

SEA

Sociedad Española de Astronomía



Portada: Representación artística de las fusiones de agujeros negros binarios GW150914 (arriba) y GW151226 (abajo), fuentes de las dos ondas gravitacionales detectadas recientemente. Aunque en esta ilustración se los muestra juntos, ocurrieron en momentos y lugares distintos.

Créditos: LIGO/A. Simonnet.

Comité editorial:

Antxon Alberdi Odriozola
Nuria Huélamo
Diego Sáez
César Esteban
Marc Ribó
Íñigo Arregui Uribe-Echevarría
Fernando J. Ballesteros Roselló
Amelia Ortiz Gil

Diseño:

Fernando J. Ballesteros Roselló
Vicent Peris Baixauli

Maquetación:

Fernando J. Ballesteros Roselló

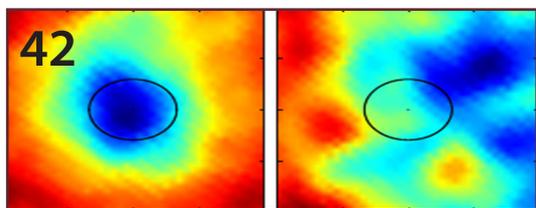
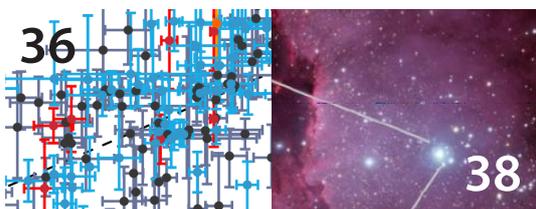
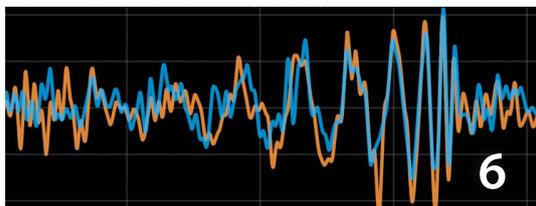
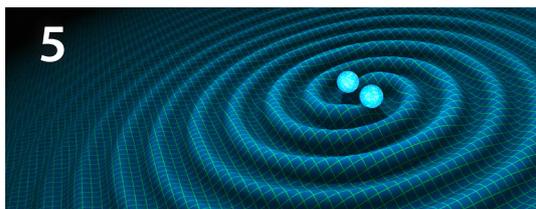
Sociedad Española de Astronomía SEA

www.sea-astronomia.es

Comisión de Información

comi-info@sea.am.ub.es

CONTENIDOS



- 5 Editorial
- 6 La primera observación de ondas gravitacionales provenientes de la fusión de agujeros negros con LIGO
- 14 Primeros diez años en ESO
- 22 Presentación oficial de la Athena Community Office
- 26 La astronomía en la Hoja de Ruta de ESFRI 2016
- 36 La Piedra de Rosetta de la astronomía extragaláctica
- 38 Estudio de propiedades de estrellas masivas con técnicas de gran resolución angular
- 40 Ecos de (la) Sociedad
- 41 Libros
- 42 Tesis doctorales

Recreación artística de ondas gravitacionales generadas por dos objetos compactos orbitándose mutuamente.
Créditos: R. Hurt/Caltech-JPL.



XII REUNIÓN CIENTÍFICA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ASTRONOMÍA

Bilbao 18-22 Julio de 2016
Bizkaia Aretoa

SOC

Francesca Figueras
Almudena Alonso Herrero
Santiago Arribas
Andrés Asensio Ramos
Carlos Hernández-Monteagudo
Agustín Sánchez-Lavega
Rainer Schödel
Eva Villaver

LOC

Agustín Sánchez-Lavega
Naiara Barrado-Izagirre
Santiago Pérez-Hoyos
José Félix Rojas
Ricardo Hueso
Arrate Antuñano
Jesus Arregi
Teresa del Río Gaztelurrutia
Itziar Garate-Lopez
Jon Legarreta
Iñaki Ordoñez
Jose Fco. Sanz-Requena

<http://www.sea-astronomia.es/SEA2016>

eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

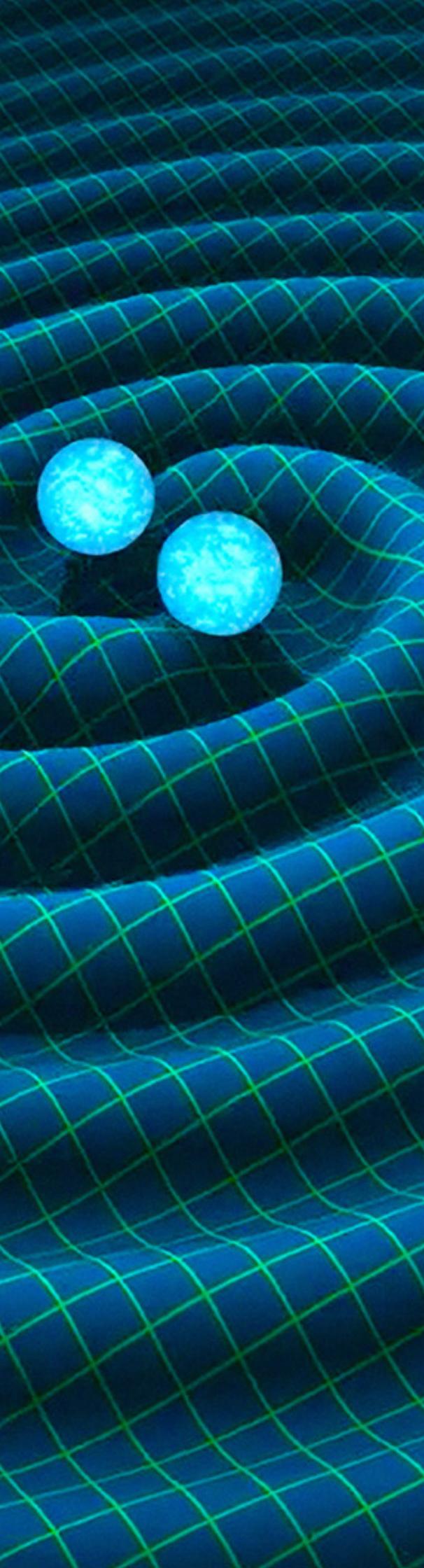
Euskal Herriko
Unibertsitatea



Rula
Espazio
Gela



Grupo de Ciencias Planetarias
Zientzia Planetarioen Taldea



EDITORIAL

Si tuviéramos que pensar en la gran noticia de la Astrofísica en los últimos 6 meses, todos estaríamos de acuerdo en que la primera detección directa de las ondas gravitacionales ha ocupado dicho lugar. En este Boletín, dos miembro del equipo de investigación –Miriam Cabero y Alicia Sintés– nos cuentan los detalles del experimento. El Boletín se está publicando cuando nos llegan noticias de una segunda detección; no hay duda de que el nuevo mensajero –las ondas gravitacionales– con diferente procedencia y detectadas a diferentes frecuencias con distintos instrumentos (LIGO, eLISA, SKA en el futuro) van a estar muy presentes en nuestro trabajo en los próximos años.

Conmemoramos en el Boletín el X Aniversario de la entrada de España en ESO, que ha supuesto una gran oportunidad de desarrollo para la Astronomía española, con algunos retos que todavía nos quedan por cubrir. A lo largo de estos años, los instrumentos de ESO han ido incorporándose como herramientas esenciales en la actividad investigadora de los astrónomos españoles. Xavier Barcons, Rafael Bachiller y Jordi Torra dan su visión sobre este decenio. Por otro lado, desde el MINECO (Inma Figueroa) nos presentan la nueva hoja de ruta de del Foro Europeo de Infraestructuras de Investigación (ESFRI), con sus implicaciones para la Astronomía a través de los nuevos proyectos seleccionados y aquellos ya consolidados que adquieren la figura de “Landmark”. Maite Ceballos presenta a la SEA la nueva “Athena Community Office (ACO)” que es la oficina que dará soporte a la comunidad científica de la misión espacial Athena, que liderará el IFAC (CSIC-UC). Finalmente, los dos galardonados con el “Premio SEA a la mejor tesis doctoral” (Ignacio Navarro y Joel Sánchez-Bermúdez) hacen un breve y atractivo resumen de su tesis doctoral.

Este Boletín estrena un nuevo “Comité Editorial”. Se incorporan Nuria Huélamo, Diego Sáez, César Esteban y Marc Ribó. Es el momento de agradecer la labor que han realizado quienes lo dejan: Belén López Martí, Benjamín Montesinos y Jaime Zamorano. Continúan como miembros Iñigo Arregui, Fernando Ballesteros y Amelia Ortiz, cuya labor es imprescindible.

Del 18 al 22 de julio, celebraremos la XII reunión científica en Bilbao. Se contará con once conferencias invitadas y alrededor de 200 contribuciones orales, tanto invitadas como seleccionadas por el Comité Científico de la Reunión, además de dos sesiones monográficas dedicadas a proyectos instrumentales tan importantes como el del James Webb Space Telescope (JWST) y el Square Kilometer Array (SKA). Será, como siempre, una excelente oportunidad para intercambiar ideas, aprender de lo que hacen nuestros colegas y generar nuevos proyectos. Allí nos vemos.

Antxon Alberdi
*Instituto de Astrofísica
de Andalucía (CSIC)*

LA PRIMERA OBSERVACIÓN DE ONDAS GRAVITACIONALES

El 11 de febrero de 2016 la colaboración científica LIGO y la colaboración Virgo anunciaron la primera detección directa de ondas gravitacionales y la primera observación de la fusión de un sistema binario de agujeros negros.

"Hemos detectado ondas gravitacionales. Lo hemos conseguido" fueron las palabras que llegaron al mundo desde una rueda de prensa en la capital estadounidense. El mismo día, el artículo científico con los detalles sobre dicho descubrimiento se publicó en la revista *Physical Review Letters*. Este descubrimiento abre un mundo de posibilidades en el campo de la astrofísica y supone el comienzo de la astronomía de ondas gravitacionales.



Miriam Cabero Müller

Instituto Max-Planck de Física Gravitacional
Miriam.Cabero@aei.mpg.de

Alicia M Sintés

Universitat de les Illes Balears
alicia.sintes@uib.es

La comunidad científica ha estado trabajando en este descubrimiento durante 100 años, ya que la teoría de la relatividad general de Einstein predijo las ondas gravitacionales y los agujeros negros en 1916. Este descubrimiento representa un enorme avance para la ciencia que ha involucrado a varias generaciones de científicos. Centenares de investigadores e ingenieros, emplazados en unos veinte países alrededor del mundo, y varias agencias nacionales de financiación, que con visión invirtieron en estos grandes proyectos a largo plazo, han visto sus esfuerzos gratificados. El anuncio de este extraordinario descubrimiento tuvo lugar apenas cinco meses después de su detección, tiempo necesario para la realización de una gran cantidad de minuciosos análisis que permitirían aportar al mundo los resultados que confirman la detección de una señal real.

GW150914: la primera detección de ondas gravitacionales con LIGO-avanzado

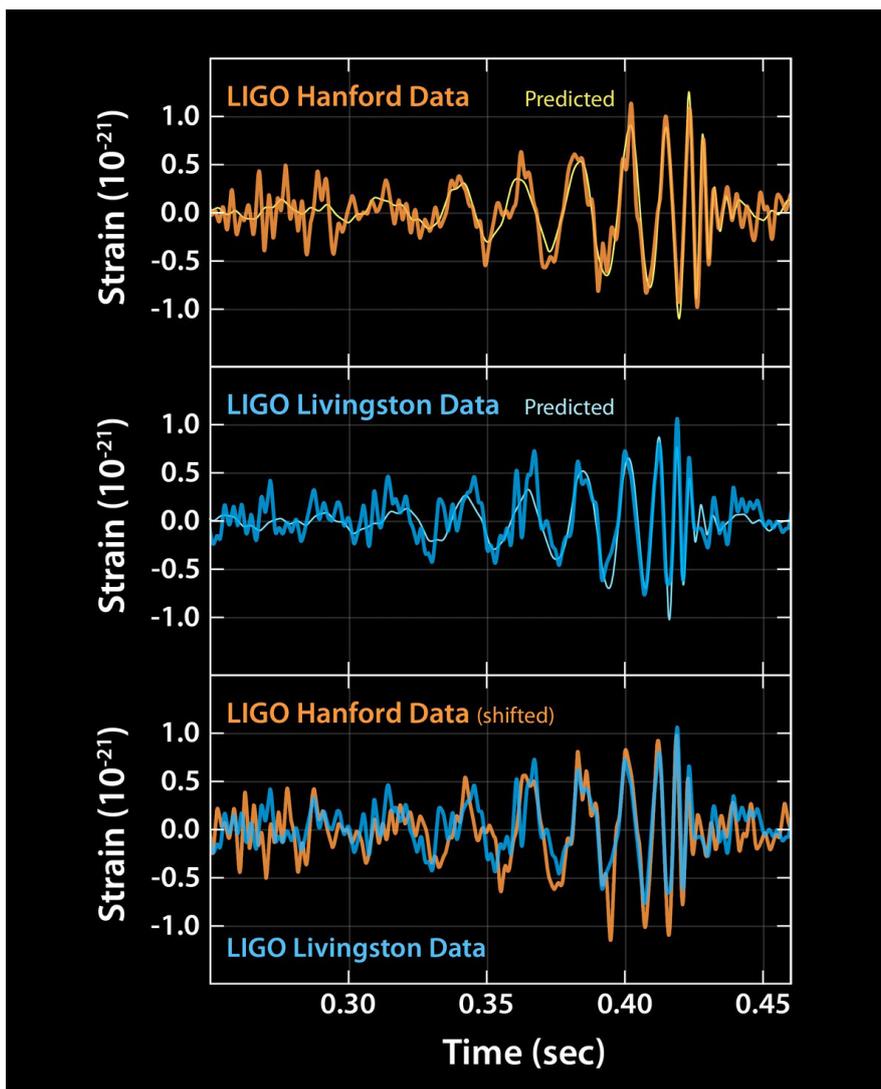
La primera detección de ondas gravitacionales, GW150914, tuvo lugar el 14 de septiembre de 2015 a las 09:50:45 UTC por los dos Observatorios de ondas Gravitacionales por Interferometría Láser (LIGO, por sus siglas en inglés). Ésta fue identificada tan sólo tres minutos después de su llegada a la Tierra por los algoritmos de baja latencia, que revelaron que la frecuencia de la señal aumentaba monótonamente de 35 Hz hasta aproximadamente 150 Hz en unas dos décimas de segundo. Estos algoritmos analizan los datos casi en tiempo real, buscando excesos de energía depositada en los detectores pero sin utilizar ningún patrón específico para la morfología, dirección o duración de la señal.

Estos métodos no proporcionan detalles precisos de las ondas, pero su extrema rapidez es de gran utilidad para la astronomía de multi-mensajeros. En un margen de pocos minutos, la detección de una posible señal puede ser comunicada a observatorios astronómicos asociados, que pueden proceder a la búsqueda de radiación electromagnética vinculada con el mismo sistema astrofísico. A día de hoy, más de 150 instrumentos, cubriendo todo el espectro electromagnético, están dispuestos a hacer seguimientos de candidatos proporcionados por LIGO-Virgo.

Análisis posteriores, utilizando tres métodos independientes de filtrado adaptado para la búsqueda de

señales provenientes de la fusión de sistemas binarios, identificaron que el evento había sido producido por la fusión de dos agujeros negros. Este minucioso análisis estableció que la tasa de falsa alarma era inferior a 1 evento por cada 203.000 años, correspondiente a una significación estadística superior a 5,1 sigmas, y que la relación señal/ruido (SNR, por sus siglas en inglés) combinada de la señal era de 24. Los parámetros de la fuente fueron reconstruidos mediante métodos de inferencia bayesiana utilizando modelos relativistas de ondas gravitacionales. Éstos determinaron que las masas de los agujeros negros

involucrados eran inicialmente de aproximadamente 36 y 29 masas solares, que el sistema se encontraba a unos 410 Mpc de distancia, correspondiente con un parámetro de corrimiento al rojo de 0,09, y que el agujero negro resultante de la fusión, con una masa de 62 masas solares, es el agujero negro estelar más masivo jamás observado. Durante el proceso de fusión, cerca de 3 masas solares fueron radiadas en forma de ondas gravitacionales en una fracción de segundo. Comparando los tiempos de llegada de la señal –el detector en Livingston registró el evento 7 milisegundos antes que el detector en Hanford–



Perfil temporal de los datos registrados por los detectores LIGO asociado a GW150914 comparados con la mejor predicción teórica a partir de la relatividad general. <https://www.ligo.caltech.edu/image/ligo20160211a>



<https://www.ligo.caltech.edu/image/ligo20160211d>

Crédito: SXS, the Simulating eXtreme Spacetimes (SXS) project (<http://www.black-holes.org>)

se pudo determinar que la fuente se encuentra en el hemisferio sur. En el futuro, cuando existan más detectores en funcionamiento con sensibilidades similares, será posible determinar la localización con mayor precisión.

Las colaboraciones LIGO y Virgo publicaron en febrero los resultados del análisis de los datos producidos entre el 12 de septiembre y el 20 de octubre de 2015, que representan los primeros 16 días de datos en coincidencia del primer período de observación de LIGO-avanzado.

En este primer conjunto de datos un segundo candidato interesante, LVT151012, apareció en los resultados del filtrado adaptado, pero con una significación estadística demasiado baja para poder ser considerado una detección. LVT151012 fue detectado el 12 de octubre de 2015, a las 09:54:43 UTC, con SNR combinado de 9,6 y probabilidad de ser una falsa alarma de 0,02. De ser una señal real, se trataría también de una binaria de agujeros negros con masas de aproximadamente 23 y 13 masas solares, a una distancia de 1,1 Gpc.

Las ondas gravitacionales y primeras evidencias

Según la teoría de la relatividad general de Albert Einstein, masas en aceleración alteran el espacio-tiempo a su alrededor provocando oscilaciones que se transmiten a la velocidad de la luz en forma de radiación gravitacional. La magnitud de las ondas gravitacionales es típicamente tan minúscula que Einstein jamás creyó que podrían ser detectadas. Sin embargo, en los años 60 se empezaron a proponer ideas para medir esta radiación gravitacional.

De naturaleza y propiedades distintas a las ondas electromagnéticas, su observación directa puede revolucionar los conceptos actuales del cosmos. En particular, los fenómenos más exóticos y violentos del universo son los que producen las ondas gravitacionales de mayor intensidad, que podrían ser suficientemente intensas para ser detectadas desde la Tierra, como por ejemplo colisiones de agujeros negros, fusiones de estrellas compactas o supernovas.

En el caso de las supernovas, la magnitud de la radiación gravitacional depende del grado de asimetría en el colapso estelar que origina la explosión. Dado que

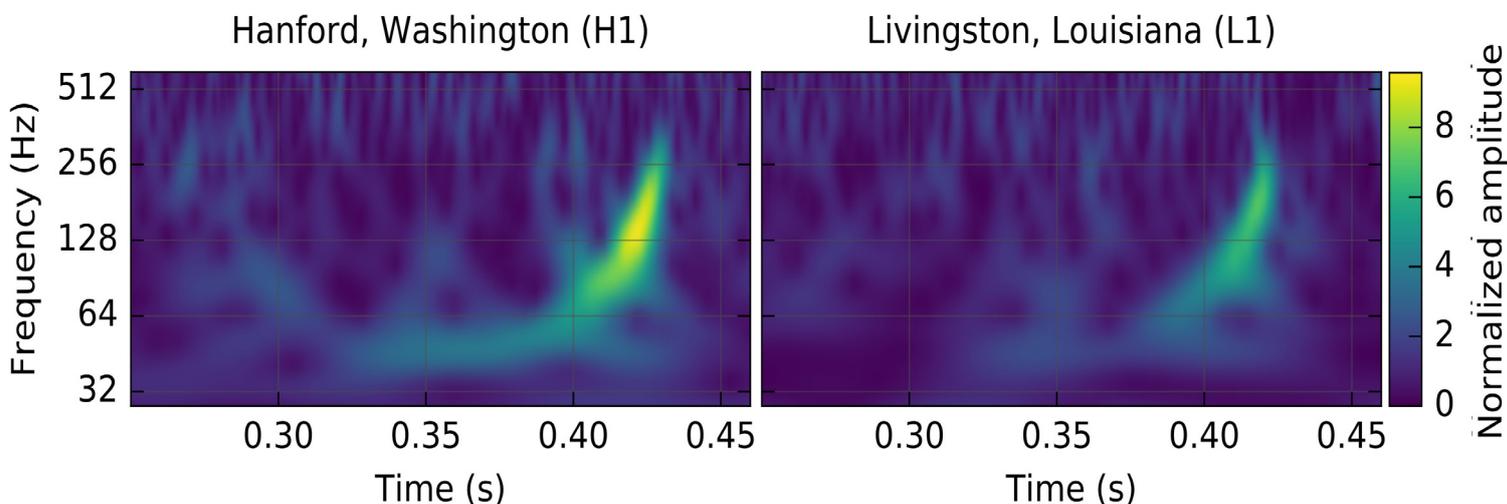
las supernovas son eventos relativamente cortos, las ondas gravitacionales que emitan serán transitorias. La magnitud de la radiación gravitacional emitida por estrellas de neutrones en rotación depende también del grado de asimetría. Cuanto mayores sean las asimetrías y cuanto más rápido esté rotando la estrella, más intensa será la radiación. Dado que la estrella de neutrones tal vez permanezca mucho tiempo en este estado asimétrico, y su momento angular (espín) varía relativamente despacio, estas ondas gravitacionales serán continuas. Binarias compactas también emiten ondas gravitacionales. La frecuencia de estas ondas aumenta gradualmente hasta alcanzar un máximo, correspondiente con el momento en el que los dos objetos se fusionan. El objeto final será un agujero negro, o temporalmente una estrella de neutrones inestable que terminará colapsando en un agujero negro. Este objeto estará inicialmente perturbado y habrá una breve emisión final de ondas gravitacionales hasta que se alcance el equilibrio.

Miles de supernovas se han observado desde la invención del telescopio, algunas de ellas incluso antes a simple vista. Desde la observación del primer púlsar en 1967 se han detectado alrededor de 2.500

púlsares. Se conocen, además, varios sistemas binarios de estrellas de neutrones. El primer sistema binario formado por dos estrellas de neutrones fue descubierto en 1974. Un detallado seguimiento de los tiempos de llegada de las pulsaciones de luz, llevado a cabo durante años, concluyó que la binaria estaba emitiendo ondas gravitacionales, provocando un decaimiento orbital que coincide extremadamente bien con la predicción de la teoría de Einstein. Sin embargo, binarias formadas por dos agujeros negros no emiten radiación electromagnética si no hay otra materia a su alrededor. Por ello, la existencia de binarias de agujeros negros ha permanecido durante mucho tiempo en el ámbito teórico. Hasta ahora. La detección de GW150914 ha sido un hito importante para la física, pero lo más importante es que es el principio de muchos y excitantes descubrimientos.

LIGO y la red internacional de detectores de ondas gravitacionales

A principios de los años 2000, varios detectores por interferometría láser se encontraban ya en funcionamiento: TAMA300 en Japón, GEO600 en Alemania, Virgo en Italia y los observatorios LIGO en Estados Unidos, ubicados uno en Livingston, Louisiana, y otro



Evolución frecuencia-temporal de GW150914 observada por los detectores de LIGO. Figura adaptada de la publicación B. P. Abbott et al., *Phys. Rev. Lett.* 116, 061102 (2016).

en Hanford, Washington. Una red de detectores es necesaria para poder distinguir señales reales del ruido instrumental o ambiental, determinar la localización de la fuente y medir las polarizaciones de la onda. Estos detectores trabajaron conjuntamente en la toma de datos desde 2002 hasta 2011. Con los datos obtenidos se pudieron estimar cuotas máximas muy interesantes sobre varias fuentes astrofísicas.

Tras la realización de importantes mejoras, en 2015 los detectores LIGO empezaron a operar como "LIGO-avanzado": los primeros de una red global de detectores de segunda generación. En la segunda mitad de 2016 se espera que comience el segundo período de observación de LIGO-avanzado conjuntamente con Virgo-avanzado, y en los siguientes años se añadirán a esta red el nuevo detector japonés KAGRA y el futuro observatorio LIGO-India, recientemente aprobado.

El principio de funcionamiento de LIGO es el de un interferómetro tipo Michelson con cavidades Fabry-Pérot en los brazos. Cuando una onda gravitacional

llega a la Tierra, las alteraciones del espacio-tiempo provocan cambios en la longitud de los brazos proporcionales a la deformación producida por la onda gravitacional. Los brazos de LIGO tienen una longitud de 4 kilómetros y están diseñados para detectar ondas gravitacionales con frecuencias entre 10 Hz y 10 kHz. Los espejos, construidos con sustratos de sílice fundido y recubiertos con un recubrimiento óptico dieléctrico, se encuentran en suspensión para permitir el libre movimiento de éstos y son las masas de prueba del interferómetro. La fuente de luz del interferómetro es un láser Nd-YAG con una longitud de onda de 1064 nm, capaz de alcanzar una potencia de 180 W. Durante el primer período de observación de LIGO-avanzado, el láser ha sido operado con una potencia de unos 22 W.

Muchas son las fuentes de ruido en los detectores de ondas gravitacionales. Las mejoras llevadas a cabo en LIGO tienen el objetivo de reducir el ruido para incrementar la sensibilidad con respecto a la primera generación. La potencia del láser, que era de unos 10 W en LIGO-inicial, se irá incrementando



Vista aérea del observatorio LIGO Hanford.
<https://www.ligo.caltech.edu/image/ligo20150731f>

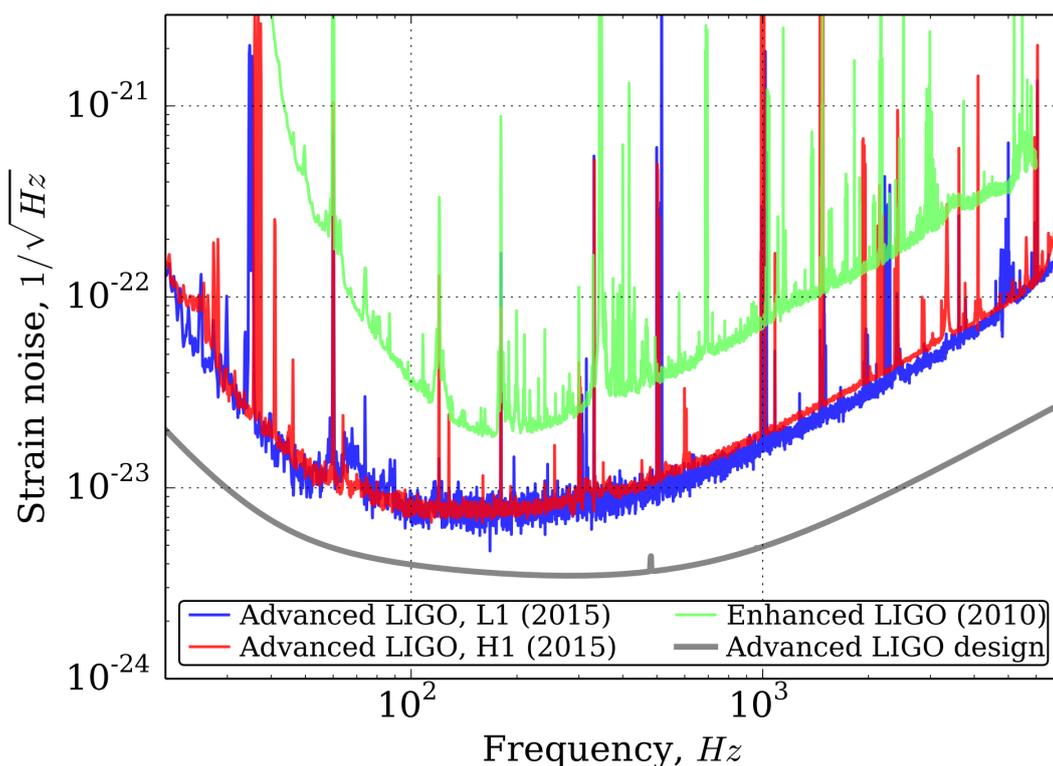
gradualmente en los diferentes períodos de observación con el objetivo de reducir el límite cuántico. Se han construido espejos más grandes (34 cm de diámetro frente a los 25 cm anteriores), para reducir las contribuciones del ruido térmico procedente de las fluctuaciones microscópicas en el interior del espejo; y más masivos (40 kg frente a los 11 kg), para reducir movimientos debidos a la presión de radiación. Se han sustituido las suspensiones de alambre de acero por fibras de sílice fundido, el mismo material del que están hechos los espejos, para reducir el ruido térmico también en las suspensiones. Además, el nuevo sistema de suspensión es un complicado péndulo múltiple que mejora la filtración de movimientos sísmicos, provocados por terremotos, vientos, olas, tráfico humano, etc. Gracias a este mejorado aislamiento sísmico, la frecuencia de corte se podrá reducir de 40 Hz en LIGO-inicial a 10 Hz en el diseño final de LIGO-avanzado.

En su primer período de observación, LIGO-avanzado ha alcanzado ya un rango medio de observación de 1,3 Gpc para binarias de agujeros negros

de 30 masas solares, y de 75 Mpc para binarias de estrellas de neutrones. Esto supone un incremento de aproximadamente 4,1 y 3,5 veces el rango de la última etapa de LIGO-inicial, respectivamente.

Lecciones aprendidas y el futuro de la astronomía de ondas gravitacionales

Por primera vez en la historia de la astronomía hemos descubierto un sistema binario formado por dos agujeros negros estelares. Y no sólo eso, sino que además hemos observado que este tipo de sistemas se fusionan en tiempos inferiores a la edad del Universo. Hasta el momento, la existencia de agujeros negros estelares estaba indirectamente apoyada por las observaciones de binarias de rayos X, de las cuales se conocen 19 en nuestra Galaxia y otras 3 extra-galácticas. GW150914 es la evidencia más robusta de la existencia de agujeros negros estelares masivos y, además, es el agujero negro más lejano que se conoce (sólo superado por LVT151012, en caso de ser real). El descubrimiento de GW150914 ha sido el resultado de muchas décadas de planificación de diseño y de experiencia adquirida con las versiones anteriores de los instrumentos, a lo



Nivel de sensibilidad de los detectores LIGO-avanzado en 2015, comparado con el de LIGO-inicial en 2010 y con el diseño que se espera conseguir para 2019.

http://www.ligo.org/science/Publication-01Noise/Images/IFO_STRAIN.png

que hay que añadir el desarrollo de sofisticados métodos para analizar datos y el modelado computacional necesario para identificar las fuentes.

El desarrollo de catálogos de patrones precisos basados en la relatividad general es imprescindible para aprender más detalles sobre las poblaciones de binarias de agujeros negros y es una de las actividades principales de nuestros grupos en el Instituto Max-Planck de física gravitacional y en la Universidad de les Illes Balears. Ambos grupos han desarrollado modelos que describen la fusión de agujeros negros de forma precisa de acuerdo con las ecuaciones de Einstein, y participan en el análisis de los datos de LIGO/Virgo en busca tanto de binarias de objetos compactos como de estrellas de neutrones en rotación. Además, nuestras fórmulas son utilizadas para generar varios cientos de miles de patrones de onda utilizados para el análisis de los datos de LIGO/Virgo.

Para calibrar estos bancos de patrones es necesaria la utilización de simulaciones numéricas, generadas en muchos casos gracias al uso de infraestructura computacional europea (PRACE) y la Red Española de Supercomputación. Además, el clúster ATLAS del Instituto Max-Planck ha sido fundamental para el análisis de los datos. Muy importante es que los modelos de ondas gravitacionales incluyan de forma precisa todos los efectos de los espines, ya que éstos aportan una información muy valiosa. En el caso de GW150914 se ha estimado que los espines de los agujeros negros iniciales eran inferiores a 0,7 y a 0,9, mientras que el espín del agujero negro resultante es 0,67. El valor del espín final es una consecuencia de la conservación del momento angular del sistema (dominado en este caso por el momento angular de la órbita), el cual es parcialmente convertido en el espín del agujero negro resultante y parcialmente radiado como ondas gravitacionales durante la fusión.



Simulación numérica de la fusión de una binaria de agujeros negros. Simulación de Sascha Husa y visualización de Rafel Jaume, ambos de la Universidad de les Illes Balears.

Poco se conoce sobre la formación de agujeros negros y, especialmente, de binarias de agujeros negros. Las masas y los espines de GW150914 pueden proporcionar más información sobre estos procesos. De acuerdo con los modelos más aceptados de formación de agujeros negros, las estrellas progenitoras debían de tener una metalicidad inferior a la metalicidad solar para poder originar agujeros negros tan masivos.

Una teoría de formación de binarias de agujeros negros sugiere que éstas se podrían originar a partir de binarias de estrellas masivas. En primer lugar se produce una transferencia de materia entre ambas estrellas y uno de los núcleos colapsa en un agujero negro. Una fase de envoltura común, en la que materia envuelve ambos objetos y reduce la distancia entre ambos, es indispensable para que la fusión se pueda producir en un tiempo inferior a la edad del Universo. Cuando el segundo objeto colapsa en un agujero negro se forma la binaria de agujeros negros y la emisión de ondas gravitacionales conduce a la fusión de ambos objetos. En este contexto se cree que los espines individuales de ambos agujeros negros estarán alineados con el momento angular orbital.

Otra teoría indica que la formación de binarias de agujeros negros podría tener lugar en cúmulos densos de estrellas. A través de la interacción gravitatoria con las estrellas, dos agujeros negros que se encuentran en un cúmulo tienden a dirigirse hacia el centro de éste. La elevada densidad del centro del cúmulo induce a la formación de la binaria de agujeros negros, la cual será posteriormente expulsada del cúmulo. En este contexto, los espines individuales de los agujeros negros podrían tener direcciones aleatorias, causando la precesión de la órbita de la binaria.

En el caso de GW150914, las masas de los agujeros negros son consistentes con ambas teorías de formación de binarias. Los parámetros que permitirían distinguir entre ambos modelos son los espines individuales de los agujeros negros. Sin embargo, este evento no permite extraer conclusiones sobre los espines individuales, tan sólo sobre lo que se conoce como el espín efectivo: una combinación de las masas y de los espines. Los resultados permiten tanto dos espines alineados pequeños como dos espines con direcciones opuestas, y no se ha podido determinar si la órbita tenía precesión. Por tanto, habrá

que esperar a que LIGO-Virgo detecten más eventos para obtener más información sobre los métodos de formación de estas binarias.

GW150914 marca sólo el inicio de una nueva era. En los próximos años, las fuentes de ruido en las instalaciones de LIGO y Virgo serán reducidas a niveles que permitirán observar de forma regular algunos de los fenómenos más energéticos del universo. Éstos nos permitirán explorar grandes cuestiones de la física, como por ejemplo cómo se forman los agujeros negros, si la relatividad general es la descripción correcta de la gravedad, o cómo se comporta la materia bajo condiciones extremas. Evidentemente éste es sólo el principio. Futuros observatorios espaciales como eLISA ampliarán esta nueva ventana del universo gravitacional.

«El descubrimiento de GW150914 ha sido el resultado de muchas décadas de planificación de diseño y de experiencia adquirida con las versiones anteriores de los instrumentos, a lo que hay que añadir el desarrollo de sofisticados métodos para analizar datos y el modelado computacional necesario para identificar las fuentes.»

PRIMEROS DIEZ AÑOS EN ESO

Durante los 10 años en que España ha sido miembro de ESO, este organismo ha experimentado una verdadera transformación, consolidando proyectos como VLT/I o ALMA y emprendiendo la construcción del E-ELT. La astronomía española se ha involucrado de lleno en esta aventura, realizando contribuciones decisivas a esta empresa común y obteniendo con ello importantes réditos de toda índole. Algunos retos que existían en 2006 se han superado satisfactoriamente, pero otros persisten en distinto grado y también han aparecido algunos nuevos.



Xavier Barcons

Instituto de Física de Cantabria (CSIC-UC)
barcons@ifca.unican.es

Rafael Bachiller

Observatorio Astronómico Nacional, IGN
r.bachiller@oan.es

Jordi Torra

Dept. d'Astronomia i Meteorologia, UB;
Institut d'Estudis Espacials de Catalunya
jorditorra@ub.edu

Hace 10 años - La entrada de España en ESO

Más para el beneficio de los jóvenes astrónomos que para hurgar en la historia de la astronomía española, hay que empezar recordando la fecha de adhesión de España a ESO (*European Southern Observatory*, también conocido como Organización Europea para la Investigación Astronómica en el Hemisferio Austral) fue el día 1 de Julio de 2006. Esa fecha y los términos del acuerdo se habían sellado en Febrero de ese mismo año en un acto celebrado en el Ministerio de Educación con la participación de la Ministra María Jesús San Segundo y la Directora General de ESO Catherine Cesarsky. Aquél acto culminaba con éxito una larga, y a veces árida, negociación que duró casi 2 años, precedida por otros 3 años de colaboración entorno al proyecto ALMA.

Los puntos más críticos de aquella negociación fueron la llamada contribución especial, o cuota que España debía satisfacer para convertirse en co-propietaria de las instalaciones ya existentes de ESO y el paquete de aportaciones en especie que España entregaría para satisfacer una parte de dicha contribución especial. El paquete de aportaciones en especie negociado contemplaba tres elementos:

- Desarrollo de herramientas de software y archivo científico para ESO – 13 FTEs.
- Acceso técnico al Gran Telescopio Canarias (GTC) – 51 días.
- Observación científica en el GTC – 122 noches.

Con algunos retrasos respecto al acuerdo firmado inicialmente, los tres elementos se entregaron con éxito. Hay que destacar aquí dos aspectos importantes. El primero es que España consiguió poner en valor su gran proyecto astronómico nacional (GTC) como moneda de cambio para facilitar la entrada en ESO, tanto en su vertiente científica como técnica. El segundo aspecto a remarcar es la flexibilidad que ESO mostró en la aplicación del acuerdo de adhesión, cuyos plazos de conclusión hubo que extender por dos veces, requiriéndose unanimidad de los demás estados miembros. Sea como fuere, este paquete que ha requerido un gran esfuerzo por parte de mucha gente, es ya parte del patrimonio de ESO.

Quizás convenga subrayar también, echando la vista 10 años atrás, la diligencia con la que, una vez tomada la decisión, se realizaron los trámites administrativos para consolidar la entrada de España en ESO. En septiembre de 2006 el Gobierno aprobó el acuerdo de adhesión y lo remitió a las Cortes Generales para su ratificación por vía de urgencia. Ese proceso, que incluyó el paso por las dos cámaras, y dentro de cada cámara por la Comisión de Asun-

tos Exteriores y por el Plenario, terminó en Diciembre de 2006. Se pudo librar entonces el pago monetario acordado con ESO y culminar todo el proceso el 14 de Febrero de 2007.

En estos 10 años, ESO ha crecido con otros tres estados miembros: la República Checa (2007), Austria (2008) y Polonia (2014). Brasil firmó con ESO un acuerdo de adhesión a finales de 2010, que fue ratificado por su Parlamento Federal en 2015. Estos retrasos y las incertidumbres asociadas, han aconsejado un desarrollo cauteloso de los nuevos proyectos de ESO, particularmente del E-ELT.

Nuevos proyectos

Estos últimos 10 años han sido verdaderamente sobresalientes en ESO. En 2006 se acababa de seleccionar la segunda generación de instrumentos para el VLT (X-SHOOTER, KMOS, MUSE y SPHERE), se había aprobado el Plan La Silla 2010, según el cual las observaciones serían en modo visitante y con cambios de instrumentación muy restringidos y estaban todavía por seleccionar los instrumentos de segunda generación para el interferómetro VLTI. Hoy en día X-SHOOTER, KMOS, MUSE y SPHERE están operativos, La Silla sigue produciendo resultados de altísimo impacto científico (particularmente gracias a

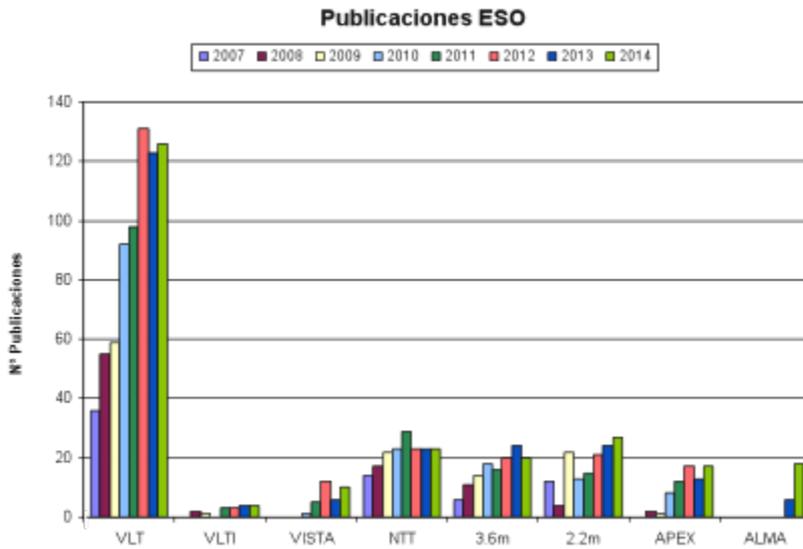
HARPS), y el primero de los instrumentos de segunda generación del VLTI (GRAVITY) ya se encuentra en fase de comisionado. El siguiente (MATISSE) se espera en breve. El telescopio UT4 del VLT se ha convertido en pionero en el uso de óptica adaptativa, y el módulo GALACSI (que utiliza 4 láseres) está a punto de ser comisionado.

El programa de instrumentación de La Silla-Paranal sigue su camino, mejorando las prestaciones del observatorio y ofreciendo nuevos modos de observación. En particular se espera en breve el primer instrumento (ESPRESSO) que convertirá el VLT en un telescopio de 16 metros de apertura colectora, juntando los 4 focos incoherentes de las cuatro unidades de 8 m. ESPRESSO es también el primer instrumento de Paranal con participación española importante. Otros que seguirán son ERIS, 4MOST y MOONS.

Pero este ambicioso plan de instrumentación no se ejecuta sin problemas, y no sería justo esconder las decepciones. Quizás la más importante haya sido la interrupción de PRIMA en 2014, una infraestructura para el VLTI en la que tanto ESO como distintos institutos europeos habían invertido muchos recursos, pero que se mostró inviable dentro de los recursos disponibles y del plazo en el que podía ser científicamente competitivo.

Las cuatro unidades del VLT en la plataforma de Paranal, tras la puesta de sol. Créditos: ESO/H.H.Heyer.





Publicaciones obtenidas con los distintos telescopios de ESO por astrónomos españoles desde el primer año de pertenencia a ESO hasta 2014.

Pero sin duda el proyecto en el que los avances han sido más espectaculares en los últimos 10 años ha sido ALMA. España había firmado un acuerdo con ESO en 2003 para participar en la construcción de ALMA, pero en 2006 no había todavía una sola antena terminada. Los problemas de construir una infraestructura de la envergadura de ALMA (con unos costes de construcción de 1200 MEUROS), y de instalar sus antenas en el Llano de Chajnantor a más de 5000 metros de altitud, gozaban de la complejidad adicional causada por el hecho de que se trata de un proyecto entre tres socios: ESO, NSF (cuyo trabajo lo ejecuta AUI/NRAO) y NINS (trabajo ejecutado por NAOJ). Gracias a mucho esfuerzo y capacidad de entendimiento, las 66 antenas de ALMA están terminadas, equipadas y entregadas, la infraestructura terminada y comisionada, y el observatorio ALMA lleva realizando observaciones astronómicas desde Septiembre de 2011. Desde entonces, y usando un número creciente de antenas, cada vez con mayores líneas de base y con más modos de observación, ALMA ha realizado ya una gran cantidad de observaciones pioneras, muchas de las cuales marcan verdaderos hitos en el conocimiento del Universo frío. La inauguración de ALMA tuvo lugar en Marzo de 2013 y se espera que ALMA termine el comisionado de todos sus modos de observación en un futuro próximo.

Justo en la reunión de Diciembre de 2006, cuando el Parlamento español estaba ratificando el acuerdo de adhesión, el Consejo de la ESO aprobó la realización

de la Fase B del E-ELT, siguiendo un diseño de referencia de un telescopio segmentado de 42 metros de apertura y 5 espejos. La fase B permitió avanzar en el diseño del telescopio y también permitió comprobar que daba lugar a costes y riesgos que excedían las expectativas. En 2011 se adoptó como referencia un telescopio de 39.3 metros de apertura, y ESO preparó una propuesta de construcción (*Blue Book*) que remitió al Consejo para su estudio. En Junio de 2012 2/3 de los estados miembros de ESO votaron a favor del programa de construcción del E-ELT, 4 de ellos pendientes de ratificación. En Diciembre de ese mismo año se confirmaron los 10 votos de 14, quedando el programa E-ELT formalmente aprobado. Sin embargo el Consejo solo autorizó gastos menores, aparte de la obra civil, en tanto no se dispusiera del 90% del presupuesto total de construcción. En meses sucesivos fueron ratificando el programa todos los estados miembros, cerrando España el proceso en Junio de 2014.

Aún así, sin la adhesión de Brasil a ESO, no se cumplía la cláusula del 90%, por lo que en 2014 se elaboró una propuesta de construcción por fases, autorizándose en Diciembre de ese año la construcción de la Fase 1 del E-ELT. En esta fase el espejo primario no se completará por el centro y los instrumentos que se financiarán al completo se limitan a la cámara IR MICADO, su módulo de óptica adaptativa MAORY, el espectrógrafo IR de campo integral HARMONI (con una importante participación española) y el instrumento de infrarrojo medio METIS. Este paso

desbloqueó el proceso de construcción y algunos de los contratos más importantes se han otorgado ya. El E-ELT va en este momento viento en popa hacia primera luz alrededor del año 2024.

Capítulo aparte merece sin duda la selección de la ubicación del E-ELT. España había propuesto, y así se contemplaba en el prólogo del acuerdo de adhesión, ubicar el E-ELT en el Observatorio del Roque de los Muchachos (ORM). En España se realizó un importante esfuerzo de puesta en valor del ORM, analizando y mostrando cuidadosamente ventajas e inconvenientes de esta ubicación frente al desierto de Atacama que, por múltiples motivos, era la ubicación por defecto. Un comité nombrado por ESO realizó un estudio comparativo de las distintas opciones,

contemplando no solo la calidad del cielo (noches de observación disponibles, vapor de agua, perfiles atmosféricos de turbulencia) sino también los costes – particularmente los costes de operación. El Gobierno de España, de acuerdo con el gobierno de Canarias, ofreció 300 MEUR en especie en apoyo a la construcción del E-ELT en Canarias. A pesar de ello, todas las delegaciones en el Consejo de la ESO, salvo España, apoyaron la elección de Cerro Armazones, aun reconociendo la superioridad del ORM en algunos aspectos. Quizás los dos aspectos que más pesaron a favor de Cerro Armazones fueron el número de noches disponibles para la observación y los menores costes de operación gracias a la existencia en Cerro Paranal (muy cercano a Cerro Armazones) de prácticamente toda la infraestructura necesaria.

Antenas del Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA). La Pequeña y Gran Nube de Magallanes, dos galaxias que acompañan a nuestra Vía Láctea, pueden observarse en el centro de la fotografía, como dos manchas en la noche estrellada. Crédito: ESO/C. Malin.



Aquellos meses fueron especialmente turbulentos en nuestra comunidad. Los medios de comunicación, el propio Parlamento y otros estamentos fueron escenario de demandas de apoyo, acusaciones de no aportarlo, opiniones técnicas de no expertos, y algunas descalificaciones. La satisfacción por el trabajo bien hecho al poner en valor el ORM se mezclaba con la frustración de mucha gente de buena fe que creyeron que aquello se podía ganar con presión política y dinero. Afortunadamente, una vez pasada la tormenta, la comunidad española siguió apoyando de forma unánime el E-ELT, ahora en Armazones. Queremos destacar en ese sentido el liderazgo de Carlos Martínez Roger, subdirector del IAC, al conseguir que se valoraran, por encima de la ubicación, las ventajas y oportunidades del proyecto.

Astronomía española en ESO

El bien más preciado de cualquier infraestructura astronómica es su tiempo de observación. Con la entrada en ESO, la comunidad española pasó a disponer de unas oportunidades de las que no disponía anteriormente, y que han ido asentando como herramientas importantes en nuestra actividad investigadora. Instrumentos que nunca habíamos usado en el foco de un telescopio óptico, o el interferómetro VLTI han abierto nuevas líneas de investigación en nuestro país.

El acceso a noches de observación en los telescopios ópticos de ESO por parte de astrónomos de centros españoles ha ido creciendo progresivamente a lo largo de los años, aunque sigue estando algo por debajo de lo esperado. En el último período P98, la fracción de propuestas enviadas a ESO lideradas por astrónomos españoles ha estado por debajo del 4% y típicamente no supera el 5%. Hay que tener en cuenta que aunque a España le correspondería nominalmente el 8% de observación del total con los telescopios de ESO, una parte de ese tiempo está asignado a Chile, a tiempo garantizado por la construcción de nuevos instrumentos y hay también una parte que la obtienen astrónomos que trabajan en ESO o en otros países de fuera de su ámbito.

La tasa de éxito de las propuestas españolas está generalmente en línea con la media de otros países europeos y en algún caso subiendo significativamente. Algo que sin duda ayuda a tener éxito en las propuestas a ESO es haber participado en su evaluación a través del comité de programas (OPC – *Observing Programmes Committee*) y de sus paneles. En este momento de los 80 astrónomos que participan en este importante ejercicio, 9 trabajan en centros españoles (incluido el presidente del OPC); a lo largo de los últimos 10 años un mínimo de 60 astrónomos es-

Composición artística mostrando todos los observatorios e instalaciones de ESO. Crédito: ESO/M. Kornmesser.



pañoles habrán pasado por esta enriquecedora experiencia, que a cambio de trabajo, muestra las claves del éxito en este entorno tan sumamente competitivo. Nuestra recomendación a todos es no rechazar las invitaciones a participar en el OPC y sus paneles.

ALMA merece también mención aparte, entre otras razones porque las propuestas las juzga otro comité internacional con participación de astrónomos procedentes de Europa, Norteamérica, Asia y Chile (el *ALMA Proposal Review Committee* –APRC), y después se reparte el tiempo disponible dentro de cada región, siguiendo estrictamente la valoración del APRC. Los países miembros de ESO son los que más propuestas aportan y en consecuencia, los que menor tasa de éxito tienen (alrededor del 10% en el mejor de los casos). En este entorno tan competitivo, los astrónomos españoles han destacado muy positivamente por su tasa de éxito. En la mayoría de los ciclos, el retorno en tiempo de observación en ALMA para España dentro de ESO ha superado las expectativas derivadas de nuestra contribución presupuestaria.

Otro indicador, quizás más importante, es el número de artículos científicos publicados por astrónomos españoles con datos obtenidos en telescopios de ESO, que ha subido desde 60 (8% del total) en 2007 hasta unos 200 (más del 20% del total) en los últimos

años¹. Una parte importante de dichos artículos los lideran astrónomos españoles (primer autor afiliado en un centro español), concretamente 20 por año en 2007 y aproximadamente 50 por año en los últimos tiempos. Eso es algo menos del 5% del total de artículos publicados con datos de ESO, un poco por debajo de la tasa nominal de retorno. Al igual que con las noches de observación, la situación es buena, pero hay espacio para la mejora.

Desarrollo de Instrumentación

Junto al retorno científico de estos 10 años, hay que poner también las oportunidades de desarrollo tecnológico. En el caso de los telescopios ópticos e infrarrojos, ESO desarrolla los nuevos instrumentos en cooperación con institutos de los estados miembros, a cambio de programas de tiempo garantizado de observación. Este esquema es beneficioso para todos, ya que los centros disponen de oportunidades de co-financiación de instrumentación puntera y al final todos los astrónomos nos beneficiamos de esas nuevas prestaciones. De momento España se ha involucrado en el desarrollo del “peine laser” para HARPS y de forma mucho más amplia en ESPRESSO, ambos espectrógrafos ultraestables para medir velocidades radiales con alta precisión. De cara al futuro habrá también una participación importante en HARMONI, un espectrógrafo de campo integral



«El bien máspreciado de cualquier infraestructura astronómica es su tiempo de observación. Con la entrada en ESO, la comunidad española pasó a disponer de unas oportunidades de las que no disponía anteriormente, y que han ido asentando como herramientas importantes en nuestra actividad investigadora.»

en el infrarrojo cercano, uno de los instrumentos de primera luz en el E-ELT, y se está trabajando muy activamente en el diseño de MOSAIC.

En el caso de ALMA, los componentes más avanzados se obtienen de forma distinta, siempre bajo contrato (ya sea de ESO o de NRAO o NAOJ) y no a cambio de tiempo de observación, ya que el concepto de tiempo garantizado no existe en ALMA. Aún así, una parte importante de esta tecnología puntera se ha desarrollado en centros de investigación e industrias tecnológicas, y así se prevé que continúe en el futuro. En el presupuesto anual de operaciones de ALMA existe una partida que se dedica exclusivamente al programa de desarrollo del observatorio y que garantiza que esta infraestructura única seguirá manteniendo su nivel puntero mientras funcione. España ha realizado aportaciones muy importantes a elementos de alta tecnología de ALMA, incluyendo componentes electrónicos de muy alta precisión de los receptores en distintas bandas.

Retornos industriales

Otro aspecto importantísimo para la sostenibilidad de la pertenencia de España a ESO son los retornos industriales. Afortunadamente España tiene un tejido industrial bien capacitado para acometer labores de construcción y mantenimiento de infraestructuras as-

trónomicas. Esta capacitación, fraguada en gran medida a través de la construcción de infraestructuras nacionales, ha sido fundamental para tener un buen nivel de retornos industriales en esta década, que en promedio se ha situado en los 3 MEUR anuales. A pesar de alguna decepción reciente (nos referimos al contrato para la construcción de la cúpula y la estructura del E-ELT, que ha pasado por distintos avatares de muy diversa índole), las expectativas para la próxima década en la que deberá terminarse la fase 1 del E-ELT siguen siendo excelentes para la industria española. Este aspecto, no lo olvidemos, fue decisivo tanto para la incorporación de España a ESO hace 10 años, como para la participación en el E-ELT. Y también conviene no olvidar que cada Euro invertido en industria de la ciencia genera una actividad económica que amplifica por un factor grande la cantidad invertida.

Balance y futuro

Hace 10 años España decidió unir su futuro científico al de la astronomía europea a través de ESO. Como hemos desgranado en los apartados anteriores, las implicaciones, todas ellas positivas, de aquel hito importantísimo en nuestra historia científica, son bien visibles. El reto más importante que teníamos hace 10 años en relación con nuestra entrada en ESO, que podría resumirse en la palabra *integración*, se ha superado satisfactoriamente, eso sí con algunos flecos. En particular:

- Los astrónomos españoles hemos aprendido a competir en tiempo de observación en el entorno ESO, pero podríamos y deberíamos enviar más propuestas de observación para estos competitivos telescopios ópticos. Lamentablemente hay un factor que limita seriamente nuestra capacidad de mejora en este capítulo: el tamaño limitado de la comunidad investigadora, fiel reflejo de la baja inversión en recursos humanos para I+D en España frente a otros países de ESO.
- La participación española en el desarrollo de instrumentación en ESO es limitada. Aquí lo que juega en nuestra contra son otras dos razones. Primera: esta es una actividad relativamente reciente en España, sólo asentada en unos pocos centros. Segunda: el sistema de financiación para el desarrollo de instrumentación científica en España reposa casi exclusivamente en los proyectos del Plan Estatal de I+D+i que no son apropiados (desde el punto de vista de gestión) ni suficientes para este menester. Desarrollar instrumentación científica en España sigue siendo una ingrata carrera de obstáculos. Conseguir allanarlos es una de las asignaturas pendientes del sistema de I+D+i español.
- Más del 6% de los funcionarios internacionales que trabajan en ESO son de nacionalidad española, algunos de ellos en posiciones muy relevantes dentro

de la organización. Nuevamente, ahí hay espacio para mejorar, sin que en este caso haya limitación estructural ninguna.

En la próxima década, ESO afronta una serie de retos muy importantes. En particular, construir el E-ELT y sus primeros instrumentos, y a la vez mantener un programa competitivo y fiable de actualización de La Silla/Paranal en cooperación con los estados miembros así como mantener ALMA plenamente competitivo y actualizado, en cooperación con los demás socios internacionales. Puede haber otras oportunidades, por ejemplo con la posible futura instalación de CTA-S en Paranal². También habrá que definir o consolidar la relación con otros grandes observatorios en tierra, como SKA, o en el espacio – en particular los de la ESA.

Estamos convencidos de que ESO afrontará con éxito estos y otros retos que todavía no han aflorado a día de hoy. Y en España, con una de las comunidades científicas más dinámicas de ESO, tenemos la posibilidad y la suerte de participar muy activamente en esta gran aventura internacional, y de hacerlo desde primera línea. Contribuiremos así a encarar tales retos, cooperando en todo tipo de tareas científico-técnicas y disfrutando con los numerosos logros y descubrimientos que (gracias, entre otros, al VLT/I, a ALMA y al E-ELT) aún están por venir.

NOTAS

¹ Todos los datos sobre publicaciones y utilización de telescopios de ESO se han obtenido a través de los informes realizados por la RIA, disponibles bajo www.riastronomia.es

² En relación con CTA España podría encontrarse en una posición única, al ser *host site* tanto de CTA-N (ORM) como de CTA-S (Paranal).

El próximo día 22 de Junio de 2016, el Instituto de Física de Cantabria (CSIC-UC), en Santander, acogerá la presentación oficial de la *Athena* Community Office (ACO), la oficina que dará soporte a la comunidad científica de la misión espacial *Athena*. En el acto institucional participarán Teresa Rodrigo (Directora del IFCA), Didier Barret (Investigador Principal del instrumento X-IFU de *Athena*), Xavier Barcons (responsable de la ACO), Mónica López (CDTI), Emilio Lora-Tamayo (Presidente del CSIC) y Ángel Pazos (Rector de la Universidad de Cantabria), que en sus intervenciones, presentarán la misión *Athena*, hablarán sobre el papel de España en las misiones espaciales de la ESA y darán a conocer los objetivos y la estructura de la ACO. Además, en el evento se inaugurará el portal web de la oficina y verá la luz la primera *Newsletter*.



Maite Ceballos

Instituto de Física de Cantabria (CSIC-UC)
ceballos@ifca.unican.es

Como ya nos comentó Xavier Barcons en el número de invierno de 2014 de nuestro Boletín, *Athena* (Advanced Telescope for High ENergy Astrophysics) es la misión observatorio de rayos X seleccionada por la ESA, dentro de su programa *Cosmic Vision 2015-2035*, para implementar el tema científico de *El Universo Caliente y Energético*. Es la segunda misión de clase L (grande) dentro de dicho programa, y su lanzamiento está previsto para 2028.

En aquel artículo, Xavier nos contaba que *Athena* dispondrá de tecnología de vanguardia tanto en su óptica (poros de Si) como en sus instrumentos, una cámara de gran campo (WFI) capaz de realizar imágenes de gran sensibilidad con baja resolución espectral, y un microcalorímetro (X-IFU), de pequeño campo de visión, pero con la resolución espectral más impresionante en rayos X hasta la fecha. Esta combinación conferirá a *Athena* "unas prestaciones verdaderamente revolucionarias", que permitirán abordar muchas de las cuestiones de la astrofísica contemporánea. Podremos estudiar cómo los bariones calientes se agrupan en grupos y cúmulos de galaxias, medir su energía mecánica, determinar su enriquecimiento químico a lo largo del tiempo cósmico y caracterizar los bariones *perdidos* que se espera residan en estructuras filamentosarias intergalácticas. También, nos ayudará a entender la física de la acreción en los objetos compactos, a buscar los agujeros negros supermasivos con acreción más tempranos, a trazar su crecimiento incluso en los entornos más oscurecidos y a comprender cómo influyen en la evolución de galaxias y cúmulos a través de procesos de retroalimentación (*feedback*). Como observatorio, *Athena* ofrecerá información vital de fenómenos de alta energía en toda clase de objetos astrofísicos, desde cuerpos del Sistema Solar hasta los objetos más distantes conocidos.

Con el objetivo de supervisar todos los aspectos científicos de la Fase de Estudio de la misión, la Agencia Europea del Espacio (ESA) designó un *Athena* Science Study Team (ASST). Entre sus cometidos principales, proporcionar una visión global de todas las áreas asociadas con el tema de "*El Universo Caliente y Energético*", revisar y actualizar los requisitos científicos, evaluar los aspectos científicos del rendimiento de la misión o actuar como foco para los intereses de la comunidad científica en su globalidad.

Para facilitar el intercambio científico entre las actividades de *Athena* y la comunidad científica (más de 800 investigadores apoyan actualmente *Athena* a través de una estructura de 5 Grupos de Trabajo organizados en 22 Paneles Temáticos) y de diseminar los objetivos científicos de la misión entre el público general, en Diciembre de 2015 el ASST estableció la *Athena* Community Office. La ACO está liderada por el Instituto de Física de Cantabria (CSIC-UC) y sus actividades están financiadas actualmente por las instituciones matrices del IFCA, el CSIC y la Universidad de Cantabria. Además cuenta con contribuciones adicionales de la Universidad de Ginebra, el MPE e IRAP.

Entre sus tareas de asistencia al ASST, destacan el apoyo para recabar el respaldo de la comunidad científica, para organizar y coordinar su participación, para producir y diseminar documentos científicos del ASST de alto nivel y para difundir las capacidades científicas de *Athena* a través de conferencias y talleres.

Una de las tareas que está apoyando la ACO es la confección de una serie de Libros Blancos que recojan

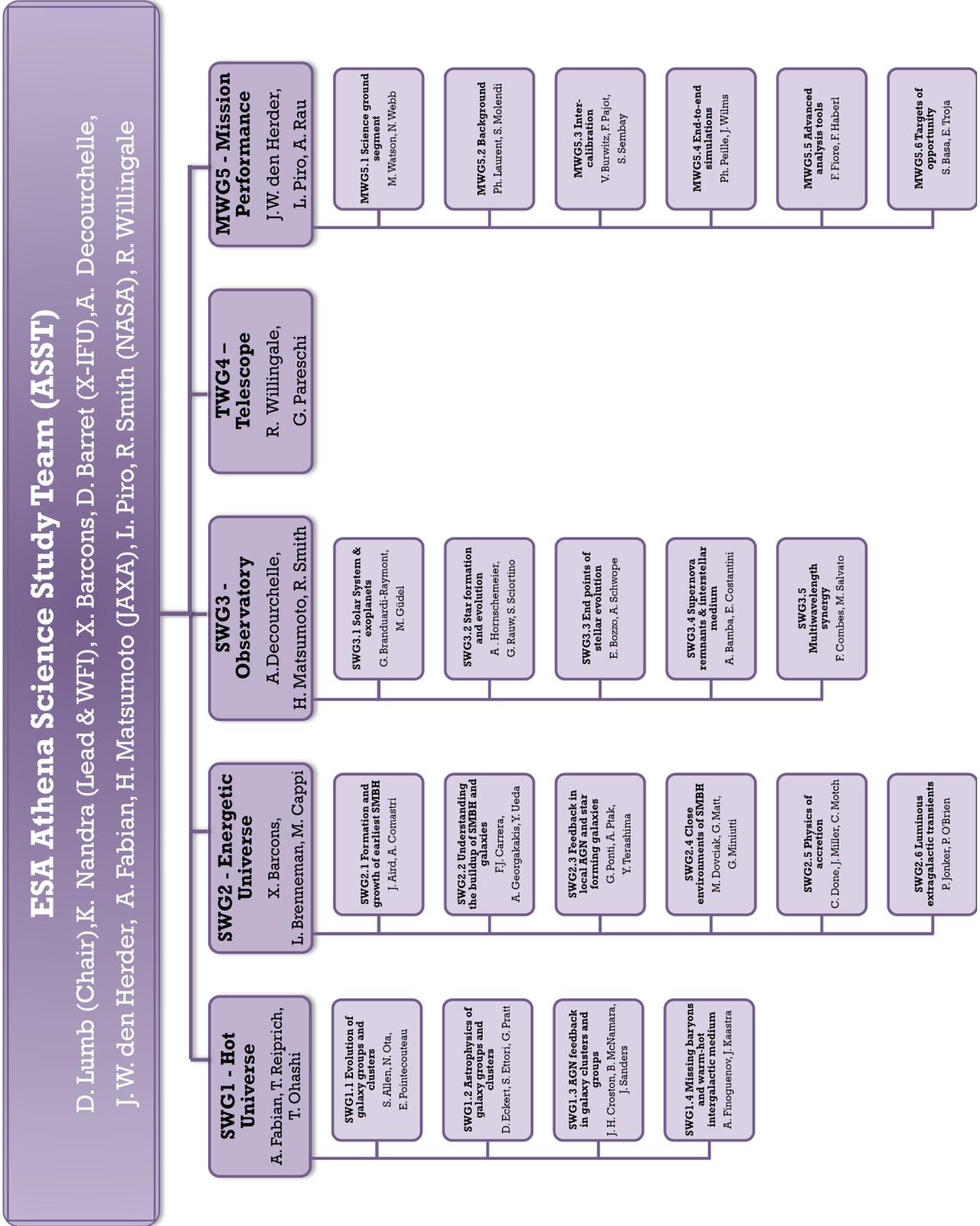
las sinergias entre *Athena* y otras grandes instalaciones astronómicas de finales de los 2020. Estas últimas se han clasificado en 5 grandes grupos:

- Óptico e infrarrojo cercano (E-ELT, VLT y otros telescopios de 8-10m).
- Banda submilimétrica y milimétrica (ALMA y otros interferómetros y antenas).
- Grandes cartografiados en el óptico e infrarrojo (Euclid, LSST, WFIRST).
- Banda centimétrica (SKA y precursores)
- Rayos gamma y multi-mensajeros (CTA, rayos cósmicos, neutrinos y ondas gravitatorias).

Las sinergias con los dos primeros tipos de instalaciones se están abordando conjuntamente con ESO. Un comité (EAST - ESO-Athena Synergy Team) coordinado por el Dr. Paolo Padovani (ESO) ha elaborado una lista de áreas con sinergias potenciales, que van a explorarse y desarrollarse en detalle a lo largo de los próximos meses. Con el apoyo de la ACO y financiación de la ESA y la ESO se ha organizado un taller para elaborar estos temas, que tendrá lugar en ESO Garching del 14 al 16 de Septiembre de 2016



Recreación artística del Advanced Telescope for High Energy Astrophysics (Athena). Crédito: NASA/ESA y Athena Team.



Organigrama de los Grupos de Trabajo y Paneles Temáticos en los que el ASST ha organizado la participación de la comunidad científica de Athena.

(<http://venus.ifca.unican.es/EASW2016>). Este proceso culminará con la elaboración de sendos *Libros Blancos* que la ACO espera entregar alrededor de Marzo de 2017.

Además de estas y otras tareas similares, la ACO será responsable de una activa labor de comunicación que realizará desde diversos frentes. La puerta al mundo será, por un lado, el portal web de apoyo a la comunidad (the-athena-x-ray-observatory.eu), diseñado y mantenido por la oficina, y por otro los canales en redes sociales (Facebook: [athena.xray.observatory](https://www.facebook.com/athena.xray.observatory), Twitter: [@Athena2028](https://twitter.com/Athena2028)) desde donde ofreceremos información especializada y materiales de divulgación dirigidos tanto a la comunidad científica como al público en general. Una recomendación: estad atentos a nuestros *Athena Nuggets* en la redes sociales: la ciencia de *Athena* condensada en pequeñas dosis.

El segundo frente será una *Newsletter* electrónica que publicaremos semestralmente y que recogerá las principales noticias relacionadas con los trabajos científicos y los avances producidos en el contexto

de la misión. Como regalo de inauguración, la primera *Newsletter* tendrá además una pequeña tirada en papel con la que obsequiaremos a los participantes del evento del próximo 22 en el IFCA.

Y finalmente, desde la ACO pretendemos ser proactivos en la promoción, organización y apoyo de actividades de difusión pública de la información relacionada con la ciencia de *Athena*, en colaboración con la ESA u otras agencias involucradas, cuando sea oportuno (y viable).

Desde el IFCA, os invitamos a pasaros por la web y a conocer esta revolucionaria misión, a imaginar lo que su instrumentación y vuestra curiosidad pueden descubrir del Universo, y en definitiva ¡a uniros a nuestra aventura! Sed bienvenidos y bienvenidas.

Esta reseña es un extracto del trabajo realizado y por realizar por todo el equipo de la Athena Community Office, que en el IFCA está formado por Xavier Barcons (responsable), Francisco Carrera, Maite Ceballos, Silvia Martínez-Núñez y Pilar Monterde.

ATHENA

Las grandes instalaciones científicas internacionales constituyen un pilar básico para el avance de la ciencia de excelencia siendo instrumentos imprescindibles para que los científicos puedan dar respuesta a las grandes cuestiones a las que se enfrenta nuestra sociedad hoy. Tienen un papel vertebrador de la ciencia europea, atraen a los tecnólogos y científicos más brillantes de las diferentes disciplinas y actúan como catalizadores para el desarrollo de nuevos conceptos y teorías. Son, además, plataformas esenciales para la formación de las futuras generaciones de científicos y tecnólogos.



Inmaculada C. Figueroa Rojas
Subdirectora General Adjunta
de Relaciones Internacionales y con Europa
Secretaria General de Ciencia,
Tecnología e Innovación
Ministerio de Economía y Competitividad
inmaculada.figueroa@mineco.es

Las grandes infraestructuras tienen un papel vertebrador de la ciencia europea y así lo reconoce el que sean consideradas por el Consejo de la Unión Europea considerándolas una de las prioridades para la construcción del Espacio Europeo de Investigación (EEI). Desempeñan, un papel cada vez más importante en el avance de la tecnología. Su construcción exige del desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas, por tanto contribuyen de forma decisiva a la mejora de la competitividad y a la proyección internacional de nuestras empresas.

Las grandes instalaciones científicas desempeñan un papel imprescindible para llevar a cabo investigación en la frontera del conocimiento de calidad e innovadora; permiten conjugar instrumentación y las tecnologías más avanzadas con un entorno intelectual y creativo del más alto nivel, y generan un importante impacto social y económico.

Las razones que originan la construcción de estas grandes infraestructuras es diverso, en ocasiones, procede de la necesidad misma de dar respuesta a un reto global: cambio climático, problemas medioambientales, temas de salud, etc. Otras veces obedece a la necesidad de una comunidad científica bien estructurada que es la que identifica la necesidad de una determinada instalación, y la que convence a los gestores de los sistemas científico-tecnológicos de los distintos países para que colaboren en su construcción.

Estas instalaciones científicas tienen una dimensión internacional, siendo el resultado de un compromiso a largo plazo de los países que deciden colaborar en las distintas fases de su desarrollo.

Foro Europeo Estratégico de Infraestructuras de Investigación (ESFRI, por sus siglas en inglés)¹

Debido a la complejidad de estas grandes infraestructuras de investigación, las elevadas inversiones que requieren y la necesidad de atraer a los mejores científicos y tecnólogos de cada especialidad para trabajar de forma coordinada con independencia de su nacionalidad, estas infraestructuras científicas solo pueden abordarse en un marco de colaboración internacional. Con este propósito fue creado ESFRI en 2002 a instancias del Consejo Europeo.

Las Infraestructuras de investigación son instrumentos estratégicos para la construcción del Espacio Único de Investigación Europeo y reforzar su proyección internacional. El acceso competitivo y abierto a las infraestructuras de investigación de referencia promueve la calidad de las actividades de los cientí-

ficos europeos, y atrae a los mejores investigadores de todo el mundo, contribuyendo decididamente a la construcción del ERA.

La misión de ESFRI es apoyar un enfoque coherente y estratégico en la formulación de políticas en materia de infraestructuras de investigación en Europa, y facilitar iniciativas multilaterales que conduzcan a un mejor uso y desarrollo de las mismas a nivel europeo e internacional.

ESFRI está formado por representantes de los países miembros y asociados de la Unión Europea, así como por representantes de la Comisión Europea que actúa como secretaria del foro. Todos ellos trabajando de manera coordinada y colaborativa para desarrollar una visión estratégica común en materia de infraestructuras de investigación en Europa. ESFRI busca hacer frente a las limitaciones debidas a la fragmentación de las políticas nacionales con el objetivo último de dotar a Europa de infraestructuras de investigación que puedan dar respuesta a las necesidades en rápida evolución de la ciencia de frontera, asegurar su sostenibilidad teniendo en cuenta que la vida media de las grandes instalaciones es de entre 25 y 30 años, así como promover el avance de las tecnologías basadas en el conocimiento.

Los retos de ESFRI son asegurar los compromisos nacionales para la aplicación de la hoja de ruta, maximizar el valor de la inversión, superar los obstáculos a la construcción y operación y garantizar el acceso abierto a los investigadores en toda Europa. Muchas de las nuevas infraestructuras de investigación europeas también se benefician de los socios internacionales o son filiales europeas de infraestructuras globales.

Desde su creación en 2002, ESFRI ha sido testigo de avances significativos. La publicación de la primera hoja de ruta data de 2006, y ha tenido actualizaciones posteriores en 2008, 2010, siendo la última de este mismo año 2016.

Hoja de Ruta 2016²

La Hoja de Ruta es el instrumento del que se dota ESFRI para gestionar la construcción de las infraestructuras europeas. La publicación de la Hoja de Ruta desde el año 2006 y sus actualizaciones periódicas, ofrece al Consejo de la Unión Europea una visión coherente y estratégica para garantizar que Europa cuenta con infraestructuras de investigación excelentes accesibles a todos los investigadores y que explotan plenamente su potencial al servicio del avance científico y la innovación.

Presentación de la hoja de ruta del ESFRI en la Real Academia Holandesa de Artes y Ciencias, donde se presentó la inclusión de EST.



European Extremely Large Telescope (E-ELT)¹²

Entidad Coordinadora: Observatorio Europeo del Sur (ESO)

Países Miembros: AT, BE, CH, CZ, DE, DK, ES, FI, FR, IT, NL, PL, PT, SE, UK

Participantes: BR

Planificación:

Entrada a la Hoja de Ruta ESFRI: 2006

Fase Preparatoria: 2006-2012

Fase de Construcción: 2014-2024

Inicio de Operación: 2024

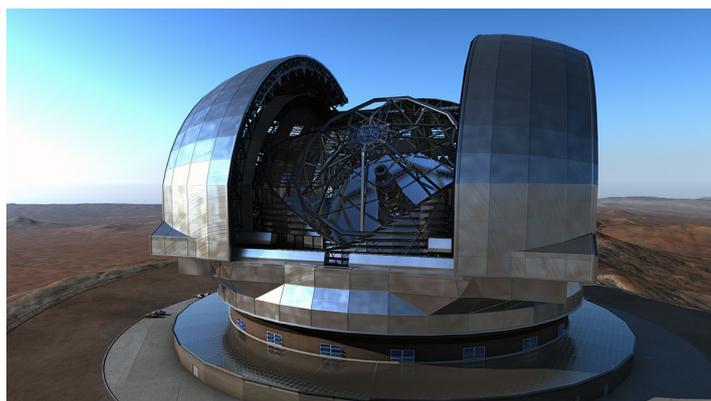
Coste Estimado:

Inversión: 1.000 M€

Operación: 40 M€/year

Sede:

ESO, Cerro Armazones, CL.



El E-ELT es un nuevo revolucionario telescopio que se está construyendo por parte de ESO y que contribuirá al avance del conocimiento en astrofísica, al permitir poder llevar a cabo estudios detallados de entre otros: los planetas alrededor de otras estrellas, los primeros objetos del Universo, los agujeros negro supermasivos, o la naturaleza y distribución de la materia y energía oscura que dominan el Universo.

El E-ELT con un espejo primario de 39 metros de diámetro, será el telescopio óptico e infrarrojo cercano más grande del mundo. Se construirá en el norte de Chile, en Cerro Armazones, una montaña de 3060 metros en la parte central del Desierto de Atacama de Chile, a unos 20 kilómetros del Cerro Paranal, donde se aloja el Very Large Telescope de ESO (VLT).

El Consejo de ESO aprobó la construcción del Telescopio a finales del año 2014, estando prevista la primera observación del E-ELT en 2024.

El espejo primario estará formado por 798 segmentos, cada uno de 1,4 metros de ancho, y sólo 50 mm de espesor. El diseño óptico requiere de un inmenso espejo secundario de cuatro metros de diámetro, casi tan grande como los espejos primarios más grandes de telescopios en operación hoy en día. Para compensar las aberraciones producidas en la imagen por la turbulencia atmosférica, se incorporan a la óptica del telescopio espejos adaptables. Uno de estos espejos reposa sobre más de 6.000 actuadores que pueden distorsionar su forma mil veces por segundo.

El telescopio tendrá varios instrumentos científicos, y será posible pasar de un instrumento a otro en minutos. El telescopio y la cúpula también serán capaces de cambiar su posición de observación en un breve espacio de tiempo.

La habilidad de observar a través de un amplio rango de longitudes de onda, desde la óptica hasta el infrarrojo mediano, permitirá a los científicos aprovechar el tamaño del telescopio en toda su extensión.

El E-ELT es un importante reto tecnológico con un inestimable interés industrial, empleará tecnologías avanzadas y soluciones de ingeniería en una serie de áreas, estructuras ligeras de alta precisión, sistemas opto-mecánicos, óptica y diseño de sistemas de control, entre otros. Muchas de estas tecnologías será aplicable a otras áreas de desarrollo tecnológico. El E-ELT contribuirá a los retos sociales, la astronomía es una ciencia básica y su principal objetivo es mejorar nuestra comprensión del Universo, su evolución y el papel del planeta Tierra como nuestro hogar cósmico.



Composición artística de una vista aérea del EELT

En el desarrollo de La Hoja de ruta de 2016 y en respuesta al mandato recibido del Consejo de ser más selectivos en la selección de nuevos proyectos, ESFRI ha desarrollado nuevos métodos de evaluación, de esta forma la Hoja de Ruta ESFRI 2016 adopta un enfoque más estratégico.

Los proyectos han sido seleccionados por su excelencia científica, su importancia estratégica dentro del conjunto de las infraestructuras de investigación europeas y por la madurez de las propuestas, de manera que se garantice que su construcción y operación tenga lugar en un tiempo razonable, previsiblemente inferior a 10 años. La nueva Hoja de Ruta, fruto del trabajo de una comunidad científica europea muy dinámica y del compromiso de los Estados miembros para desarrollar nuevas infraestructuras de investigación europeas, cuenta además de con 15 proyectos procedentes de la Hoja de Ruta de 2010 que todavía se encuentran en proceso de implementación con 6 nuevas incorporaciones que vienen a cubrir vacíos importantes en el entorno europeo de las infraestructuras científicas. En su conjunto estos 21 proyectos, refuerzan aún más la capacidad de la ciencia europea para responder a los numerosos desafíos a los que se enfrenta nuestra sociedad.

España y ESFRI³

La Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación reconoce el papel esencial de las grandes infraestructuras de investigación tanto para la investigación de frontera como para acelerar el desarrollo tecnológico y la innovación, e introduce como uno de los criterios fundamentales que han de guiar el proceso de priorización de la participación española, la viabilidad económico-financiera de los compromisos asociados. Igualmente, recoge la necesidad de impulsar la coordinación y la búsqueda de sinergias y complementariedades entre las infraestructuras ESFRI de investigación paneuropeas apoyadas por España y las infraestructuras nacionales recogidas en el Mapa de Infraestructuras Científico-Técnicas Singulares (ICTs)⁴.

La participación de España en las infraestructuras europeas de la Hoja de ruta ESFRI es muy importante, de hecho las últimas cifras muestran que somos los segundos participantes junto con Reino Unido, solo por debajo de Francia, y ligeramente por encima de Alemania e Italia. Gracias a esto se ha facilitado el acceso creciente de los investigadores españoles a estas grandes instalaciones europeas, algo que sin duda también está relacionado con el importante avance que en los últimos años

Square Kilometre Array (SKA)¹³

Será el radiotelescopio más grande en la Tierra para explorar el Universo y el origen de la vida.

País Coordinador: UK

Países Miembros: AU, CN, IN, IT, NL, NZ, UK, ZA

Participantes/Entidades: CA, ES, FR, MT, PT, SE, US, (ESO)

Planificación:

Entrada a la Hoja de Ruta ESFRI: 2006

Fase Preparatoria: 2008-2017

Fase de Construcción: 2018-2023

Inicio de Operación: 2020

Estado Legal: SKAO, 2011

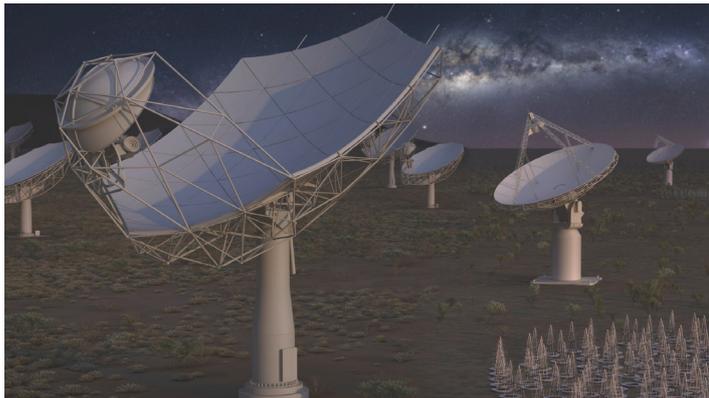
Coste Estimado:

Inversión: 650 M€

Operación: 75 M€/year

Sede:

Jodrell Bank Observatory,
Lower Withington, United Kingdom.



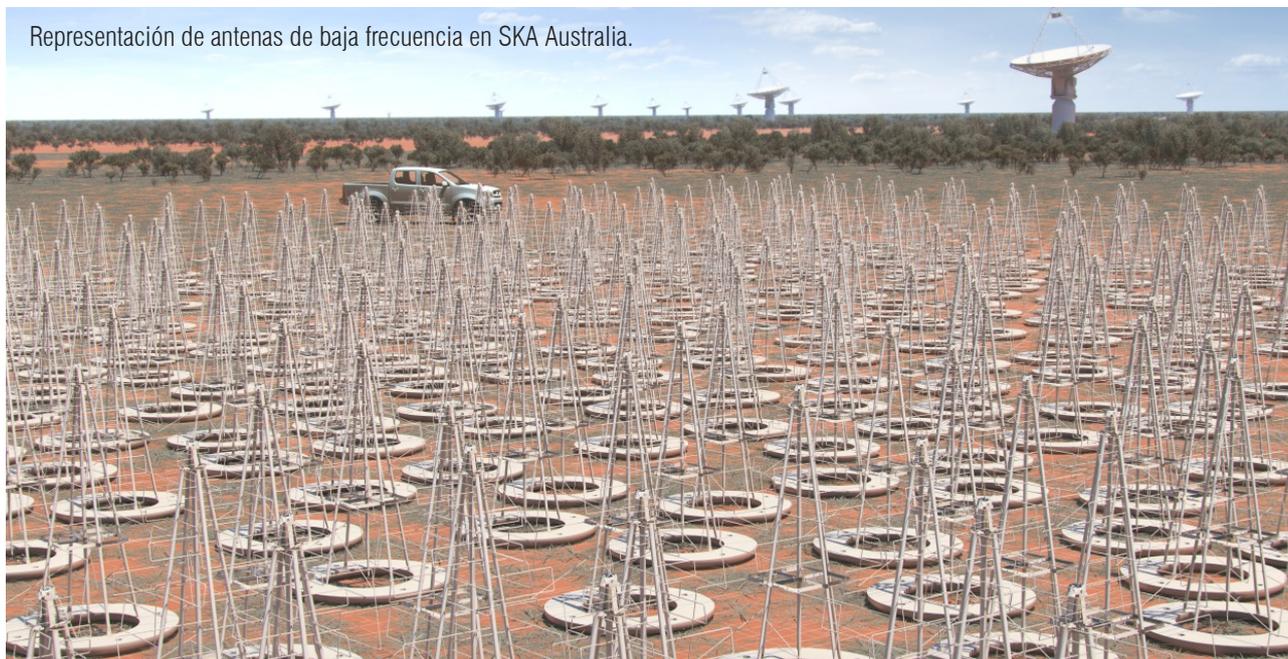
El Interferómetro del Kilómetro Cuadrado (Square Kilometre Array, SKA por sus siglas en inglés) es un proyecto global, cuenta con socios de los 5 continentes, y será el radiotelescopio más grande en la Tierra con un área colectora de más de un millón de metros cuadrados. Desde el punto de vista científico dado su diseño como observatorio de propósito general, y con una sensibilidad sin precedentes tiene el potencial de revolucionar todos los campos de la astrofísica. También será una herramienta relevante en otros campos de la física y en astrobiología. Debido a su amplio rango de aplicaciones, SKA está llamado a situarse en la vanguardia de la investigación científica durante muchas décadas. Sus temas de estudio abarcan desde la utilización de pulsares y agujeros negros para detectar ondas gravitacionales hasta la investigación de los mecanismos de la formación de las estrellas y de las primeras galaxias tras el Big Bang.

Desde el punto de vista técnico, el interferómetro constará de un gran número de antenas de diferentes tipos, según las diferentes bandas de frecuencias entre 50 MHz y 25 GHz: para las frecuencias intermedias, y las más altas, se utilizarán varios miles de reflectores parabólicos, mientras que para las frecuencias intermedias y más bajas se utilizará un número mucho mayor de antenas de tipo 'Aperture Arrays'. Tales antenas estarán distribuidas en dos continentes, África y Australia. En cada uno de estos sitios, las antenas se organizarán en un núcleo central, con grupos remotos de antenas situadas a distancias que llegarán hasta los 3.000 km desde el núcleo y conectadas al procesador central de datos a través de una red de fibra óptica. Esto permitirá disponer de un área colectora de 1 Km², una sensibilidad al menos 50 veces superior a la de los mejores radiointerferómetros actuales y una velocidad de barrido del cielo 10.000 veces superior a la que puede alcanzarse actualmente con los instrumentos existentes.

El software necesario para el análisis de datos supondrá un salto generacional en la vanguardia de la era emergente del Big Data. Se espera que SKA se convierta en el proyecto de investigación de datos de carácter público mayor del mundo, produciendo en su primera fase metadatos que suponen más de cinco veces el tráfico global de internet estimado para 2015.

La Organización SKA (SKAO) con sede en el Manchester, Reino Unido, coordina el proyecto. El telescopio se construirá en dos fases, la fase inicial se llevará a cabo desde 2018 hasta 2023, con primera ciencia prevista para principios de 2020, mientras que la fase final está prevista para 2030. En la primera fase, SKA contará aproximadamente con 200 antenas de disco de alta frecuencia y 130.000 antenas de baja frecuencia que permitirán a los astrónomos vigilar el cielo con un detalle sin precedentes, y permitirá inspeccionar todo el cielo mucho más rápido que cualquier otro sistema actualmente operativo.

Representación de antenas de baja frecuencia en SKA Australia.



ha tenido la ciencia producida en España, con un aumento de la producción y la calidad, y una mayor participación en redes internacionales. Además, se constata que fruto de dicha participación se ha permitido desplegar el enorme potencial de lo que hemos denominado “industria de la ciencia”: un conjunto de proveedores especializados que son esenciales para la construcción, equipamiento y operación de las infraestructuras científicas.

España ha hecho grandes esfuerzos para favorecer la internacionalización de su investigación fomentando la movilidad y la formación de sus investigadores y tecnólogos en centros de investigación y organismos internacionales en el extranjero, coordinando las directrices y las actividades de sus programas de investigación con los de los otros países europeos, especialmente con los programas marco de investigación de la UE, e incrementando su participación en los diversos organismos e instalaciones internacionales.

La Hoja de Ruta ESFRI ofrece oportunidades a la ciencia y la tecnología españolas para atraer infraestructuras de carácter internacional a nuestro país, y fomentar la cooperación internacional. Por ello, España debe planificar su participación en estas infraestructuras teniendo en cuenta las fortalezas y debilidades de su sistema científico-tecnológico y de la disponibilidad de recursos

ESFRI: áreas científicas, Astronomía y Física de Astro-partículas

Las infraestructuras ESFRI están organizadas dentro de la Hoja de Ruta en 6 áreas temáticas diferentes: (1) ciencias de la salud y alimentación, (2) ciencias medioambientales, (3) energía, (4) Física e ingeniería, (5) ciencias sociales y humanidades, (6) e-infraestructuras.

Organizativamente ESFRI cuenta con un grupo estratégico por cada área temática, que se encargan del seguimiento y soporte de las infraestructuras incluidas en su área de conocimiento. Los grupos están presididos por alguno de los delegados del Foro ESFRI expertos en la materia que son elegidos por el Foro, siendo el resto de los miembros de cada grupo expertos propuestos por los Estados miembros y asociados elegidos también en razón a su conocimiento y experiencia en la materia. Dichos grupos son los responsables de la valoración de las nuevas propuestas presentadas para su inclusión en las diferentes revisiones de la Hoja de Ruta en los aspectos científico técnicos, difunden y comparten las mejores prácticas entre las infraestructuras y fomentan sus aspectos multidisciplinarios.

La astronomía en concreto, se encuadra dentro del área de las ciencias físicas e ingeniería, junto con las grandes infraestructuras de física como los grandes

Cherenkov Telescope Array for High-Energy Gamma-Ray Astronomy to probe a non-thermal Universe, (CTA)¹⁴

Se trata de una infraestructura distribuida.

País Coordinador: DE

Países Participantes: AM, AR, AT, AU, BG, BR, CA, CH, CL, CZ, DE, EL, ES, FI, FR, HR, IE, IN, IT, JP, MX, NA, NL, NO, PL, SE, SI, TH, UA, UK, US, ZA

Planificación:

Entrada a la Hoja de Ruta ESFRI: 2008

Fase Preparatoria: 2011-2016

Fase de Construcción: 2017-2023

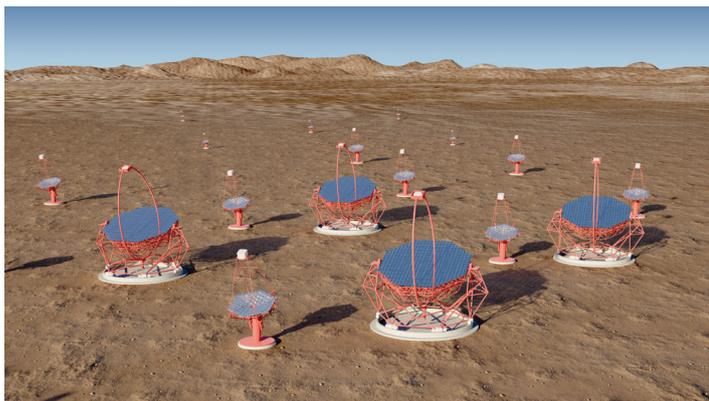
Inicio de Operación: 2019

Estado Legal: CTAO gGmbH, 2014

Coste Estimado:

Inversión: 400 M€

Operación: 8 M€/year



El Cherenkov Telescope Array (CTA) será un gran observatorio de rayos gamma de muy alta energía. CTA proporcionará la primera visión completa y detallada del universo en esta parte del espectro de radiación y contribuirá a una mejor comprensión de los procesos astrofísicos y cosmológicos, como el origen de los rayos cósmicos y su papel en el Universo, la naturaleza y variedad de aceleración de partículas alrededor de los agujeros negros y la composición última de la materia y la física más allá del Modelo Estándar.

La infraestructura de CTA contará con 2 observatorios que se construirán en los dos hemisferios. El del hemisferio sur en Chile (ESO, Cerro Armazones) formado por 100 telescopios de tres tamaños diferentes sobre una superficie de alrededor de 10 km², será más sensible a las altas energías, hasta por encima de los 100 TeV, con muy alta resolución para cubrir el plano de la Vía Láctea. El del hemisferio Norte que contará con unos 20 telescopios situados en un área de 1 km², tendrá una mayor sensibilidad a las bajas energías (desde unos cuantos GeV hasta decenas de TeV) y se centrará en la observación de los objetos extragalácticos y cosmológicos.

El diseño prevé una mejora de la sensibilidad en un factor 5 -10 respecto a los observatorios existentes en la actualidad.

Los telescopios de CTA tendrán tres tamaños distintos. Los mayores serán los LST (Large Size Telescope), cuatro por hemisferio, contarán con espejos de 23 m de diámetro y FoV 4,5°, 20-200GeV. Los siguientes en tamaño los MST (Medium Size Telescopes) se situarán 15 en el hemisferio Norte y 25 en el Sur, tendrán un diámetro de 12m y FoV 7°, 200GeV-10TeV, y por último los SST (Small Size Telescopes), en su totalidad (70) se localizarán en el hemisferio Sur, tendrán 4m de diámetro y FoV 9,1-9,6°, 1TeV-300TeV.

CTA fue incluido en la Hoja de Ruta de ESFRI en 2008, está reconocido como uno de los "Siete Magníficos" de la estrategia europea de física de astropartículas publicada por ASPERA, y cuenta con una muy alta calificación dentro del plan estratégico para la astronomía europea de ASTRONET.

Después de su fase preparatoria, CTA se encuentra en su fase de preconstrucción y se espera que inicie su construcción este mismo año 2016.

aceleradores, los sincrotrones, las infraestructuras láser, y las grandes infraestructuras de neutrones. En el nuevo período que ahora iniciamos y en el que se llevará a cabo la revisión de la Hoja de Ruta en 2018, el presidente de este grupo será español, el Dr. José Luis Martínez Peña, miembro de la delegación española y con un amplio conocimiento y experiencia en la gestión de estas grandes infraestructuras.

ESFRI reconoce que la investigación en Europa es líder mundial en el Área de la Astronomía y la física de Astropartículas, estando los objetivos estratégicos son definidos por el CERN⁵, ESO⁶ y ESA⁷, apoyados por proyectos como ASTRONET⁸ y ASPERA⁹, en el campo de la astronomía y el consorcio APPEC¹⁰ surgido desde ASPERA, para la investigación de la física de astropartículas. Y en este sentido estas infraestructuras tienen una presencia destacada en la Hoja de Ruta.

La Hoja de Ruta 2016 incluye cinco infraestructuras destinadas a la Astronomía, dos de ellas se consideran ya implementadas (landmarks) en el sentido de que tienen estructura legal, cuentan con el compromiso de sus socios para su financiación y están listas para llevar adelante su construcción, en concreto el European Extremely Large Telescope (E-ELT) y el Square Kilometre Array (SKA), y otras tres aparecen incluidos en la Hoja de ruta activa, la de los proyectos que están en el proceso de implementarse, a saber, el Cherenkov Telescope Array (CTA) procedente de la Hoja de Ruta 2008, y otros dos de entre las seis

nuevas inclusiones a la Hoja de ruta, el European Solar Telescope. (EST) y el KM3 Neutrino Telescopio 2.0 (KM3NeT2.0). Cabe destacar que el primero de los dos el EST fue presentado para su inclusión en la Hoja de Ruta por España, siendo el Instituto de Astrofísica de Canarias su coordinador. Es un proyecto maduro, con un recorrido importante en su concepción y diseño, y cuenta con una fuerte y consolidada comunidad científica internacional que lo apoya. Por su parte, el KM3NeT2.0 es un proyecto que proviene de la Hoja de Ruta de 2006 y que por diferentes circunstancias no ha podido ser implementado en el plazo establecido de 10 años. Con el soporte de Francia, Italia y Holanda ha vuelto a ser presentado a ESFRI para su inclusión en la Hoja de Ruta 2016. Como cualquier otro de los nuevos proyectos se ha sometido al proceso de evaluación y lo ha pasado con éxito siendo por tanto uno de las seis nuevas incorporaciones.

El Foro ESFRI en su reunión del pasado 3 de junio en Ginebra se ha renovado, cuenta con un nuevo Presidente, el Italiano, Dr. Giorgio Rossi, un nuevo Comité Ejecutivo, y una nueva composición de sus grupos de trabajo, y se prepara ya para poner en marcha el proceso que culminará con la nueva Hoja de Ruta en 2018. El evento de lanzamiento internacional del nuevo ejercicio está previsto coincida con la Conferencia Internacional de Infraestructuras de Investigación que tendrá lugar el próximo mes de octubre en Sudáfrica (ICRI 2016¹¹) y desde España trabajamos para que el evento de lanzamiento en Europa pueda tener lugar en nuestro territorio en enero de 2017.

NOTAS

¹ www.esfri.eu; http://ec.europa.eu/research/infrastructures/index_en.cfm?pg=esfri

² <http://www.esfri.eu/roadmap-2016>

³ <http://www.eshorizonte2020.es/ciencia-excelente/infraestructuras-de-investigacion>

⁴ http://www.idi.mineco.gob.es/stfls/MICINN/Innovacion/FICHEROS/ICTS_esp.pdf

⁵ <http://home.cern>

⁶ <http://www.esa.int>

⁷ <http://www.eso.org>

⁸ <http://www.astronet-eu.org>

⁹ <http://www.aspera-eu.org>

¹⁰ <http://www.appec.org>

¹¹ <http://www.esfri.eu/conferences/icri-2016>

¹² <https://www.eso.org/sci/facilities/eelt>

¹³ <https://www.skatelescope.org>

¹⁴ <https://portal.cta-observatory.org/Pages/Home.aspx>

¹⁵ <http://www.est-east.eu/est/index.php>

¹⁶ www.km3net.org

European Solar Telescope (EST)¹⁵

Telescopio avanzado para la observación del Sol y su actividad magnética.

País Coordinador: ES

Países Participantes: ES, SE, UK, AT, CH, CZ, DE, FR, HR, HU, IT, NL, NO, PL, SK

Planificación:

Entrada a la Hoja de Ruta ESFRI: 2016

Fase Preparatoria: 2016-2019

Fase de Construcción: 2019-2025

Inicio de Operación: 2026

Coste Estimado:

Fase preparatoria: 10 M€

Construcción: 200 M€

Operación: 9 M€/year



El Telescopio Solar Europeo (EST) es un telescopio de clase 4 metros dedicado a estudiar los procesos fundamentales en el Sol que controlan la atmósfera solar y su actividad y las condiciones físicas de la heliosfera. El EST estará optimizado para observaciones de alta resolución de la fotosfera y la cromosfera, así como sus estructuras magnéticas en múltiples longitudes de onda y usará para sus observaciones varios instrumentos simultáneamente que producirán información espectral 2D.

Uno de los objetivos del EST es dar respuesta a la aparición de los campos magnéticos en la superficie solar y la transferencia de energía magnética y cinética de las capas del subsuelo de la atmósfera solar. Esta es la pregunta clave para entender cómo el campo magnético controla la atmósfera solar y su actividad.

Es importante destacar, que el conocimiento de la interacción de los plasmas con los campos magnéticos ofrece muchas posibilidades de aplicaciones tecnológicas, como por ejemplo en los reactores nucleares de fusión. Las misiones espaciales son también tributaria de los datos de los telescopios solares de tierra.

La comunidad de astronomía solar bien organizada a través de SolarNet y ASTRONET ha estado involucrada en el desarrollo del proyecto desde su concepción inicial.

El EST prestará sus servicios a la comunidad científica junto con los otros proyectos clave en la investigación de la física solar, en particular: el programa de la ESA Solar Orbiter (lanzamiento en 2018), y el telescopio estadounidense Daniel K. Inouye Solar Telescope (DKIST) que se encuentra actualmente en construcción en Hawái.

El EST se construirá en las Islas Canarias, donde los telescopios actuales ya están situados, esto les dará continuidad y aumentará la importancia de los parques científicos existentes en la actualidad en las islas.

KM3 Neutrino Telescopio 2.0 (KMeNeT 2.0)¹⁶

Telescopio para la investigación de Astropartículas y Oscilaciones con Rayos Cósmicos en el Fondo Marino.

País Coordinador: NL

Países Participantes: EL, FR, IT, NL

Participación institucional: CY, DE, ES, IE, PL, RO, UK

Planificación:

Entrada a la Hoja de Ruta ESFRI: 2006 y 2016

Fase Preparatoria: 2008-2016

Fase de Construcción: 2016-2020

Inicio de Operación: 2020

Coste Estimado:

Inversión: 137 M€

Operación: 3 M€/year



Se trata de una infraestructura de investigación submarina, que se ubicará en el fondo del mar Mediterráneo, y albergará en su seno un telescopio de neutrinos distribuido en dos sedes: Toulon (Francia) y Capo Passero (Italia). Permitirá detectar neutrinos cósmicos procedentes de fuentes astronómicas al tiempo que será un poderosísimo instrumento para la búsqueda de materia oscura en el Universo. KM3NeT constituirá también una plataforma marina donde podrán ubicarse instrumentos para realizar estudios y medidas continuas y a largo plazo del medio ambiente marino para oceanografía, climatología, geofísica y biología marina. El proyecto será, por tanto, la combinación de un telescopio de neutrinos cósmicos para explorar los fenómenos más violentos del Universo, y un observatorio submarino multidisciplinar de ciencias marinas y de la Tierra. Los datos se procesarán y almacenarán en tres centros de cálculo: CCIN2P3-Lyon (CNRS), CNAF (INFN) y la infraestructura de ReCaS.

La parte de neutrinos de alta energía de KM3NeT 2.0 (ARCA) detectará el flujo de neutrinos detectado por IceCube y proporcionará datos esenciales relativos su origen, espectro de energía y composición. Debido a su ubicación en el hemisferio norte, la información ARCA será complementario a las medidas IceCube.

El experimento ANTARES, que es un precursor de KM3NeT, ha demostrado que la instrumentación de los telescopios de neutrinos tiene la capacidad de estudiar las oscilaciones de neutrinos. Por lo tanto, el segundo objetivo principal de KM3NeT 2.0 (ORCA) es examinar las propiedades de los neutrinos y determinar la jerarquía de la masa del neutrino. El detector de ORCA, además, tendrá sensibilidad para medir la materia oscura de baja masa y posiblemente también la composición del interior de la Tierra a través de la tomografía de neutrinos.

KM3NeT 2.0 será por tanto una infraestructura multidisciplinar, cubriendo campos como la astrofísica (estudio de las fuentes de rayos cósmicos, y astronomía de neutrinos de alta energía), la física de partículas (con el estudio de las oscilaciones de neutrinos y la búsqueda de partículas exóticas), y la cosmología (el análisis de la materia oscura), pero también tiene fuertes conexiones con las ciencias de la tierra y del mar, permitirá medir los parámetros de aguas profundas con sensores cableados e incorporará nuevas herramientas para oceanógrafos y biólogos marinos.

KM3NeT fue incluida por primera vez en la hoja de ruta de ESFRI en 2006. La primera fase del proyecto ha dado lugar a la ingeniería del detector modular y la construcción de los prototipos finales. Con la nueva presentación al Roadmap en 2016 se redefine el proyecto y se incorporan los progresos científicos y tecnológicos que se han llevado a cabo en los últimos años. La infraestructura está ahora mismo ya en construcción y en la actualidad se están desplegando el primer conjunto de nuevos detectores.

LA PIEDRA DE ROSETTA

El estudio de la energía electromagnética emitida por las estrellas es la fuente fundamental de información a la hora de entender la formación y evolución de las galaxias. Sin embargo, más allá del limitado vecindario entorno a la Vía Láctea, las galaxias se encuentran tan alejadas de nosotros que es imposible resolver las estrellas que las componen de manera individual. Por tanto, para entender las propiedades de casi la totalidad de galaxias en el universo es necesario conocer la manera en que sus estrellas se forman y cómo contribuyen al flujo total que observamos.



Ignacio Martín Navarro
Investigador postdoctoral en UC Santa Cruz
imartinn@ucsc.edu

Premio a la mejor tesis doctoral
de 2015 en Astronomía y Astrofísica

Los primeros estudios en nuestra propia galaxia pronto demostraron que las estrellas no nacen de manera caótica, sino que parecen seguir una determinada receta: cuanto menor es su masa en mayor cantidad se encuentran. La formación estelar no solo parecía seguir unas reglas estrictas, sino que esas mismas reglas aparentaban ser las mismas con independencia de las propiedades del gas a partir del cual nacieron las estrellas. Esta receta que describe el número de estrellas formadas por unidad de masa se conoce como función inicial de masa (FIM), y se ha asumido universal durante casi 60 años, desde que Edwin Salpeter la aproximara por primera vez en 1955.

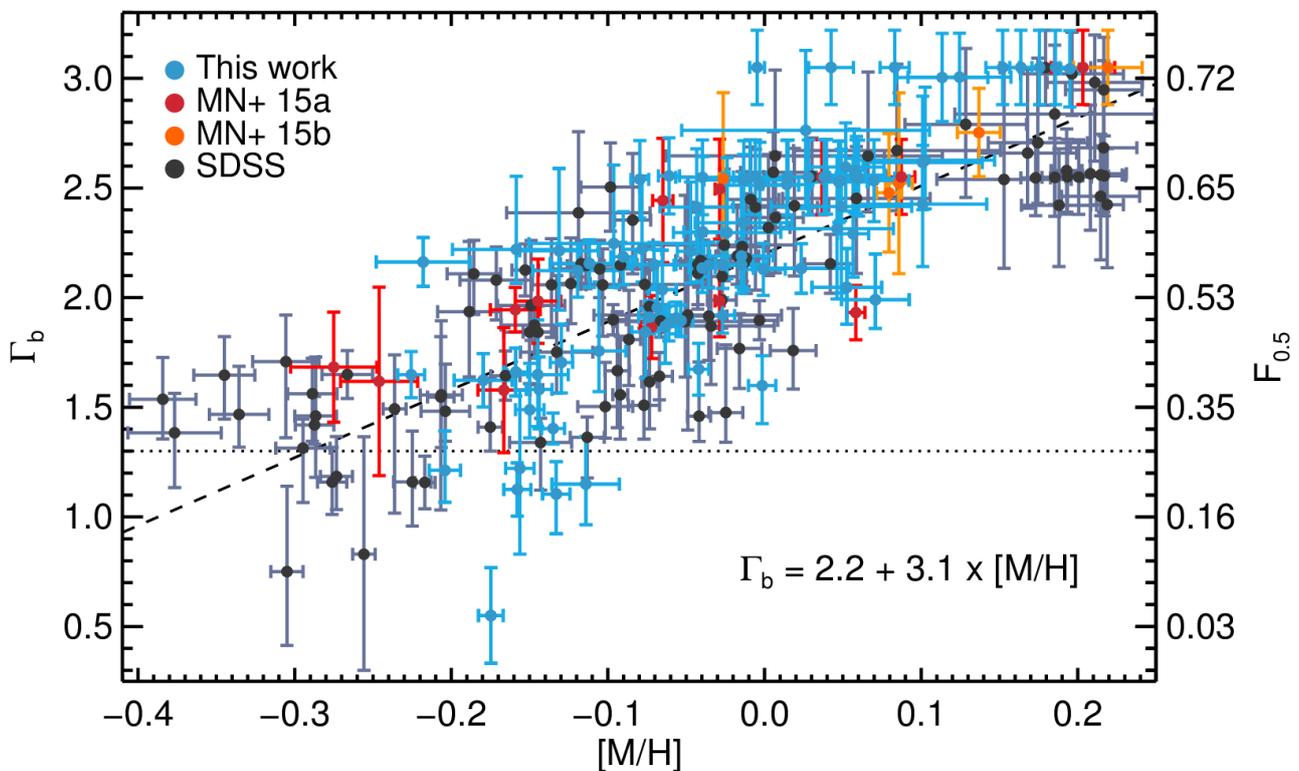
La universalidad de la FIM se fundamenta en las medidas más o menos directas realizadas en el entorno más cercano a la Vía Láctea. Sin embargo, en los últimos años el desarrollo de precisos modelos de poblaciones estelares y dinámicos ha permitido extender el estudio de la FIM más allá de nuestra propia galaxia. Los resultados de estos estudios cogieron por sorpresa a la comunidad astrofísica al revelar fuertes variaciones en la FIM. Las implicaciones tal variabilidad en la FIM se extienden a la gran mayoría de la física extragaláctica, desde el cálculo de masas, hasta la evolución química de las galaxias, pasando por las determinaciones de la tasa de formación estelar o de la fracción de materia oscura.

A la vista de estos resultados, decidimos dar un paso adelante y estudiar, no solo cómo varía la FIM de galaxia en galaxia, pero también como lo hace dentro de ellas. Gracias a las inigualables características del Gran Telescopio Canarias (GTC) y a su equipo de astrónomos, conseguimos por primera vez mediar la variación radial de la FIM en una galaxia masiva relativamente cercana. Nuestro análisis demostró que en el centro de las galaxias más masivas se forma una mayor fracción de estrellas de baja masa de lo esperado, y que esta fracción disminuye hasta lo observado en la Vía Láctea cuando nos acercamos a las partes más externas. Con fundamentales consecuencias para nuestro entendimiento de la formación y evolución galáctica, faltaba sin embargo entender qué mecanismo estaba detrás de estas variaciones.

Sin la precisión del GTC, pero contando con un mayor número de galaxias, el cartografiado CALIFA nos dio la oportunidad de responder a esta pregunta.

Extendiendo nuestro estudio a una gran muestra de galaxias cercanas, pudimos proponer que la metalicidad del gas proto-estelar juega un papel fundamental a la hora de regular la FIM. Nuestros resultados muestran que entornos más metálicos favorecen la formación de un mayor número de estrellas de baja masa, siendo así capaces de explicar las variaciones de la FIM tanto dentro de las galaxias, como al comparar distintos objetos.

¿Resuelve esto todas las preguntas abiertas entorno a la FIM? Ciertamente no. En los próximos años debemos ser capaces de proponer un marco tanto observacional como teórico que explique simultáneamente la aparente universalidad y variabilidad de la FIM, así como extender su estudio al universo temprano, cuando el grueso de la formación estelar en las galaxias más masivas estaba teniendo lugar. Esto es solo el principio.



Pendiente de la FIM (Γ_b) como función de la metalicidad ($[M/H]$). Nuestras medidas, tanto integradas (puntos negros) como resueltas (puntos de colores), sugieren una fuerte dependencia de la FIM con la metalicidad del entorno. La línea punteada horizontal marca el valor tradicionalmente considerado como universal, tal y como indican las observaciones en la Vía Láctea. La clara desviación respecto a lo comúnmente adoptado obliga a reevaluar conceptos ampliamente aceptados en el mundo de la evolución galáctica.

Las estrellas masivas son raras y difíciles de observar, si las comparamos con sus hermanas de baja masa. Asumiendo una función inicial de masas de tipo Salpeter, por cada estrella con una masa mayor de 64 masas solares, nacen más de 100 estrellas como el Sol. Además se forman en las regiones más densas de las nubes moleculares, de modo que en sus etapas iniciales -cuando están rodeadas por gas molecular y denso- y prácticamente hasta que llegan a la secuencia principal, son muy difíciles de observar. Por otro lado, las nubes en las que se forman se encuentran a distancias mayores de 1 kpc, por lo que su estudio requiere de observaciones con gran resolución angular.



Joel Sanchez-Bermudez

Investigador postdoctoral en
Max Planck Institut für Astronomie
jsanchez@mpia.de

Premio a la mejor tesis doctoral
de 2015 en Astronomía y Astrofísica

Sirvan como ejemplo los tres problemas científicos en los que he enfocado mi trabajo doctoral: i) el estudio de las fases iniciales de la vida de las estrellas masivas; ii) la multiplicidad; y (iii) las interacciones de este tipo de estrellas con el medio interestelar. Para alcanzar la nitidez necesaria, hemos utilizado técnicas interferométricas en la forma de "Sparse Aperture Masking" (SAM, con el instrumento NACO/VLT) y de "Interferometría de muy Larga Base" (OLBIN, con el instrumento AMBER/VLTI) complementadas con observaciones de óptica adaptativa y espectroastrometría (CRIRES/VLT).

Me gustaría destacar los siguientes resultados de mi tesis:

a) La formación de las estrellas masivas: las teorías modernas de la formación de estrellas masivas sugieren la presencia de discos en el núcleo de los objetos masivos jóvenes. Sin embargo, han sido muy difíciles de detectar. En esta tesis, hemos estudiado el objeto masivo joven NGC 3603 IRS 9A* con observaciones tipo SAM combinadas con datos espectroastrométricos. El resultado más importante es la confirmación de un objeto compacto en el núcleo de IRS 9A que coincide con un posible disco de acreción de acuerdo a nuestros modelos de transferencia radiativa. IRS9A es uno de los objetos jóvenes más masivos que se conocen ($25M_{\odot} < M < 40M_{\odot}$) en los que se haya podido detectar un posible disco gracias a la interferometría óptica. Nuestros datos confirman también la existencia de una envoltura alrededor de la componente compacta;

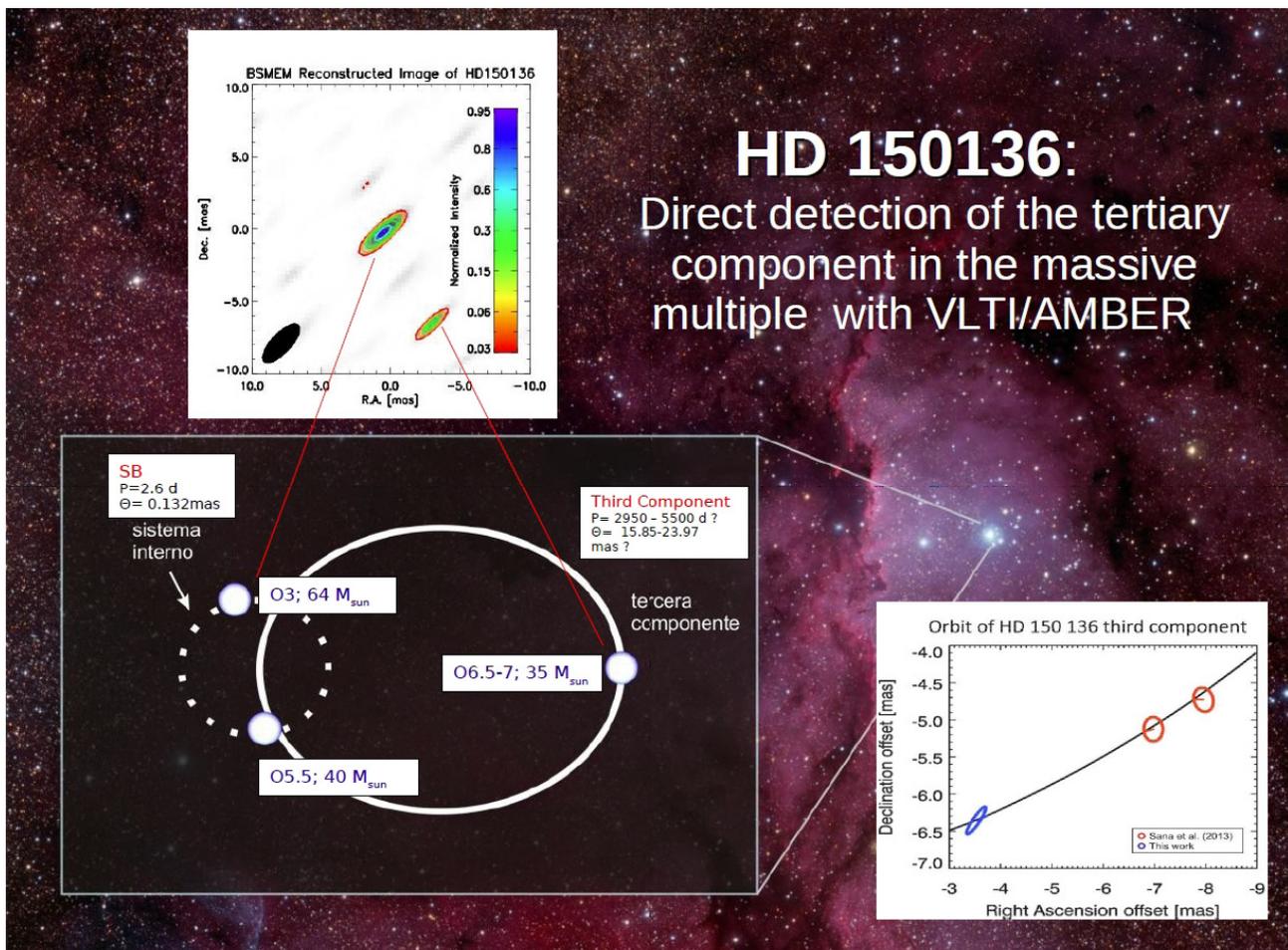
b) Una de las características más importantes de las estrellas de tipo O es el alto porcentaje de sistemas múltiples (~90%) entre ellas. Esta tesis presenta el estudio de dos sistemas triples jerárquicos: HD150136 y Herschel36. Observaciones espectroscópicas habían sugerido la existencia de tres componentes unidas gravitacionalmente de forma jerárquica: dos pertenecen a una binaria espectroscópica y la terciaria está situada a mayor distancia. En esta tesis hemos utilizado AMBER/VLTI para resolver, por primera vez, la componente terciaria en estos dos sistemas. Esto permitió determinar la posición proyectada de las componentes de cada sistema múltiple en el plano del cielo, su brillo relativo, así como estimar una primera aproximación de su órbita;

CON TÉCNICAS DE GRAN RESOLUCIÓN ANGULAR

c) Interacciones de las estrellas masivas con el medio interestelar. En particular, presentamos el estudio de las estrellas Wolf-Rayet en el Centro Galáctico, con morfología tipo “bow shock” que interactúan con los brazos de polvo y gas en el parsec central de la Galaxia. Lo hacemos con la técnica SAM en el instrumento NACO/VL. La interacción entre el movimiento relativo de las estrellas y el choque de sus vientos estelares con el medio interestelar, generan estas estructuras tan particulares. El modelado de nuestras observaciones interferométricas y de óptica adaptativa permitieron obtener, por primera vez, la posición tridimensional

y velocidad de estas estrellas, además de determinar los mecanismos responsables de la emisión infrarroja de las estructuras “bow shock”. Finalmente, se determinaron los planos orbitales más probables de estas estrellas alrededor del agujero negro masivo SgrA*.

La nueva generación de interferómetros infrarrojos (GRAVITY, MATISSE, JWST/SAM, NACO/SAM, VISIR/SAM, etc.) abren la posibilidad de realizar no solo estudios enfocados en fuentes individuales sino en la implementación de observaciones sistemáticas a gran escala. Es un futuro abierto para todos.



En esta sección de nuestro Boletín pretendemos mostrar la cara más social de los miembros de nuestra sociedad: entradas y salidas de comités, nombramiento de nuevos directores de centros, cambios de afiliaciones, jubilaciones, premios, etc. Si cuando acabéis de leer la sección pensáis "Podían haber hablado también de..." os pedimos que nos enviéis vuestra entrada para incluirla en el próximo número. Gracias.

RECONOCIMIENTO A MERCEDES PRIETO

Nuestra compañera Mercedes Prieto del IAC recibió en marzo el premio concedido por el Instituto Universitario de Estudio de las Mujeres de la Universidad de La Laguna como reconocimiento a su trayectoria profesional. Mercedes fue una de las astrónomas pioneras de nuestro país. ¡Enhorabuena!

EL ANIVERSARIO DE PLATA DEL LAEFF

El LAEFF (Laboratory for Space Astrophysics and Theoretical Physics) ha celebrado su XXV aniversario. Fundado en 1991 como una colaboración entre INTA, CSIC y ESA, desde 2010 se encuentra integrado en la estructura del Centro de Astrobiología (CAB). ¡Feliz cumpleaños!

PREMIO A LA MEJOR TESIS DOCTORAL 2015, EXEQUO

El pasado 3 de mayo, la Junta Directiva de la SEA decidió conceder el premio a la mejor tesis doctoral en Astronomía y Astrofísica del año 2015 a Ignacio Martín Navarro, por su tesis "Studying the outermost regions of galaxies to constrain their formation" (Universidad de La Laguna; supervisada por el Dr. Alejandro Vazdekis) y a Joel Sánchez Bermúdez, por su tesis "Study of the dynamical and morphological properties of massive stars with high angular resolution techniques", (Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC); supervisada por los Drs. Antxon Alberdi y Rainer Schödel). ¡Enhorabuena a los dos ganadores!

JOHN BECKMAN, DOCTOR HONORIS CAUSA

Siguiendo con la Universidad de La Laguna, el pasado 11 de mayo nuestro compañero John Beckman fue investido como Doctor "Honoris Causa" de la ULL por sus "muy relevantes méritos y cualidades en el campo de la enseñanza, la investigación científica y técnica, el cultivo de las Letras y las Artes y su labor en pro de la Universidad y de la cultura en general". ¡Muchas felicidades!

DIEGO TORRES, NUEVO DIRECTOR DEL INSTITUTO DE CIENCIAS DEL ESPACIO

El 26 de febrero de 2016, el Presidente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas nombró al Profesor ICREA Diego F. Torres como el nuevo director del Instituto de Ciencias del Espacio (IEEC-CSIC), sustituyendo a nuestro compañero Jordi Isern. Nuestra enhorabuena y mucho ánimo con la tarea que tiene por delante.

PREMIO CINEMATográfico

El corto de ciencia ficción "[Arco de choque](#)", financiado parcialmente por la SEA, ha recibido el premio "Best Depiction of Science and Technology" del festival de cine científico Sci-On de Reno (Nevada, USA). Tendremos ocasión de verlo juntos durante la próxima reunión científica en Bilbao. ¡Enhorabuena a los premiados!

UN COMETA EN LA COCTELERA

Florian Freistetter

ISBN: 978-84-344-1918-6

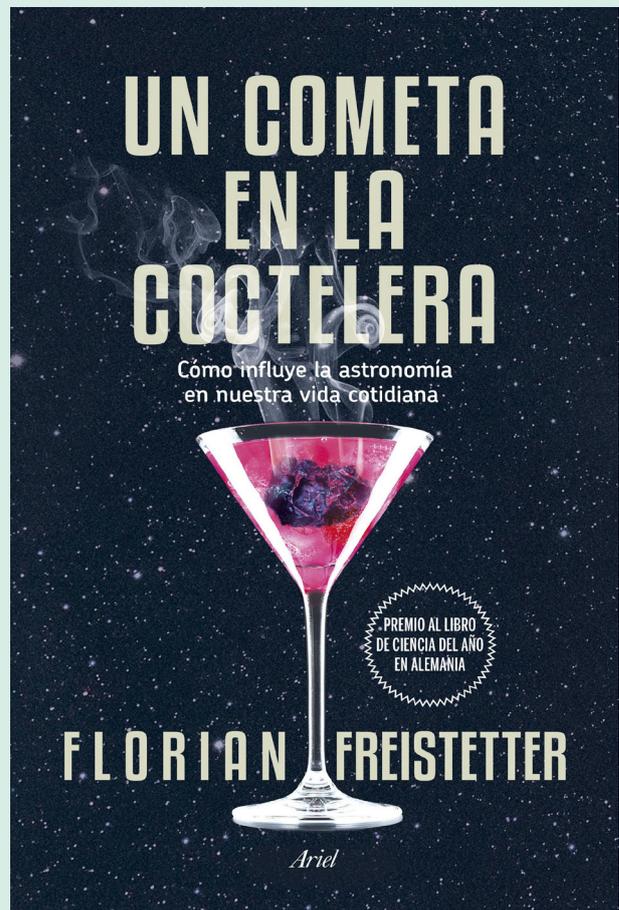
Ed: Ariel

Con este título tan evocador da la bienvenida al lector un libro dedicado a contarnos cómo la astronomía, que parece tan alejada de nuestro día a día por ser su objeto de estudio fenómenos a distancias inconmesurables, influye no obstante en nuestra vida cotidiana de manera decisiva. Florian Freistetter recibió por este libro en 2014 el prestigioso premio *Wissenschaftsbuch des Jahres*, Libro de Ciencia del Año en Austria (a pesar de la clamorosa errata en la portada de la traducción española) en su modalidad de Ciencia y Tecnología. Inspirándose en un hipotético paseo que el lector podría realizar un día cualquiera, el libro se articula en cuatro partes: "en la calle", "en el parque", "en el bar" y "bajo el cielo estrellado".

A lo largo de este paseo imaginario, el lector descubrirá entre otras muchas curiosidades el origen astronómico de la familiar división en horas, minutos y segundos, el misterio de la oscuridad del cielo nocturno, cómo las leyes de Kepler están tras la sintonización de una antena parabólica, por qué la formación del Sistema Solar es la causa última del viento, cómo funciona un GPS, qué aprenden los astrónomos de las abejas, por qué hay que tratar con más respeto el polvo que limpiamos, el origen solar de las calorías de la comida o cuánto de cometa hay en la caipiriña que ingerimos.

De hecho, el libro da cuenta de más de una veintena de relaciones y vinculaciones entre hechos cotidianos y fenómenos astronómicos (y en algunos casos estas relaciones incluso pueden sorprender a los profesionales), pero no se limita a una mera descripción de los mismos. Cada apartado está enriquecido por anécdotas, personajes, historia de la ciencia, y sobre todo explicaciones científicas claras y fáciles de comprender. En este sentido la prosa es fluida y se beneficia de una excelente labor de traducción por parte del siempre eficaz Sergio Pawlowsky. De hecho, pese a la errata de la portada, la edición está bastante bien cuidada para tratarse de una edición económica.

Cabe destacar que cada capítulo comienza por una ilustración de Gottfried Müller representativa



del título del mismo, ilustración que se vuelve a repetir al acabar el capítulo... aunque sutilmente cambiada; el nuevo conocimiento que hemos adquirido durante la lectura nos permitirá ver esa imagen cotidiana de una forma totalmente diferente.

Es un libro sencillo y no muy largo, muy interesante y de lectura agradable, lo que lo hace ideal para pasar un buen rato en la playa tomando el sol, o a la sombra de un árbol durante las próximas vacaciones, mientras reflexionamos mirando a nuestro alrededor cómo, después de todo, la astronomía no es tan ajena de nuestro día a día como pudiera parecernos en un principio. A fin de cuentas, la Tierra forma también parte del universo.

¡La astronomía está en todas partes!

Fernando J. Ballesteros
*Observatori Astronòmic
Universitat de València*

Teorías alternativas en gravitación: Restricciones observacionales a partir de datos astrofísicos y cosmológicos

Autor: Ivan de Martino

(ivan.demartino1983@gmail.com)

Tesis doctoral dirigida por: Fernando Atrio-Barandela y Salvatore Capozziello

Centro: Universidad de Salamanca

Fecha de lectura: 1 de Diciembre de 2014

Actualmente Λ CDM es el modelo cosmológico más favorecido por las observaciones. Desde el punto de vista teórico presenta ciertas dificultades que se deben entender para alcanzar una descripción autoconsistente del Universo a todas las escalas. Estas dificultades están relacionadas con la necesidad de introducir materia y energía oscuras como componentes materiales necesarias para explicar la dinámica de galaxias y el período actual de expansión acelerada del Universo. Estas dificultades pueden obviarse modificando la teoría gravitatoria, hecho motivado también por la necesidad de elaborar una teoría cuántica de la gravedad. En esta tesis hemos analizado teorías alternativas, genéricamente denominadas ETG, en diversos escenarios para ver en qué grado son compatibles con las observaciones en los límites de campo débil, campo fuerte, a pequeñas y a grandes escalas.

En esta tesis hemos concentrado nuestra atención en una familia particular de ETGs denominadas $f(R)$, en las que el lagrangiano de Einstein-Hilbert depende de una función genérica del escalar de curvatura R . Entre otros aspectos, hemos estudiado las predicciones de teorías tipo $f(R)$ en distintos escenarios astronómicos y cosmológicos para contrastarlas con las observaciones. Los resultados y las perspectivas futuras son la siguientes:

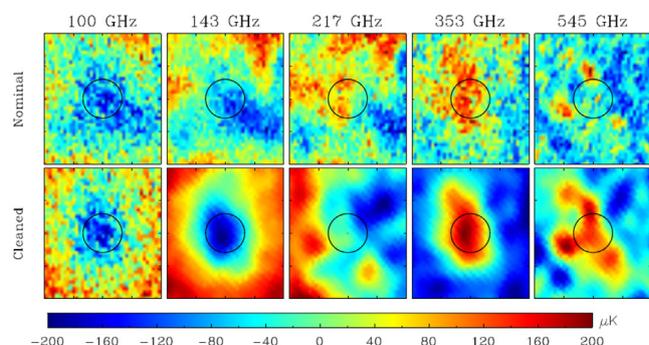
- la inestabilidad de Jeans en teorías $f(R)$ siguiendo el procedimiento usual para fluidos autogravitantes. Hemos obtenido una nueva relación de dispersión que muestra en qué grado se modifica la longitud de Jeans. Este trabajo debe extenderse incluyendo campos magnéticos, colisiones y turbulencia para construir modelos más realistas de la fragmentación de nubes moleculares y conseguir describir la formación y evolución de estrellas en ETG. Además, el estudio de las perturbaciones en teorías $f(R)$ de la gravedad es de absoluta importancia en el ámbito de las perturbaciones cosmológicas ya que proporciona una técnica para probar estas teorías utilizando los datos de las observaciones actuales, como el fondo cósmico de microondas (satélite Planck), y futuras como la formación de la estructura a gran escala (satélite EUCLID).
- la emisión de ondas gravitatorias en sistemas binarios. Esto representa un test de las teorías $f(R)$ en el límite de campo gravitatorio fuerte. Encontramos una fórmula analítica de la derivada temporal del período orbital que generaliza la expresión en relatividad general y comparamos las predicciones en relatividad general y en teorías extendidas utilizando los datos de sistemas binarios de púlsares. Mostramos que la emisión de ondas gravitatorias es compatible con las teorías ETG. Sin embargo, los datos no son suficientemente sensibles como para discriminar entre ellas y la relatividad general. Es neces-

rio mejorar los cálculos incluyendo la derivación de todos los parámetros post-Keplerianos y las masas de las componentes del sistema binario utilizando $f(R)$. En perspectivas futuras, utilizando teorías modificadas de la gravedad como $f(R)$, es necesario calcular la forma de las ondas gravitatorias en el caso de los sistemas binarios para probar estas teorías utilizando los datos tanto en observatorios actuales (LIGO, and VIRGO), como en satélites futuros (eLISA).

- hemos construido el perfil de presión de cúmulos en los que los bariones, la única componente material del sistema, se encuentran en equilibrio hidrostático en el potencial gravitatorio del cúmulo. Este potencial es el potencial newtoniano modificado con una corrección de Yukawa. Nuestros resultados muestran que el potencial de Yukawa modificado presenta una alternativa viable a los modelos con materia oscura.
- hemos analizado si los datos de Planck son suficientemente buenos para restringir desviaciones de la evolución del Universo de una evolución adiabática. Hemos realizado un estudio teórico porque en esa fecha los datos de Planck todavía no se habían hecho públicos. Hemos demostrado que si parametrizamos la desviación de la adiabaticidad mediante el parámetro α , definido como $T(z) = T_0(1+z)^{1-\alpha}$, correspondiendo $\alpha=0$ a la evolución adiabática, entonces podemos medir α con una precisión cercana al 1%, y entorno al 1.8% en un caso más realista. Estos resultados mejoran en un factor 2-3 medidas similares utilizando líneas espectrales de cúmulos de galaxias. En la actualidad, hemos aplicado las técnicas desarrolladas a los datos que ha hecho públicos la colaboración Planck. Primero, hemos tenido que limpiar los cúmulos desde la emisión de polvo (ver Figura), y después hemos podido hacer una estimación de $\alpha = -0.007 \pm 0.013$ mejorando en un factor 1.5 las medidas anteriores. Además, utilizando los mismo datos, estamos midiendo los perfiles de los cúmulos para probar el modelo de perfiles en gravedad modificada que hemos desarrollado. Y por último, siempre utilizando estos datos vamos a medir la constante de Hubble (H_0), y probar la variación espacial de la constante de estructura fina (*en preparación*)

Listado de publicaciones disponible en:

<https://ehu.academia.edu/IvandeMartino/CurriculumVitae>



Ejemplo que de un cúmulo antes (Nominal) y después (Cleaned) de aplicar el procedimiento para limpiar la emisión de polvo a los datos del satélite Planck. La imagen corresponde al cúmulo conocido como Coma (Abell 1636). El círculo representa el radio de escala (r_{500}) del cúmulo. La imagen muestra claramente cómo el cúmulo se vuelve visible sólo después de la limpieza del mapa, mientras que antes la señal está dominada por la emisión de polvo y la radiación cósmica de fondo.

Estudios de sensibilidad para el Cherenkov Telescope Array

Autor: Tarek Hassan Collado

(thassan@gae.ucm.es)

Tesis doctoral dirigida por: José Luis

Contreras González y Néstor Mirabal Barrios

Centro: Universidad Complutense de Madrid

Fecha de lectura: 29 de Septiembre de 2015

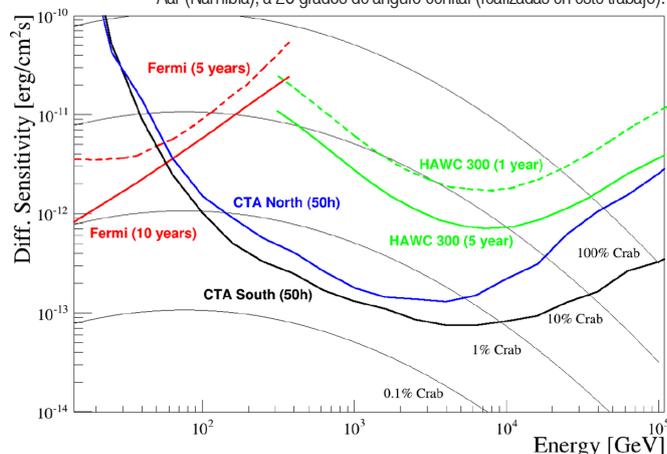
Desde la creación del primer telescopio en el siglo XVII, cada gran avance en la astrofísica ha sido la consecuencia directa del desarrollo de nuevas técnicas de observación que han abierto ventanas en el espectro electromagnético. Tras el descubrimiento de la primera fuente radio por parte de Karl Jansky en 1933, Grote Reber construyó el primer telescopio parabólico en el patio trasero de su casa, plantando la semilla de un nuevo campo en la astronomía. Del mismo modo, las nuevas tecnologías desarrolladas en la década de 1950 permitieron el establecimiento de otros campos, como el infrarrojo, ultravioleta y rayos-X.

Los fotones más energéticos del espectro electromagnético, los rayos γ , representan una de las últimas ventanas inexploradas por los astrónomos, pero que puede revelar los fenómenos más extremos que tienen lugar en el Universo. La complejidad técnica que supone la detección de rayos γ y los flujos tan bajos que llegan a la Tierra, ha supuesto que la astronomía en estas energías haya experimentado un desarrollo más lento en comparación con otras longitudes de onda. Hoy en día, el gran éxito de consecutivas misiones espaciales junto con el desarrollo y el perfeccionamiento de nuevas técnicas de detección en la superficie de la Tierra, ha dado lugar a excelentes resultados científicos y ha colocado a la astronomía de rayos gamma a un gran nivel, casi a la par con el resto de campos.

Este trabajo está dedicado al estudio y la optimización del futuro *Cherenkov Telescope Array* (CTA), un detector terrestre de rayos gamma de última generación, diseñado para observar los fotones con las energías más altas emitidas por fuentes cósmicas jamás observadas. Se presentan estudios de sensibilidad realizados para la colaboración CTA, evaluados mediante el análisis detallado de simulaciones Monte Carlo a gran escala, calculando el rendimiento del observatorio y estimando su potencial en casos específicos de interés astrofísico. Junto con las pruebas y el desarrollo de las herramientas de análisis empleados, estos resultados son fundamentales para entender las capacidades que CTA tendrá una vez construido, la eficacia de los diferentes enfoques en la distribución de telescopios y el efecto sobre el rendimiento del lugar de construcción en relación con parámetros como la altitud o el campo geomagnético.

En cuanto a los diferentes diseños de CTA, se realizó una comparación detallada de las diferentes disposiciones de telescopios propuestos por la colaboración, utilizando los catálogos de Fermi-LAT para pronosticar el rendimiento del observatorio sobre casos científicos específicos. Además, se estudió la aplicación de algoritmos de aprendizaje automático en el campo, comparando métodos alternativos para la reconstrucción de la energía y separación señal-ruido. También se han estudiado nuevas aplicaciones de estos algoritmos, tales como la determinación de tipos de fuentes a través del reconocimiento de sus características espectrales.

Mínimo flujo detectable por los futuros telescopios de rayos γ . La sensibilidad de CTA-N y CTA-S corresponde a 50h de observación, mientras que las de Fermi-LAT y HAWC corresponden a sondeos realizados sobre todo el cielo durante periodos más largos. CTA-N y CTA-S corresponden a las simulaciones de los arrays "2N" y "2A" localizados en Tenerife (España) y Aar (Namibia), a 20 grados de ángulo cenital (realizadas en este trabajo).



El análisis presentado aquí tanto de CTA-N como de CTA-S representa el estudio más completo sobre las capacidades de CTA realizado hasta la fecha. La experiencia adquirida en el software desarrollado para el estudio guiará el futuro análisis de datos, ya que se ha comparado la sensibilidad alcanzada por las diferentes cadenas de análisis desarrolladas. A partir de estos resultados, se demuestra que las configuraciones "2N" y "2Q" cumplen con los requisitos exigidos por la colaboración en sensibilidad, área efectiva y resolución angular y energética. Las simulaciones desarrolladas proporcionan un banco de pruebas para los diferentes diseños propuestos por el consorcio CTA y los resultados presentados aquí demuestran que su correcta implementación alcanzará el rendimiento deseado, así como su enorme potencial científico.

Tesis disponible en:

http://www.gae.ucm.es/~thassan/THassan_Thesis.pdf

Distribución de metales en discos galácticos con espectroscopia de campo integral

Autora: Raffaella Anna Marino

(marinor@phys.ethz.ch)

Tesis doctoral dirigida por: Armando Gil de Paz,

Sebastián Sánchez y Francisco Sánchez Moreno

Centro: Universidad Complutense de Madrid

Fecha de lectura: 30 de Septiembre de 2015

A pesar de los avances recientes sobre cómo el Universo se originó y cómo las estructuras formadas en aquel entonces se convirtieron en las galaxias que observamos hoy en día, existen cuestiones fundamentales aún no resueltas en astrofísica. Con el fin de descubrir los mecanismos que gobiernan la evolución (fotométrica y química en nuestro caso) de las galaxias, se ha llevado a cabo en esta tesis un análisis detallado y completo de la distribución espacial y composición química del gas ionizado

y de la distribución espacial y colores de las estrellas en una amplia muestra de 350 galaxias cercanas observadas en espectroscopía de Campo Integral dentro del proyecto CALIFA.

Con el fin de identificar los observables y herramientas necesarias para el testeo del escenario clásico de formación *inside-out* para los discos de galaxias espirales, llevé a cabo en primer lugar un estudio detallado de las propiedades espectro-fotométricas y químicas de la galaxia espiral cercana NGC5668 (Marino *et al.* 2012, ApJ 754, 61). A partir de la combinación de los datos de IFS para 62 regiones HII con imágenes pancromáticas desde el UV hasta el IR, se obtuvieron los perfiles radiales de brillo superficial, color y abundancia de oxígeno que se han comparado con modelos evolutivos químico espectro-fotométricos. El resultado principal es el descubrimiento de un barra en su etapa de formación que está produciendo un cambio inusual en el gradiente de metalicidad del gas y el color de las estrellas. Este resultado sugiere que no todas las galaxias siguen las predicciones de crecimiento *inside-out* suave predicho por los modelos.

Dada las limitaciones previas, y como segundo resultado de esta tesis, se actualizaron dos de las calibraciones empíricas de la abundancia de oxígeno más utilizadas (O3N2 y N2). Para ello obtuve medidas de abundancias (basadas en temperatura electrónica) para 600 regiones HII con flujos de líneas publicados en la literatura mas medidas de flujos de línea de 3500 regiones de la muestra CALIFA. El tamaño sin precedentes de la muestra y su análisis homogéneo amplió la cobertura del espacio de parámetros y ha servido para su uso en gran número de trabajos recientes (Marino *et al.* 2013, A&A 559, 114).

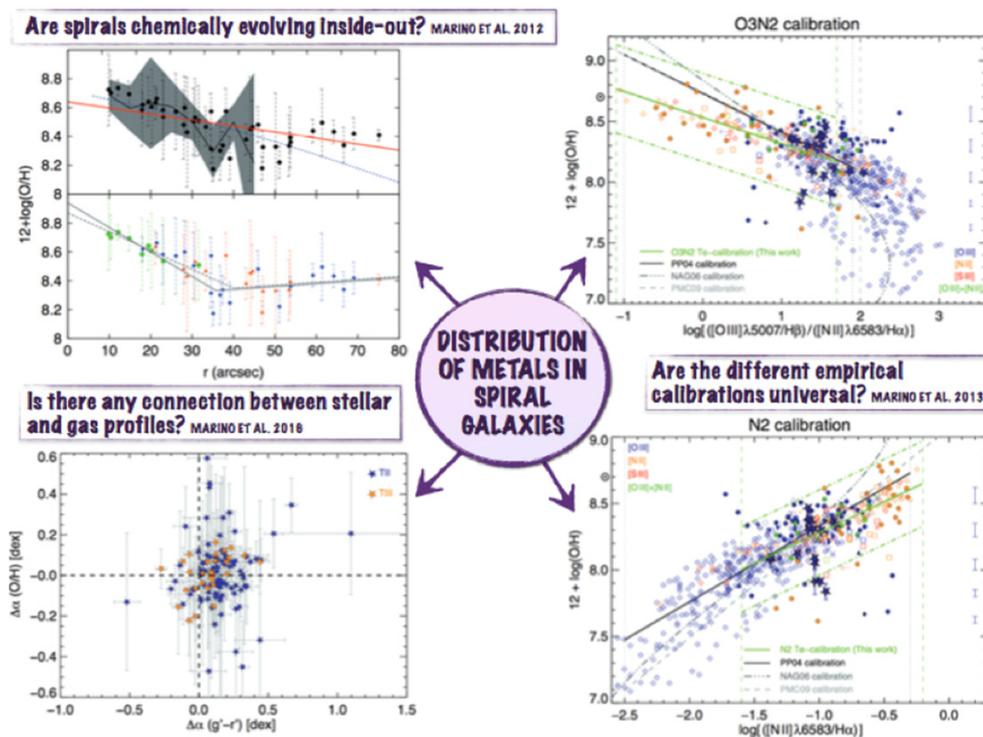
Por último, en Marino *et al.* (2016, A&A 585, 47) llevé a cabo el análisis combinado de los gradientes de metalicidad obtenidos a partir de los datos de CALIFA con los perfiles de brillo y color en las bandas SDSS para un total de 324 galaxias. Este análisis (1) ha confirmado la presencia de perfiles de color con forma de U en las partes exteriores de las galaxias espirales de CALIFA (especialmente en galaxias espirales masivas o con perfiles de brillo truncados), (2) ha puesto de manifiesto que el enrojecimiento observado en dichas partes externas no es

debido únicamente a la metalicidad sino también muy probablemente a un aumento de la edad pesada en luminosidad, y (3) ha permitido descubrir el aplanamiento (o incluso inversión) en el gradiente de metalicidad en galaxias de baja masa con perfiles de brillo truncados. Estos resultados no pueden ser explicados por los modelos actuales de crecimiento *inside-out* y requieren bien de una evolución en el umbral de formación estelar con el desplazamiento al rojo, o de un cambio en la eficiencia de la formación estelar o de una migración estelar significativa en los discos.

Estos estudios me han permitido (i) confirmar y ampliar los resultados anteriores sobre los gradientes de metalicidad de los discos espirales y, gracias a este conjunto de datos sin precedentes, (ii) constreñir las predicciones procedentes de los modelos teóricos respecto al crecimiento y posible migración estelar en los discos de galaxias. Además, gracias a nuestros datos, (iii) he proporcionado una nueva calibración de diferentes métodos de líneas intensas, cuyo uso se ha extendido dentro de la comunidad científica (~60 citas según ADS) para la determinación de abundancias metálicas en el gas ionizado.

Como se aprecia en la Figura, que resume los resultados mas importantes, este trabajo ha permitido obtener una visión más detallada de la composición química de las galaxias de disco y una mejor comprensión de la evolución de éstas en el contexto del escenario *inside-out*, ampliamente aceptado, y escenarios alternativos o que modifican de alguna forma este patrón de crecimiento. No sólo he probado cuantitativamente muchas de sus predicciones clave sino que también he determinado la relevancia de otros mecanismos ajenos a éste. En el proceso se ha puesto de manifiesto que la espectroscopía 3D es el camino a seguir para el estudio de la evolución de las galaxias.

Otros proyectos centrados en la evolución de galaxias en el Universo Local, utilizando la potencia de los datos IFS, han tomado el testigo de CALIFA. Estos incluyen, entre otras, tanto la exploración *MUSE Atlas of Disks* (MAD) con el instrumento MUSE en la cual estoy involucrada gracias al PostDoc que estoy haciendo al ETH Zurich en Suiza, como el futuro MEGARA, el Multi-Espectrógrafo en GTC de Alta Resolución para Astronomía.



Resumen de los resultados mas relevantes obtenidos en esta tesis. Las figuras individuales y el manuscrito se puede descargar en el siguiente enlace: https://guaix.fis.ucm.es/~raffaella/Thesis_ATLAS/PhDThesis_RAM_15Sep15.pdf

Binarias de rayos X de alta masa: escaneando los vientos estelares

Autor: Ángel Giménez García

(garciagimenezangel@gmail.com)

Tesis doctoral dirigida por: Jose Miguel Torrejón Vázquez y Guillermo Bernabéu Pastor

Centro: Universidad de Alicante

Fecha de lectura: 17 de Diciembre de 2015

Las estrellas masivas son un elemento clave en la evolución de las galaxias debido a su papel en la retroalimentación y enriquecimiento del material interestelar. El medio circunestelar de estas estrellas proporciona gran cantidad de información sobre muchas de sus propiedades, por lo que su estudio es de un gran interés científico. En el caso de las Binarias de rayos X de Alta Masa (HMXBs por sus siglas en inglés), tenemos la posibilidad de usar, además de la emisión directa de la componente óptica, los rayos X que provienen del objeto compacto y actúan como un verdadero escáner de las regiones inmediatas a la estrella masiva. En esta tesis hemos aprovechado las ventanas observacionales de los rayos X, infrarrojo, óptico y ultravioleta, con el fin de describir e interpretar las propiedades del medio circunestelar en estrellas masivas.

Con ese objetivo, se ha empezado desarrollando un análisis espectral del conjunto completo de observaciones de HMXBs realizadas con XMM-Newton hasta Agosto de 2013. El número de fuentes y detecciones de FeKalpha hace de este estudio el más completo hasta la fecha de los dedicados a esta importante línea espectral en HMXBs. Se ha podido observar que los diferentes grupos de HMXBs muestran patrones característicos en cuanto a FeKalpha como consecuencia de sus distintas propiedades del medio circunestelar. En concreto, es particularmente característico que los sistemas con componente óptica supergigante muestren persistentemente esta línea de fluorescencia y que las fuentes análogas a Gamma-Cassiopeae muestren líneas de Fe tanto de fluorescencia como de recombinación.

Asimismo, hemos observado correlación entre la anchura equivalente (EW) de FeKalpha y la absorción en los rayos X expresada en columna de hidrógeno equivalente (NH), indicando que existe un fuerte vínculo entre la región de reprocesamiento de esta línea y la región de absorción. Este vínculo permite derivar propiedades físicas del medio absorbente a partir de las propiedades de FeKalpha. Además, ésta y otras correlaciones observadas permiten inferir propiedades geométricas de esta región. En concreto, podemos inferir que la distribución geométrica es aproximadamente esférica y cubre un amplio volumen, desde las cercanías del objeto compacto hasta una distancia de alrededor de un radio estelar.

Los sistemas con donantes supergigantes (SGXBs y SFXTs) tienden a mostrar una línea de FeKalpha más prominente debido a un mayor NH. Esta mayor absorción es debida a un viento estelar más fuerte, como muestra la modulación orbital del NH en varios sistemas. Sin embargo, también observamos que hay diferencias significativas en el NH entre SGXBs y SFXTs, siendo en general mayor entre las primeras que entre las segundas. Esto sugiere la posibilidad de que en las SGXBs la

interacción de los rayos X con el viento estelar sea más fuerte que en las SFXTs, o bien que los vientos de sus donantes sean intrínsecamente más densos.

Para averiguar si los vientos estelares en SGXBs y SFXTs pueden ser diferentes de manera intrínseca, hemos llevado a cabo un estudio detallado de las donantes en dos sistemas muy representativos de sus respectivas clases: Vela X-1 (SGXB) e IGR J17544-2619 (SFXT). Hemos usado el código PoWR con el fin de modelar la atmósfera y viento estelar de estas estrellas y ajustar espectros obtenidos en el infrarrojo, óptico y ultravioleta. Este análisis nos ha permitido obtener una estimación de los siguientes parámetros de las donantes: luminosidad, extinción (absorción), masa estelar, radio estelar, temperatura efectiva, gravedad superficial, velocidad terminal del viento, pérdida de masa, factor de *clumping*, velocidades de micro y macroturbulencia, velocidad rotacional y abundancias químicas de los elementos más abundantes. A partir de estos parámetros, hemos sido capaces de derivar otros a partir de trabajos anteriores realizados por otros autores: el radio estelar en IGR J17544-2619 restringe la excentricidad del sistema a un valor menor que 0.25. La velocidad rotacional de Vela X-1 implica que la masa de la estrella de neutrones podría ser cercana al valor canónico, y no especialmente masiva como se ha sugerido en diversos estudios anteriores.

Dados los parámetros encontrados en los análisis de ambas estrellas, se observa que las donantes de Vela X-1 e IGR J17544-2619 no son particularmente peculiares, sino que encajan bastante bien con los parámetros esperados en estrellas de su tipo espectral. Sin embargo, hemos visto que las relativamente pequeñas diferencias entre estas estrellas pueden conducirlos a comportamientos muy distintos en los rayos X, lo que motiva su pertenencia a distintos grupos, léase las persistentes SGXB en el caso de Vela X-1, y las transitorias SFXT en el caso de IGR J17544-2619. En concreto, el periodo rotacional de la estrella de neutrones y la velocidad del viento estelar son dos parámetros especialmente cruciales en este caso.

En resumen, a lo largo de esta tesis podemos ver cómo el estudio de rayos X, y en particular de la línea de FeKalpha, proporciona importante información sobre las cercanías del objeto compacto, lo que nos ayuda a comprender mejor el medio circunestelar de las estrellas masivas. Al mismo tiempo, el análisis detallado de los espectros de estrellas donantes en HMXBs es el procedimiento más adecuado para la caracterización de las propiedades físicas de las compañeras ópticas. Con este trabajo se muestra la importancia de este tipo de análisis a la hora de interpretar físicamente el esquema actual de los distintos grupos de HMXBs, los cuales surgen básicamente de sus propiedades observacionales.

ISFAA: SPH implícito para aplicaciones astrofísicas

Autor: Jose Antonio Escartín Vigo
(ja.escartin@gmail.com)

Tesis doctoral dirigida por: Domingo García Senz y Eduardo Bravo Guil

Centro: Universidad Politécnica de Cataluña

Fecha de lectura: 21 de Enero de 2016

La simulación mediante ordenador es una de las herramientas básicas de la astrofísica moderna. Los procesos de gran escala temporal son imposibles de tratar con enfoques explícitos ya que estos se encuentran limitados, en su paso de tiempo máximo, por la restricción conocida como condición de *Courant-Friedrichs-Lewy*.

Para utilizar los enfoques implícitos se genera un sistema de ecuaciones algebraicas acopladas, habitualmente resuelto con un esquema de *Newton-Raphson* y compuesto por todas las ecuaciones de cada uno de los puntos de resolución del modelo. El coste computacional de resolución aumenta sustancialmente con el número de incógnitas que han de determinarse a cada paso de tiempo. Las propiedades del siguiente paso de tiempo dependen de los valores de las variables desconocidas en dicho paso de tiempo y por tanto todas han de ser calculadas simultáneamente. La consecuencia es que todo el sistema de ecuaciones se ha de resolver conjuntamente realizando la inversión de una matriz dispersa enorme (la matriz es cuadrada y tiene un tamaño de $(n \cdot eq) \cdot v$, siendo n el número de partículas, eq el número de ecuaciones por partícula y v el número de variables independientes del sistema). Debido a esta restricción, la hidrodinámica implícita históricamente ha sido aplicada a sistemas en una sola dimensión.

Para su implementación se pueden utilizar enfoques lagrangianos como el suavizado de partículas hidrodinámicas, denominado *Smooth Particle Hydrodynamics* ó SPH. Esta técnica se viene aplicando con éxito al campo de la astrofísica, la cosmología y diferentes problemas de la física de fluidos. El SPH integra las ecuaciones de la dinámica de fluidos en cada punto del formalismo lagrangiano (denominado partícula por tener una masa asociada) calculando velocidad, posición, densidad y presión como una interpolación de los valores de las partículas vecinas. Los métodos lagrangianos, a diferencia de los eulerianos, no necesitan de una malla regular que cubra la totalidad del espacio de integración, por tanto, la memoria y el tiempo de cálculo no se desperdician en la resolución de espacios vacíos. Los fluidos se descomponen en un conjunto de partículas donde podemos tratar numéricamente de forma más sencilla el movimiento en tres dimensiones derivado de las fuerzas de presión y auto-gravedad.

El objetivo de esta tesis es detallar las principales características y la implementación de un nuevo código SPH, con un enfoque implícito, al que he denominado ISFAA (*Implicit SPH for Astrophysical Applications*). Este código amplía el trabajo previo de Knapp del año 2000 e incluye el esquema físico más actual del SPH (basado en el principio variacional), viscosidad artificial, gravedad y conductividad térmica.

Dado el enorme esfuerzo que supone construir y validar un nuevo código SPH, se pretende que en el futuro su utilidad se extienda al mayor número posible de escenarios. Con este fin se ha optado por un diseño modular que separe el tratamiento general del código de la implementación concreta de ecuaciones evolutivas básicas y de las propiedades del material (ecuación de estado, viscosidad artificial, etc.). Además, para la resolución del sistema de ecuaciones se utiliza la biblioteca de algoritmos paralelos PARDISO, que se incorpora en la librería Intel MKL y que en el futuro tendrá mejoras que impactarán positivamente en el código.

Para comprobar la corrección del código y probar cada uno de los ingredientes físicos, se especifican una serie de tests básicos (Explosión puntual, *The wall heating shock*, inestabilidades de Rayleigh-Taylor, caída libre, etc.) y una serie de tests con gravedad (ToyStar, estabilización de un polítopo de masa solar y estabilización de una enana blanca).

El último test muestra la evolución de un sistema casi-estático, en el que las velocidades no se encuentran explícitamente en el modelo. Este test esta orientado a demostrar que el código implícito podría aplicarse con éxito en estas situaciones, consiguiendo simular el sistema en largos intervalos temporales.

Durante el desarrollo se han aportado dos importantes avances: 1) La reducción de las variables del problema, integrando de forma implícita la densidad y la velocidad dentro de la ecuación del momento y la ecuación de la energía. Esto proporciona una gran ventaja al reducir de forma muy acusada el número de celdas de la matriz dispersa y, por tanto, reduciendo directamente el tiempo de computación. 2) Se ha implementado una técnica novedosa para tratar la gravedad de forma implícita, mediante el potencial gravitatorio. Al calcularse el potencial a través de un gradiente y siendo el cálculo del gradiente una propiedad local, implica que la matriz del sistema sigue siendo altamente dispersa.

Como conclusión se puede apuntar que se ha conseguido un código implícito totalmente operativo para los escenarios donde se utiliza habitualmente el SPH. Aunque el método implícito es realmente usable en los modelos casi-hidrostáticos donde el método explícito tiene mas dificultades, frente a los modelos hidrodinámicos, en los que ocurre lo contrario.

Tesis disponible en
<https://app.box.com/s/ikabesau5imq13xifruwa5zd6miaj9uz>

Variación superficial en objetos transneptunianos

Autora: Vania Lorenzi (lorenzi@tng.iac.es)

Tesis doctoral dirigida por: Noemí Pinilla

Alonso y Javier Licandro Goldaracena

Centro: Universidad de La Laguna

Fecha de lectura: 28 de Enero de 2016

Los objetos transneptunianos son pequeños cuerpos helados que orbitan más allá de la órbita de Neptuno. Estos cuerpos se encuentran entre los menos procesados de Sistema Solar, por lo que su estudio proporciona valiosa información sobre la formación del Sistema Solar, y sobre su evolución. Entre ellos son de particular interés los de mayor dimensión, como por ejemplo los planetas enanos, ya que, según los modelos teóricos de retención de volátiles, pueden haber retenido en su superficie parte de su contenido inicial de hielos como metano, nitrógeno o monóxido de carbono. En esta tesis se presenta el estudio de la variación de la composición superficial de tres objetos transneptunianos de gran tamaño, para los cuales hay indicios de que la composición de su superficie no es homogénea: (20000) Varuna, (136472) Makemake y (134340) Plutón.

La investigación se ha llevado a cabo mediante espectroscopía en el rango visible e infrarrojo obtenida a diferentes fases rotacionales del objeto. Para cada objeto se han analizado varios parámetros espectrales como la pendiente de los espectros de reflexión en el visible, o la profundidad y posición del centro de las bandas de absorción en el visible e infrarrojo, obteniendo información sobre la abundancia y la variación en la distribución de los hielos y de los componentes orgánicos presentes en la superficie. Además se han comparado los datos obtenidos para los tres objetos con datos presentes en literatura.

Los resultados de estos estudios han sido publicados en tres artículos, que son parte integrante de la tesis: “*Rotationally resolved spectroscopy of (20000) Varuna in the near-infrared*” (Lorenzi *et al.* 2014, A&A, 562A, 85L), “*Rotationally resolved spectroscopy of dwarf planet (136472) Makemake*” (Lorenzi *et al.* 2015, A&A, 577A, 86L) y “*The spectrum of Pluto, 0.40-0.93 μm . I. Secular and longitudinal distribution of ices and complex organics*” (Lorenzi *et al.* 2016, A&A, 585A, 131L).

Para el estudio de la variación de la composición superficial de (20000) Varuna se han utilizado espectros obtenidos con el *Near Infrared Camera Spectrometer* (NICS), el espectrógrafo y cámara para el infrarrojo cercano del *Telescopio Nazionale Galileo* (Observatorio del Roque de Los Muchachos, Isla de La Palma, España). Los espectros cubren la rotación completa del objeto y representan el primer estudio de la superficie de Varuna mediante espectroscopía a diferentes fases rotacionales. Además del estudio rotacional, se ha modelado la composición de la superficie mediante la comparación de nuestros espectros con modelos de reflectancias relativas obtenidos a partir de las propiedades ópticas de distintos materiales. Estos datos muestran una superficie homogénea, dentro de la relación señal a

ruido, formada por orgánicos complejos y silicatos, junto a hielo de agua. No se descarta la presencia de hielo de metano.

En el caso del estudio de la variación superficial de (136472) Makemake, el primero que se lleva a cabo mediante espectroscopía rotacional, se ha utilizado el *Intermediate dispersion Spectrograph and Imaging System* (ISIS), el espectrógrafo de media resolución de doble brazo para el rango visible del *William Herschel Telescope* (Observatorio del Roque de Los Muchachos, Isla de La Palma, España). Del análisis de los datos se encuentran indicios de variación de la distribución de los componentes orgánicos de la superficie. No se detecta variación rotacional o secular en el grado de dilución del metano en nitrógeno, ni variación con la profundidad, al menos en los primeros 10 mm muestreados por nuestros datos.

En lo que concierne a (134340) Plutón, se ha llevado a cabo por primera vez un estudio rotacional de su superficie mediante espectroscopía en el rango del visible, donde se pueden estudiar tanto los componentes orgánicos como el hielo de metano. Para las observaciones, obtenidas a seis longitudes planetocéntricas diferentes, se ha utilizado el *Auxiliary-port Camera* (ACAM), el espectrógrafo de media resolución y cámara para el rango visible montado en el *William Herschel Telescope*. Los datos muestran clara heterogeneidad en la distribución de los compuestos orgánicos y de los hielos en la superficie del planeta enano, en acuerdo con los recientes resultados de la sonda espacial *New Horizons*. La comparación con datos de estudios previos muestra una superficie con un mayor grado de procesado en la actualidad y una disminución en la profundidad de las bandas del metano y en la amplitud de su variación con la longitud planetocéntrica. Estas variaciones podrían indicar una variación secular, o ser debidas al hecho de que ahora se están observando zonas diferentes de la superficie de Plutón.

Esta tesis es finalmente un estudio sistemático de la variación superficial de objetos transneptunianos grandes. La investigación, llevada a cabo mediante espectroscopía obtenida a diferentes fases, ha proporcionado nuevas y valiosas informaciones acerca de su composición superficial y de los procesos asociados a su variación rotacional, mostrando el enorme potencial de este tipo de estudios en la investigación de los objetos transneptunianos. Además, la comparación de nuestros datos de Plutón con los de la misión espacial se puede considerar el banco de pruebas que ayude a interpretar eventuales signos de heterogeneidad en la superficie de otros objetos transneptunianos.

Detección de fuentes extragalácticas en mapas de la radiación del fondo cósmico de microondas mediante técnicas multifrecuenciales

Autor: Luis Fernando Lanz Oca
(lanz@ifca.unican.es)

Tesis doctoral dirigida por: Diego Herranz
Muñoz y Marcos López-Caniego Alcarria

Centro: Universidad de Cantabria

Fecha de lectura: 8 de Febrero de 2016

La observación y el análisis de la radiación cósmica de fondo de microondas (RFCM) es un aspecto crucial para entender el Universo temprano y sus propiedades. Las últimas observaciones de esta radiación (y su posterior análisis) han permitido conocer con mayor precisión la edad del Universo (aproximadamente 13.800 millones de años), la composición del Universo ($\sim 4.9\%$ de materia bariónica, $\sim 26.8\%$ de materia oscura y el restante $\sim 68.3\%$ de energía oscura) y otros parámetros cosmológicos [1].

Al observar el cielo en el rango de frecuencias de las microondas, se observan junto a la propia RFCM otras componentes, tanto de origen galáctico (normalmente de carácter difuso) como extragaláctico (compacta), y ruido instrumental. Con el fin de estudiar y caracterizar una, varias o todas estas componentes, es importante desarrollar técnicas que las separen correctamente. En el caso de los objetos extragalácticos, que aparecen en la mayoría de ocasiones como fuentes puntuales debido a su distancia de nosotros y a la (relativamente) pobre resolución angular de los experimentos, los filtros lineales son dispositivos más que adecuados para detectarlos. Además, su detección no sólo es interesante para eliminarlos de los mapas de la RFCM, sino también para estudiar las fuentes puntuales por sí mismas. En la literatura hay muchos ejemplos de filtros que han sido utilizados satisfactoriamente para detectar fuentes puntuales.

Hasta la llegada de experimentos como WMAP y Planck, había una carencia de información sobre las fuentes extragalácticas en el rango de frecuencias ~ 20 -1000 GHz, carencia que ha comenzado recientemente a ser cubierta con esos experimentos. Los filtros lineales se han aplicado ampliamente en estos experimentos, mostrando su eficacia. La literatura también muestra que la mayoría de las veces las técnicas utilizadas han sido monofrecuenciales, es decir, los filtros tratan con una única frecuencia cada vez. Estas técnicas de una sola frecuencia, de acuerdo con los últimos resultados, han demostrado estar cerca del límite de su rendimiento y capacidad. Mientras esperamos a futuros experimentos de mayor resolución, podemos desarrollar nuevas herramientas que mejoren la detección de fuentes más débiles, herramientas que igualmente se podrán utilizar en el futuro con los experimentos de mayor resolución. Para lograr este objetivo, en esta tesis se introduce un método

de filtrado lineal multifrecuencial, el multifiltro adaptado [2]. El uso de dos o más canales de forma simultánea nos permite tomar en cuenta una mayor cantidad de información disponible que, por construcción, es ignorada en los métodos de una sola frecuencia. En el caso de esta tesis, la información adicional que se utiliza será el espectro de potencias cruzado del ruido y la información espacial de las fuentes puntuales (como el hecho de que una fuente se encuentra en el mismo punto en el cielo en dos frecuencias diferentes). Se hará una parametrización del comportamiento espectral de dichas fuentes puntuales como una ley de potencias ($S \propto \nu^\gamma$, donde S es el flujo de la fuente a una frecuencia ν y γ es el índice espectral). El filtro lineal multifrecuencial que se usará en esta tesis utiliza toda esta información de una manera natural, obteniéndose catálogos cuyas fuentes son detectadas simultáneamente en todos los canales filtrados y con el mismo nivel de significancia en dichos canales para cada objeto detectado. Su rendimiento se compara con el filtro adaptado (monofrecuencial), aplicándose ambas técnicas (la mono- y la multi-frecuencial) en una serie de simulaciones realistas del cielo que observaría Planck (fueron hechas antes del lanzamiento de Planck), mostrándose los resultados en [3]. La precisión al recuperar la densidad de flujo y el índice espectral, los porcentajes de detecciones espurias y reales, etc., son mejores en general con el método multifrecuencial que con el filtro adaptado. En particular, el número de detecciones reales es mayor con el multifiltro, especialmente para valores de flujos bajos, que es la zona con más interés al tratarse de fuentes que, potencialmente, están más alejadas de nosotros.

Una vez que la eficiencia y la potencia del método multifrecuencial han sido comprobados, se procede a aplicar dicha herramienta a datos reales, en particular, los canales V y W (61 y 94 GHz, respectivamente) de WMAP tras 7 años de observaciones. Después de tener en cuenta algunas consideraciones (en particular los relacionados con los beams de las antenas) con respecto al caso de Planck que se ha mencionado en el párrafo anterior, y que se explican con más detalle en [4], la herramienta multifrecuencial detecta, en una búsqueda totalmente ciega, 119 objetos extragalácticos a un nivel 5σ en ambos canales simultáneamente, número que ha de ser comparado con las 22 detecciones a 94 GHz en una búsqueda no ciega con los datos de WMAP después de 3 años de observaciones del siguiente trabajo: [5]. La mediana de los índices espectrales de las fuentes extragalácticas detectadas es -0.65 (con una dispersión de 0.71), confirmando el steepening de estos objetos por encima de los 70 GHz [6].

Bibliografía

- [1] Planck Collaboration. 2015, arXiv:1502.01589v2.
- [2] D. Herranz, J. L. Sanz, M. P. Hobson, R. B. Barreiro, J. M. Diego, E. Martínez-González, A. N. Lasenby. 2002, MNRAS, 336:1057–1068.
- [3] L. F. Lanz, D. Herranz, J. L. Sanz, J. González-Nuevo, M. López-Caniego. 2010, MNRAS, 403:2120–2130.
- [4] L. F. Lanz, D. Herranz, M. López-Caniego, J. González-Nuevo, G. de Zotti, M. Massardi, J. L. Sanz. 2013, MNRAS, 428:3048–3057.
- [5] M. López-Caniego, J. González-Nuevo, D. Herranz, M. Massardi, J. L. Sanz, G. De Zotti, L. Toffolatti, F. Argüeso. 2007, ApJS, 170:108–125.
- [6] Planck Collaboration. 2011, A&A, 536:A13.

Estudios polarimétricos multi-longitud de onda de los jets relativistas en núcleos de galaxias activas

Autora: Carolina Casadio (casadio@iaa.es)

Tesis doctoral dirigida por: José Luis Gómez Fernández y Juan Iván Agudo Rodríguez

Centro: Universidad de Granada / Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC)

Fecha de lectura: 14 de Abril de 2016

Esta tesis está enfocada en el estudio de los jets relativistas en los núcleos de galaxias activas (AGN), producidos por la acreción de material por parte de un agujero negro supermasivo situado en el interior de estas galaxias. El objetivo principal de esta tesis es obtener un mejor conocimiento de la dinámica de los jets, del papel jugado por el campo magnético, y determinar cuáles son las regiones y los mecanismos de emisión involucrados en la producción de emisión a altas energías (rayos γ) observada en estas fuentes.

Hemos realizado estudios multi-frecuencia de la radio galaxia 3C120 y del *blazar* CTA102 en coincidencia con extraordinarios *flares* de rayos γ . El satélite *Fermi* de NASA ha registrado en septiembre-octubre 2012 un *flare* γ brillante en CTA102 y, entre diciembre de 2012 y octubre de 2014, actividad γ prolongada en 3C120. En ambos estudios, el análisis γ ha sido comparado con un estudio detallado de la morfología y evolución del *jet* a escala del *parsec* a través de una serie de imágenes interferométricas a muy alta resolución angular obtenidas con el *Very Long Baseline Array* (VLBA) a 43 GHz. Estas observaciones forman parte del *Boston University blazar monitoring program*, en el cual colabora nuestro grupo de investigación.

En el caso de 3C120, al fin de extender el estudio del *jet* en radio a un periodo más largo, hemos también recopilado datos VLBA a 15 GHz del programa MOJAVE (*Monitoring of Jet in Active Galactic Nuclei with VLBA Experiments*). Respecto al estudio de CTA102, las 80 imágenes analizadas a 43 GHz han sido comparadas con datos a lo largo de todo el espectro electromagnético, desde longitud de ondas milimétricas hasta gamma, cubriendo el periodo de observación desde junio de 2004 hasta junio de 2014.

Nuestros estudios multi-frecuencia de 3C120 y CTA102 han revelado características muy similares en ambas fuentes durante los *flares* en rayos γ , a pesar de que representan clases muy distintas de AGN. En particular, hemos encontrado que los *flares* γ están asociados con el paso de una nueva componente superlumínica a través del *mm-VLBI core*, correspondiente a la región más brillante desde donde se extiende el *jet*. No obstante, observamos que no todas las eyecciones de componentes producen emisión en γ . Hemos encontrado que la emisión en rayos γ se produce solamente cuando la nueva componente se mueve en una dirección cercana a nuestra línea de visión.

Hemos determinado que la zona de emisión γ se produce a una pequeña distancia desde el *core radio* y lejos de la *broad line region*, y por ello sugerimos el proceso de *scattering synchrotron self-Compton* como el mecanismo más probable de producción de fotones γ . Estos resultados han sido presentados en dos artículos (Casadio C. *et al.*, *ApJ*, 2015, 808, 162 y Casadio C. *et al.*, *ApJ*, 2015, 813, 51) que se incluyen en la tesis en su formato original.

La localización de la actividad γ cerca del *radio core* y lejos del agujero negro en ambas fuentes implica que necesitamos un mecanismo de aceleración de partículas *in situ*; esto lleva a considerar el *core* como un choque de recolimación. Por lo tanto, es importante entender la física de los choques de recolimación y cuáles podrían ser las evidencias observacionales relacionadas con estos choques.

A tal propósito hemos realizado estudios polarimétricos del *jet* en las radio galaxias 3C120 y M87 para estudiar la naturaleza de las regiones de emisión conocidas como C80 y HST-1 y localizadas a cientos de *parsec* del *core* del *jet*. En Agudo, Gómez, Casadio, *et al.*, *ApJ*, 2012, 752, 92, hemos analizados observaciones VLBA polarimétricas a 5, 8, 12 y 15 GHz del *jet* de 3C120 que han revelado que la componente estacionaria C80 corresponde al pico de emisión de una región mas alargada y extensa con forma de arco, detrás de la cuál salen otras componentes que luego viajan a lo largo del *jet*. La concordancia entre nuestras observaciones y las simulaciones numéricas nos lleva a concluir que C80 corresponde efectivamente a un choque de recolimación situado a 190 pc desde el *core*.

Curiosamente, en M87 y su peculiar estructura HST-1 encontramos una situación similar; en Giroletti *et al.*, 2012, *A&A*, 538, L10, hemos encontrado que HST-1 corresponde a una región de emisión extensa en la que nuevas componentes parecen originarse desde el extremo estacionario de HST-1. Estudios previos han sugerido que algunos eventos de emisión a altas energías observados en M87 tienen a HST-1 como origen. Sin embargo, nuestras nuevas observaciones con el VLBA y JVLBA de M87 confirman que, entre 2011 y 2013, HST-1 se encuentra en un estado de baja emisión que excluiría su implicación en el *flare* de alta energía observado en M87 en marzo 2012, como también puntualizamos en Hada *et al.*, 2014, *ApJ*, 788, 165.

En esta tesis hemos visto que, tanto en radio galaxias como en *blazars*, los *flares* en rayos γ , muchas veces con contrapartidas a otras frecuencia, están relacionados con la orientación del *jet* y con la interacción entre una onda de choque que viaja a lo largo del *jet* y un choque estacionario (el *core*). Hemos observado también que estos choques de recolimación están presentes en muchos AGN y que probablemente, como predicen las simulaciones numéricas, además del *core* los podemos encontrar a lo largo del *jet*, como hemos visto en las radio galaxias M87 y 3C120.

Puesta de sol en Paranal vista desde Cerro Armazones y rayo verde.
Al contraluz, las unidades del VLT de ESO.
Créditos: ESO/S. Guisard.



**Sociedad Española
de Astronomía**

Universidad de Barcelona,
Facultad de Física
Av. Martí Franquès, 1
Barcelona 08028

Tfno: +34 91 394 5249
Fax: +34 91 394 5051