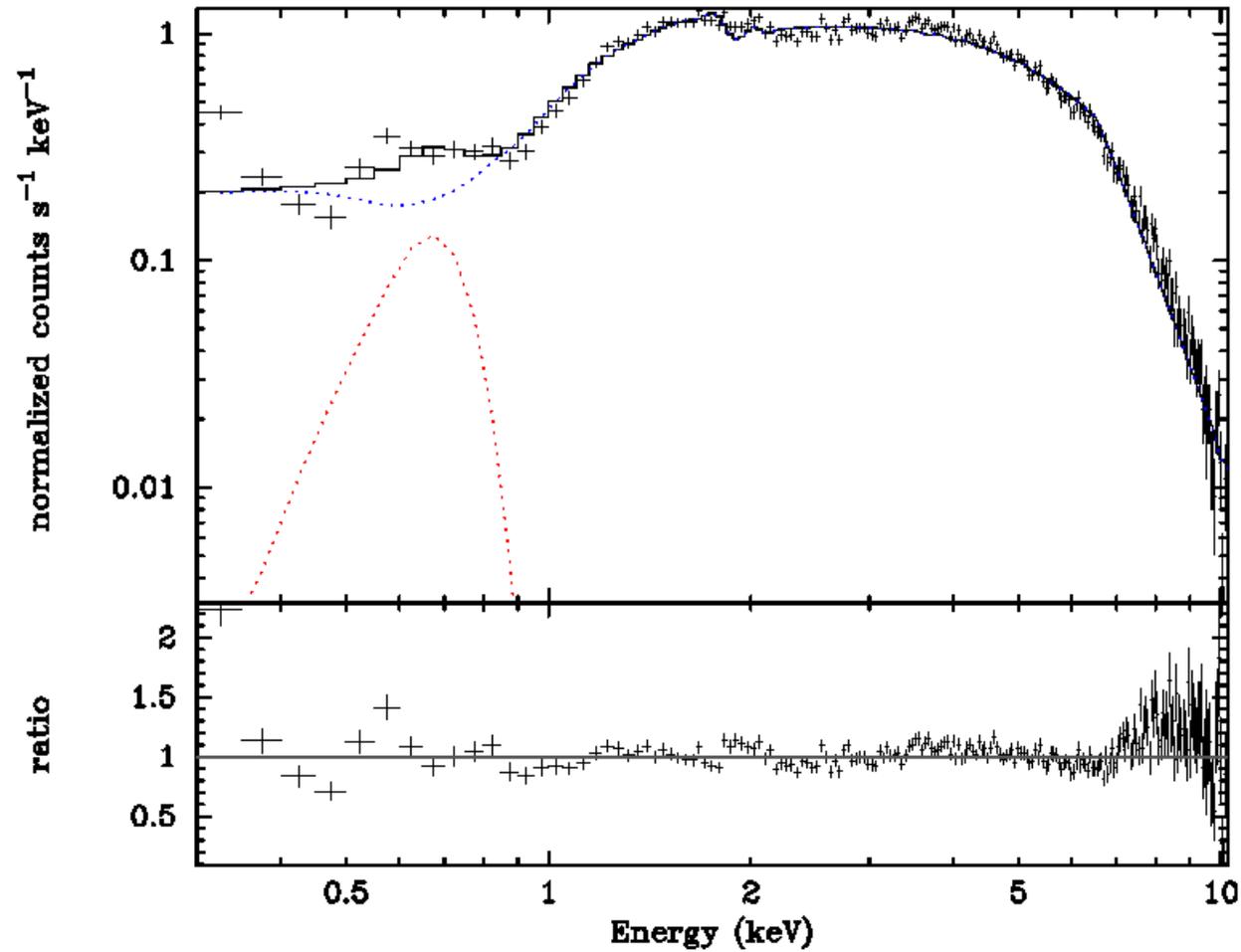


**Figura 6.** El modelo de continuo se compone de una ley de cuerpo negro absorbida para bajas energías (línea verde) y una ley de potencias absorbida para altas energías (línea azul). Sobre este continuo se detectan cuatro líneas de emisión a 6,4 keV (Fe  $K\alpha$ ), a 6,8 keV (Fe XXVI), a 2,9 keV (Ar  $K\alpha$ ) y a 1,1 keV (Ne X  $Ly\alpha$ ) (líneas rojas).

### 3.3. V0332+53

Es un sistema binario de rayos X transitorio formado por una estrella de clase espectral O8-9 Ve y una estrella de neutrones. La estrella de neutrones realiza una órbita excéntrica y se producen estallidos en rayos X que provocan un gran aumento de la luminosidad. Este sistema HMXB pertenece a la subclase BeX que presenta características diferentes respecto a los dos primeros analizados previamente. La principal diferencia radica en la forma en que se produce la radiación X, mientras que en los anteriores se debe a la captura de materia del viento estelar y es permanente, en los sistemas BeX se debe al paso de la estrella de neutrones por regiones cercanas a la estrella Be y tiene un régimen transitorio. La luminosidad en rayos X puede llegar a ser del orden de  $10^{38}$  erg/s, próxima a la luminosidad de Eddington.

Hemos obtenido el espectro XRT/WT de V0332+53 siendo el **nivel neto de cuentas** de  $5,461 \pm 0,022$  cts/s para un **tiempo de exposición** de 10,91 ks. La figura 7 muestra el modelo de continuo con sus componentes y los residuos respecto a los datos observacionales. El **chi-cuadrado reducido** para el ajuste fue de **1,3** siendo el número de **grados de libertad** de **991**.



**Figura 7.** El modelo de continuo se compone de una ley de potencias absorbida (línea azul) y una componente de tipo gaussiano para describir el exceso a bajas energías (línea roja). No se ha detectado con un nivel de significación importante ninguna línea de emisión.

## 4. CONCLUSIONES

Las herramientas desarrolladas por el equipo de Swift/XRT, en el marco de la colaboración entre los investigadores de las universidades de Leicester y Alicante, nos ha permitido extraer una muestra de espectros homogénea de una veintena de HMXBs. En este trabajo hemos presentado los resultados del análisis espectral realizado en Vela X-1, Cen X-3 y V0332+53.

Hemos obtenido unas descripciones aceptables de los datos observacionales utilizando modelos de leyes de potencias absorbidas y/o una componente de cuerpo negro absorbida. A continuación se han detectado un conjunto de líneas de emisión presentes en los dos primeros sistemas, mientras que en el segundo no se han detectado con un nivel significativo.

En **Vela X-1** aparece claramente la línea de emisión fluorescente de hierro a 6,4 keV (**Fe K $\alpha$** ) y la línea de emisión a 2,4 keV (**S XV He $\alpha$** ).

En **Cen X-3** aparecen simultáneamente líneas de emisión de elementos casi neutros, como **Fe K $\alpha$**  a 6,4 keV o **Ar K $\alpha$**  a 2,9 keV, y de elementos con alto grado de ionización, como **Fe XXVI** a 6,8 keV o **Ne X Ly $\alpha$**  a 1,1 keV. Este hecho sugiere que el material emisor bien se encuentra en un amplio rango de distancias o bien tiene una gran diversidad de densidades.

En **V0332+53** no se ha detectado ninguna línea de emisión con un nivel significativo y se ha incluido una **componente gaussiana** para describir el posible **exceso de emisión a bajas energías**.

Este trabajo se completará durante el próximo año con el resto de sistemas que tienen observaciones con Swift/XRT.

## 5. REFERENCIAS

**P. A. Evans, A. P. Beardmore, K. L. Page et al. 2009, MNRAS, 397, 1177**

N. Gehrels, G. Chincarini, P. Giommi et al. 2004, ApJ, 611, 1005

David N. Burrows, J. E. Hill, J. A. Nousek et al. 2005, SSRv, 120, 165

K. A. Arnaud 1996, in ADASS V, ed. J. H. Jacoby & J. Barnes, ASP Conf. Ser. 101, San Francisco, 17

G. Goldstein, D. P. Huenemoerder & D. Blank 2004, ApJ, 127, 2310

J. T. van Loon, L. Kaper & G. Hammerschlag-Hensberge 2001, A&A, 375, 498

C. S. R. Day & I. R. Stevens 1993, ApJ, 403, 322