

Cinco años de XMM-Newton

Xavier Barcons*

Instituto de Física de Cantabria (CSIC-Universidad de Cantabria)

Va la cosa de aniversarios: el del LAEFF Reporter y también el del observatorio de rayos X de la Agencia Europea del Espacio (ESA) XMM-Newton, que se lanzó al espacio el 10 de diciembre de 1999. El mismo año, unos meses antes, se había lanzado su homólogo Chandra de la NASA, y que junto a XMM-Newton convirtieron el fin del siglo XX y el principio del XXI en la época dorada de la Astronomía de rayos X.

**En la actualidad, los datos
procesados y calibrados
de XMM-Newton, se
entregan a los
investigadores en menos
de 30 días**

No fue el de XMM-Newton un camino de rosas después de su lanzamiento, que se realizó sin que el segmento de tierra estuviera debidamente preparado.

Por si fuera poco, la alarma lanzada por los responsables de Chandra de que protones de baja energía estaban dañando sus detectores, hizo extremar las precauciones en las operaciones científicas de XMM-Newton desde un principio. Durante el primer año, el procesado de los datos fue problemático y los investigadores los recibían con mucho retraso y no siempre con la calidad deseada. Pero todo se fue arreglando, gracias al empeño del Science Operations Centre (SOC) de XMM-Newton (a 20 metros escasos del LAEFF) y del consorcio XMM-Newton Survey Science Centre (SSC) que aglutina a 10 centros Europeos de Astronomía de rayos X que apoyan al SOC en distintas tareas.

La participación española en XMM-Newton se concreta a través del Instituto de Física de Cantabria, como miembro del SSC. Está siendo también muy provechoso el que el SOC esté situado en Villarranca (hoy European Space Astronomy Centre – ESAC). Es de esperar que esta presencia en el proyecto tenga un efecto catalizador, lento pero continuo, en la formación de nuevos astrónomos en España que ya no consideren los rayos X como algo ajeno, sino como una herramienta más de análisis astronómico.

En la actualidad, los datos procesados y calibrados de XMM-Newton se entregan a los investigadores en menos de 30 días. Un 20% de los datos están afectados por altos niveles de radiación que los invalidan para algunos estudios, particularmente de fuentes extensas o muy débiles, pero no para estudios espectroscópicos de fuentes brillantes. El archivo de XMM-Newton (<http://xmm.vilspa.esa.es/ssa>) está operativo desde 2002 y contiene todos los datos científicos obtenidos con la misión. Estos, son de dominio público transcurrido un año desde su entrega al investigador principal. Hay más de 2000 astrónomos de todo el mundo que han participado como investigadores en propuestas de XMM-Newton que han tenido éxito. No es de extrañar pues que la tasa de publicaciones alcance unos niveles altísimos, con más de 500 artículos en revistas con arbitro, acumulados en los algo más de cuatro años de operaciones científicas.

*Co-investigador del XMM-Newton Survey Science Centre, ha sido también miembro del comité de usuarios de XMM-Newton durante (2002-03)

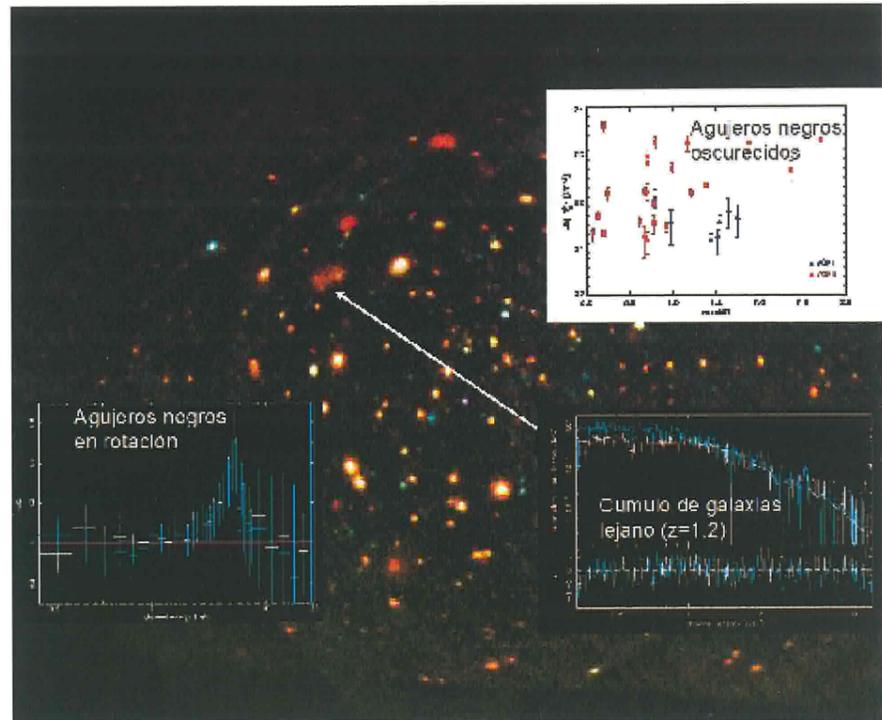


Imagen profunda obtenida por XMM-Newton en la zona del "Lockman Hole". Arriba (derecha) distribución de densidades columna de absorción para galaxias activas de tipo 1 (azul) y de tipo 2 (rojo). Abajo (izquierda) espectro promedio de 40 galaxias activas de tipo 1, donde se ve el perfil relativista de la línea del Fe. Abajo (derecha), espectro en rayos X del cúmulo de galaxias indicado, con el que se ha podido medir el redshift ($z=1.14$) y la abundancia de Fe (0.46 veces la del Sol).

Junto a *Chandra*, *XMM-Newton* ha provocado una auténtica revolución en la Astrofísica. En 2002, un 20% de los artículos en las tres principales revistas internacionales en Astronomía (*ApJ*, *MNRAS* y *A&A*) mencionaban los rayos X en el resumen. La combinación de un instrumento eminentemente diseñado para imagen (*Chandra*) y uno diseñado especialmente para espectroscopía (*XMM-Newton*) ha producido un importante impacto en prácticamente todos los campos de la Astronomía. En lugar de intentar dar una visión exhaustiva de lo que ha sido este impacto, me concentraré en unos pocos as-

pectos de este avance, particularmente en los derivados de las peculiares capacidades de *XMM-Newton*, en algunos de los cuales debo declarar de entrada un interés personal.

Espectroscopía de "alta" resolución

XMM-Newton está equipado con espectrógrafos de dispersión en longitud de onda (Reflection Grating Spectrometers – RGS), que dan una resolución entre 200 y 400 en el rango de 5 a 35 Å, lo que en la práctica implica cerca de 1000 km s^{-1} . Esta resolución es, sin embargo, 10 veces mejor que la que

La primera versión, con más de 30000 fuentes del Catálogo de fuentes, de *XMM-Newton* ya está accesible a través del archivo científico de la misión.

se obtiene con los detectores no dispersivos tipo CCD. Esta novedosa capacidad ha permitido estudiar con detalle líneas de emisión y absorción atómicas (habitualmente no resueltas), obteniendo importantes resultados acerca de la dinámica de gases templados y calientes en fuentes astronómicas.

Entre las aplicaciones más relevantes, se ha podido resolver el triplete del O VII en algunas estrellas activas, pudiéndose profundizar por tanto en las condiciones de ionización y de densidad de la corona; en cúmulos de galaxias con aparentes "cooling flows", las observaciones con RGS han mostrado la ausencia de gas enfriado por debajo de temperaturas del orden de tres millones de grados, contradiciendo las predicciones; en galaxias activas, RGS ha mostrado una plétora de líneas de absorción provocadas por el gas circundante, a menudo causadas por componentes en distinto estado físico y moviéndose a diferente velocidad; también ha sido posible detectar el medio intergaláctico asociado al Grupo Local, mediante la línea de absorción resonante de O VII a 21.6 Å.

Fuentes oscurecidas

La altísima respuesta de las cámaras CCD del instrumento EPIC en *XMM-Newton* (que obtiene espectroscopía de resolución 20-50 espacialmente resuelta) a energías cercanas a los 10 keV ha permitido el descubrimiento y estudio de fuentes de rayos X fuertemente absorbidas por gas. La absorción fotoeléctrica impide que fuentes intrínsecamente brillantes de rayos X pero rodeadas por cantidades significativas de gas (a menudo mezclado con polvo que también impide la visión directa en la banda óptica) pudieran ser vistas por misiones previas (por ejemplo *RO-*

SAT) sensibles únicamente a rayos X blandos. La capacidad de penetración de *XMM-Newton* en estos "envoltorios" ha mostrado un nuevo Universo prácticamente oculto hasta la fecha. Sirva como ejemplo uno de los primeros descubrimientos realizados con *XMM-Newton* en observaciones al-

rededor del remanente de supernova G21.5-09 en el plano de la Galaxia, donde se detectó una fuente extensa cuyo espectro en rayos X delata un cúmulo de galaxias a redshift $z=0.124$ brillando a través del plano de la Galaxia, pero del que nunca se ha visto una sola galaxia en la banda óptica. En los muestreos más profundos realizados por *XMM-Newton* fuera del plano galáctico, la mitad de las galaxias activas (que constituyen una amplísima mayoría del censo de fuentes) que se detectan, son de tipo 2, oscurecidas en el óptico y casi siempre absorbidas en rayos X. Aún así se espera que con observatorios sensibles a más altas energías, la población de galaxias activas de tipo 2 (entre las que se encuentra un número creciente de "cuásares 2" intrínsecamente muy luminosos) sea todavía más abundante.

La física cerca de un agujero negro

También gracias a la gran área efectiva en rayos X alrededor de 5-7 keV, *XMM-Newton* ha podido estudiar con detalle la línea de emisión del Fe K α . *ASCA* había mostrado previamente que esta línea de emisión fluorescente presenta un perfil marcadamente relativista en algunas galaxias activas y binarias de rayos X. El efecto Doppler causado por la rotación del disco de acrecimiento, la aberración transversal, y también el corrimiento al rojo gravitatorio son efectos que actúan sobre los rayos X emitidos por los átomos de Fe cercanos al agujero negro

central. Este hecho ha sido confirmado por *XMM-Newton* en algunas galaxias activas, a la vez que ha mostrado que la situación general es más compleja. No siempre la línea de emisión del Fe se produce en las partes más internas del disco de acrecimiento (donde los efectos relativistas dominan), sino que a menudo tiene su origen en la reflexión sobre material frío y posiblemente distante (por ejemplo en el toroide molecular que pronostica el modelo unificado de galaxias activas). Resultados recientes obtenidos con exposiciones de cielo profundo con *XMM-Newton* muestran, sin embargo, que el espectro promedio de las galaxias activas más distantes sí muestra el típico perfil relativista donde, además, hay una clara indicación de que el agujero negro está en rotación muy rápida.

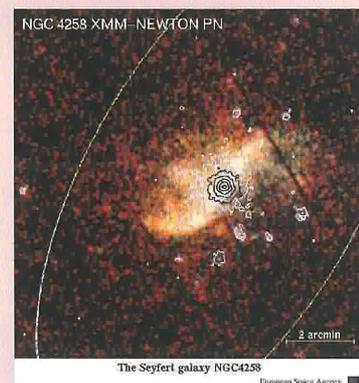
Rastreando el cielo

Otra de las características únicas de EPIC en *XMM-Newton* es su gran campo de visión (30' de diámetro). En cada observación rutinaria con las cámaras EPIC operando en modo de "ventana completa" se detectan entre 30 y 150 fuentes de rayos X, además de la que es objeto de la observación. La mayoría de estas fuentes no eran conocidas previamente, y es labor del SSC el catalogarlas e intentar identificarlas. Con tal fin, se están realizando amplios programas de identificación de fuentes descubiertas por *XMM-Newton*, tanto dentro del plano galáctico como fuera de él, y a distintos flujos. A fecha de hoy se han identificado varias muestras de centenares de fuentes mediante el uso de catálogos y de grandes cantidades de tiempo de observación en telescopios ópticos terrestres (como fue el caso del proyecto AXIS –An *XMM-Newton International Survey*– realizado en el Observatorio del Roque de Los Muchachos entre 2000 y 2002, con 85 noches de observación). El SSC también está obteniendo imágenes ópticas multibanda de una gran cantidad de zonas rastreadas por *XMM-Newton*.

Toda esta información acerca de las fuentes que descubre, se recopilará en el "Catálogo de fuentes de *XMM-Newton*", cuya primera versión con más de 30000 fuentes ya está accesible, por ejemplo, a través del archivo científico de la misión. Se espera que en 2005 se entregue la segunda versión de este catálogo, que contendrá cerca de 150000 fuentes de rayos X.

¡... y que cumplas muchos más!

XMM-Newton cuenta con una excelente salud. Tiene suficiente combustible como para continuar las operaciones durante muchos años y sus instrumentos no presentan ninguna degradación significativa no prevista. La producción científica basada en datos de *XMM-Newton* sigue aumentando año a año, y no parece que los investigadores hayan tenido mucho tiempo de explorar en el archivo todavía. ESA ha aprobado la extensión de la misión hasta 2008 por el momento, pendiente de una revisión en 2006. Sin embargo no parece que vayan a faltar motivos y oportunidades para continuar con *XMM-Newton* hasta, al menos, 2010 y quién sabe si más allá.



Una galaxia Seyfert, NGC 4258, (de las que se supone que tienen un agujero negro en el centro). Es una imagen que muestra los colores 'reales' en rayos X blandos, con el rojo indicando las zonas que emiten rayos X más blandos y el azul los más energéticos, los contornos muestran la emisión entre 2 y 10 keV.

Cortesía de W. Pietsch, MPE Garching, Germany and ESA