

Portada: Agujero negro en el centro de M87. Imagen a partir de los datos del Event Horizon Telescope (EHT). El diámetro del anillo es de unos 42 microsegundos de arco. Créditos: Event Horizon Telescope consortium.

Comité editorial:

Manuel Collados Nuria Huélamo José María Diego Marc Ribó Adriana de Lorenzo-Cáceres Rodríguez Fernando J. Ballesteros Roselló Amelia Ortiz Gil

Maquetación:

Fernando J. Ballesteros Roselló

Sociedad Española de Astronomía SEA www.sea-astronomia.es Comisión de Información comi-info@sea.am.ub.es

CONTENIDOS

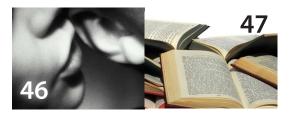














- 5 Editorial
- 6 En el confín del espaciotiempo: la primera imagen de un agujero negro
- 12 El Programa Científico de la ESA y la Conferencia Ministerial de 2019
- 16 La misión Bepi Colombo
- 24 Puesta en marcha del primer Large Size Telescope de CTA
- 28 Cultura con C de Cosmos
- 34 TESS el cazador de planetas
- 40 Coffee Break: Señal y Ruido
- 42 Concurso de dibujo para escolares con el tema 'Mujer y Astronomía'
- 46 Ecos de (la) Sociedad
- 47 Libros
- 48 Tesis doctorales





Llega el verano y con él nuestro Boletín.

El pasado 10 de abril todos fuimos sorprendidos con el impresionante anuncio de que se había obtenido la primera imagen del agujero negro del núcleo de la radiogalaxia M87. La colaboración internacional, en la que la que hay que destacar la contribución española, ha sido fundamental para alcanzar este logro científico. Enhorabuena a todo el equipo que ha participado en este éxito. Nuestros compañeros Eduardo Ros, Antxon Alberdi, José Luis Gómez e Iván Martí nos describen en un fascinante artículo los entresijos de este descubrimiento.

Enric Pallé nos informa sobre la misión espacial TESS, que fue lanzada en abril de 2018 con el objetivo principal de encontrar planetas en torno a las estrellas más cercanas y más brillantes de la vecindad solar. Tras nueve meses de operación, los datos de los primeros 8 sectores TESS están disponibles para la comunidad.

Luisa Lara nos describe la misión Bepi Colombo, cuyo lanzamiento tuvo lugar en octubre de 2018, y nos adentra en los misterios que rodean a Mercurio y las dificultades que entraña una misión al planeta más interno de nuestro Sistema Solar.

Complementando estos recientes lanzamientos, Pilar Román nos informa del programa científico de la ESA y de la Conferencia Ministerial de 2019, denominada SPACE19+, que se celebrará en Sevilla los próximos 27 y 28 de noviembre.

El primer telescopio de gran tamaño del observatorio Cherenkov Telescope Array (CTA), denominado Large Size Telescope (LST), se encuentra en fase de puesta en funcionamiento en el observatorio del Roque de los Muchachos. Oscar Blanch y Carlos Delgado nos reseñan el estado actual del LST y los procesos de validación que se han realizado.

Muchos conocéis el podcast "Coffee Break: Señal y Ruido (CB:SyR)", con sus ya cuatro años de vida. Sus emisiones semanales representan un acercamiento a diversos aspectos científicos de gran interés para nuestra comunidad y para el público en general. Héctor Socas nos da detalles muy interesantes sobre esta forma tan novedosa de presentarnos la ciencia.

Montse Villar nos presenta lo que ha sido el proyecto *Cultura con C de Cosmos* (C³), que ha tenido como objetivo global divulgar la astronomía a través de las colecciones e iniciativas de numerosas entidades culturales situadas en Madrid.

En esta misma línea, Mercedes Molla nos describe el éxito que ha supuesto el concurso de dibujo para escolares convocado por nuestra Sociedad.

El Boletín se complementa con las habituales secciones Ecos de Sociedad (preparada por Amelia Ortiz), Tesis Doctorales (recopilada por Adriana de Lorenzo-Cáceres) y la siempre interesante recomendación de un libro que nos trae Enric Marco.

Los miembros del Comité Editorial estamos convencidos de que disfrutaréis con los contenidos de este Boletín.

Imagen del Cúmulo de Virgo, destacando la galaxia M87 (la gran elíptica que domina el centro de la imagen) donde reside el agujero negro visto por el EHT. Primera luz del astrógrafo Skywalker del OAO. Créditos: Observatori Astronòmic de la Universitat de València / Vicent Peris,

Manuel Collados Instituto de Astrofísica de Canarias Universidad de La Laguna

EN EL CONFÍN DEL ESPACIOTIEMPO:

En 1918, Heber Curtis observó una de las nebulosas catalogadas por Messier unos años antes, y en la número 87 del catálogo apreció lo que se veía como "una notable estructura de forma alargada" (Curtis, Pub. Lick Obs 13, 9, 1918). Esta galaxia, uno de los objetos más notables del cúmulo de Virgo, a 55 millones de años luz, nos mostró el primer chorro o "jet" conocido en la historia de la astronomía.









Eduardo Ros Ibarra Max-Planck-Institut für Radioastronomie eros@mpifr-bonn.mpg.de

Antxon Alberdi Odriozola Instituto de Astrofísica de Andalucía antxon@iaa.es

José Luis Gómez Fernández Instituto de Astrofísica de Andalucía ¡Igomez@iaa.es

Iván Martí Vidal Observatori Astronòmic, Universitat de València i.marti-vidal@uv.es

La galaxia Messier 87, cien años resolviendo misterios

Precisamente un jet es la forma en que la naturaleza es capaz de expulsar un fluido de una región muy densa con un ángulo sólido muy pequeño. En el caso de las galaxias activas, este jet está compuesto de plasma acelerado a velocidades relativistas.

La galaxia M 87, conocida en radioastronomía como 3C 274 o Virgo A y en el rango visible como NGC 4486, es uno de los objetos extragalácticos más destacados del cielo, estemos observando en el rango de rayos X, en el visible, rayos gamma o en radio frecuencia (descubrimiento por Bolton, Stanley & Slee, Nature 164, 101, 1949). Precisamente en ondas de radio, M 87 muestra un jet poderosísimo orientado hacia el noroeste, envuelto en un halo de emisión a longitudes de onda centimétricas y a escalas de miles de años luz. El uso de radiointerferómetros ha ido accediendo a las regiones más internas de este jet, tanto incrementando la resolución con líneas de base más y más largas hasta ocupar el diámetro terrestre o incluso con antenas en el espacio (VSOP o RadioAstron), como reduciendo la longitud de onda hasta acercarse al rango milimétrico.

Los descubrimientos en esta galaxia se han ido sucediendo a medida que se disponía de más recursos técnicos para observar: emisión en rayos X ya en los años 1960, y en radiofrecuencia, el desarrollo de la radiointerferometría intercontinental milimétrica (VLBI por sus siglas en inglés) permitió ver la apertura del jet a 7 mm en los años 1990 (Junor & Biretta, Nature). En esta galaxia se ha podido comprobar el efecto de opacidad producido por la radiación sincrotrón (Hada et al. Nature 477, 185, 2011), que había sido descubierto por Marcaide & Shapiro (ApJ, 276, 56, 1984), y gracias a las observaciones del Global mm-VLBI Array a 3 mm, incluyendo datos de los telescopios en Pico Veleta y Yebes, se ha podido determinar la región de colimación y aceleración del jet relativista que surge del agujero negro central (Kim et al. A&A 616, A188, 2018).

Los datos del GMVA abren el camino definitivo a una vuelta más de tuerca: pasar a la longitud de onda de 1.3 mm, que requiere un esfuerzo adicional, para acceder a la región del agujero negro supermasivo, cuyo horizonte de sucesos se esperaba de un tamaño de varios microsegundos de arco, de manera que la

LA PRIMERA IMAGEN DE UN AGUJERO NEGRO

Entrada en la tabla publicada por Curtis (1918) en que se da cuenta del jet ("a curious straight ray (...) apparently connected with the nucleus by a thin line of matter") en la galaxia NGC 4486 (Messier 87).

4486 12 25.8 +12 57

Exceedingly bright; the sharp nucleus shows well in 5^m exposure. The brighter central portion is about 0.5 in diameter, and the total diameter about 2'; nearly round. No spiral structure is discernible. A curious straight ray lies in a gap in the nebulosity in p.a. 20°, apparently connected with the nucleus by a thin line of matter. The ray is brightest at its inner end, which is 11" from the nucleus. 20 s.n.

sombra o la silueta de la nube de gas fuera accesible a las resoluciones de la red de VLBI a esta nueva longitud de onda. Para ello se ha puesto en marcha el Event Horizon Telescope, como mostramos a continuación.

El Event Horizon Telescope: cómo construir un instrumento capaz de llegar al horizonte de sucesos

La resolución espacial de la imagen del núcleo de M 87 (que podemos etiquetar como M 87*) obtenida por el Event Horizon Telescope (EHT) es de poco más de 20 microsegundos de arco. A una frecuencia de observación de 230 GHz, el límite de difracción impone al EHT una apertura óptica efectiva (o sea, un tamaño mínimo de la pupila de entrada) del orden de 10000

kilómetros. La única forma posible de conseguir aperturas ópticas tan grandes es mediante la técnica llamada "Síntesis de Apertura", aplicada a la Interferometría de Muy Larga Base (VLBI, por sus siglas en inglés).

Un interferómetro VLBI toma muestras del frente de ondas de la fuente, a partir de la medida de interferencias entre radiotelescopios distribuidos por la superficie terrestre. Estas interferencias se calculan con la ayuda de supercomputadoras (correladores) que aplican un modelo extraordinariamente preciso (de unos pocos milímetros de error) de la forma y movimiento de la superficie terrestre. Posteriormente, estas muestras del frente de ondas son

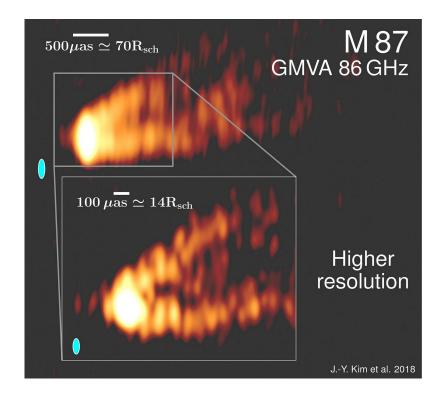


Ilustración 1: La región central del jet en la galaxia M 87, observada con el Global mm-VLBI Array a una longitud de onda de 3 mm, en la que se muestra la zona de nacimiento del jet relativista observado a otras frecuencias. Portada de la revista Astronomy & Astrophysics en agosto de 2018,, basada en las imágenes de de J.Y. Kim et al., A&A 616, A188 (2018). Los datos de 3 mm son fundamentales para entender la emisión extensa y la imagen de la zona central, observada por el Event Horizon Telescope y presentada en la Ilustración 2.

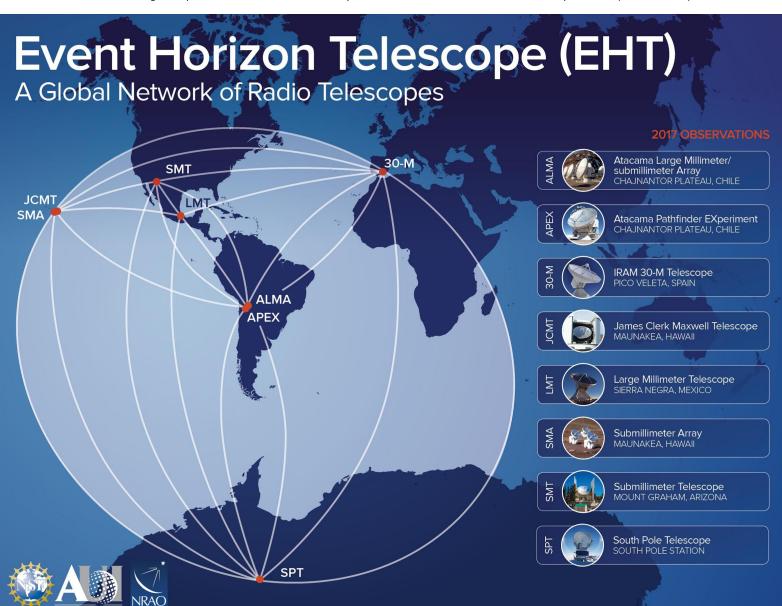
Número 40, Verano 2019

debidamente calibradas y traducidas en una imagen, mediante la aplicación de técnicas de Fourier y algoritmos de deconvolución. Es ahí donde la técnica de VLBI se consuma y la apertura de tamaño planetario es finalmente sintetizada, al eliminarse la respuesta instrumental (debida al cubrimiento incompleto de la pupila de entrada) de la imagen final.

La apertura óptica del EHT en las observaciones de M 87* se ha sintetizado a partir de las interferencias medidas entre siete antenas. Si bien la campaña de observaciones de 2017 consta de ocho estaciones (ver Figura 2), una de ellas (el Telescopio del

Polo Sur, SPT), no participó en las observaciones de M 87*, por estar la fuente en el hemisferio norte celeste, pero fue clave para calibrar los datos, puesto que observó otras radiofuentes en la misma campaña de observaciones. Los telescopios del EHT que observaron M 87* fueron dos en Hawái (el Telescopio Submilimétrico, SMT, y el James Clerk Maxwell, JCMT); dos más en el desierto chileno de Atacama (el Gran Telescopio Milimétrico de Atacama, ALMA, y su Experimento Pathfinder, APEX), uno en México (el Gran Telescopio Milimétrico, LMT); otro en Arizona (SMT) y, finalmente, el telescopio del Instituto de Radioastronomía Milimétrica (IRAM) situado en Sierra Nevada (Granada), que resultó ser el único en toda

Ilustración 2: Diagrama que muestra la red de radiotelescopios utilizados en las observaciones de 2017 por el EHT (crédito: NRAO).



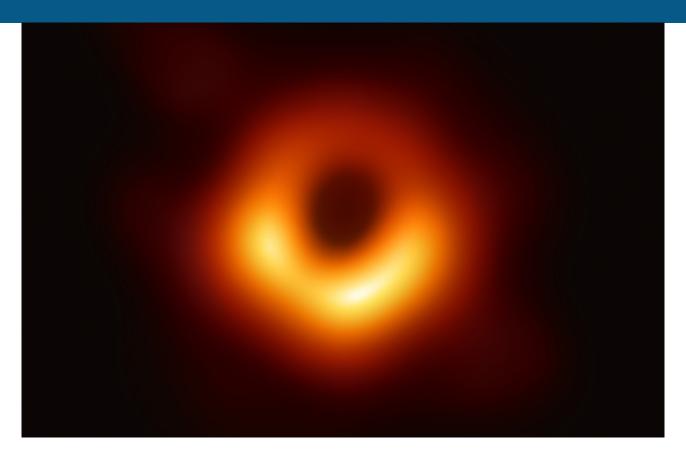


Ilustración 3: Imagen obtenida por el Event Horizon Telescope del núcleo de la radiogalaxia M 87 a una longitud de onda de 1.3 mm, correspondiente a observaciones realizadas en abril de 2017 y presentadas el pasado 10 de abril de 2019 (EHT Collaboration, ApJ 875, L1). La fuente muestra una morfología en forma de anillo, con un diámero de 42 microsegundos de arco y un reforzamiento de brillo en la región meridional.

Europa que pudo participar en estas observaciones. Tanto APEX como ALMA cuentan con participación europea (100% y 40%, respectivamente). Nótese que ALMA hubo de reprogramarse para que sus varias decenas de antenas pudiesen participar en las observaciones como un único telescopio y en el mismo modo de observación que el resto.

La primera imagen de un agujero negro

Tras superar los numerosos retos técnicos que condujeron a la puesta en marcha del EHT y la obtención de las visibilidades interferométricas y su posterior calibración teniendo en cuenta la influencia de la troposfera, llegaba el momento del cartografiado de los datos interferométricos.

El proceso de reconstrucción de la imagen no es sencillo: por un lado, el tiempo de coherencia es muy corto a longitudes de onda milimétricas; por otro lado, el cubrimiento del plano interferométrico es limitado, por lo que se muestrean tan solo estructuras de

ciertos tamaños angulares (entre 25 y 160 microsegundos de arco). Además, las visibilidades obtenidas han perdido la calibración de la fase interferométrica y las incertidumbres en la amplitud pueden llegar a ser muy grandes. Todo ello obliga a introducir en el proceso de obtención de la imagen ciertos criterios "a priori", como son el hecho de que la distribución de brillo es positiva y no varía de forma abrupta.

En el proceso de reconstrucción se han utilizado diferentes algoritmos. En primer lugar, el algoritmo "CLEAN" que es el utilizado más habitualmente en radiointerferometría, que permite la deconvolución de la imagen real de la fuente de la respuesta del interferómetro, asumiendo además que la distribución de brillo puede descomponerse en un número de componentes puntuales. Adicionalmente, se han desarrollado dos paquetes de reconstrucción -denominados eht-imaging y SMILI- basados en métodos de máxima similitud entre los datos y la imagen obtenida, que son técnicas que se utilizan habitualmente

Número 40, Verano 2019

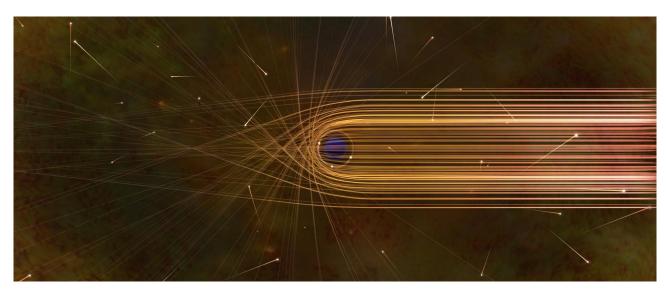


Ilustración 4: Representación artística que muestra las trayectorias de los fotones que se encuentran en las proximidades de un agujero negro. La flexión gravitacional y la captura de luz por parte del horizonte de sucesos generan la sombra captada por el EHT. Crédito: Nicolle R. Fuller/NSF

en la interferometría en el infrarrojo cercano. Dado que todos los algoritmos dependen de un conjunto de parámetros libres que pueden alterar significativamente el resultado final, se han reconstruido varios miles de imágenes que cubren todo el espacio de parámetros. Las mejores imágenes finales obtenidas por los tres métodos son muy similares, con un grado de correlación del 95% entre todas ellas, lo que subraya la solidez del resultado obtenido. Esta solidez del resultado se confirma también por el hecho de que las cuatro imágenes obtenidas en observaciones independientes en los días 5, 6, 10 y 11 de abril son muy similares.

La imagen final de la región nuclear de M 87 obtenida con el EHT (véase la figura 3) muestra un anillo de emisión, más brillante hacia el sur, que rodea a una región central más oscura, que correspondería a la sombra del agujero negro producida por la captura de los fotones en el horizonte de sucesos. El anillo de luz se debe a los fotones atrapados en una órbita en torno al agujero negro, debido a la enorme curvatura del espacio-tiempo en la vecindad del agujero negro supermasivo (ver figura 4). Analizando la imagen se ha podido determinar que el anillo de emisión es muy circular, tiene un radio de $42\pm3~\mu as~y~su~zona~interna~tiene~un~brillo~al~menos~10~veces~inferior~al~$

del anillo. Todos estos resultados son consistentes con lo que se espera de un agujero negro de Kerr en rotación. Como el tamaño de un agujero negro es proporcional a su masa, cuanto más masivo es el agujero negro, más grande es su sombra. Gracias a su gigantesca masa y relativa proximidad, se estimó que el agujero negro en Messier 87 (M87) es uno de los más grandes que podemos observar desde la Tierra, convirtiéndolo en un objetivo perfecto para el EHT. El borde del agujero negro -el horizonte de sucesos del cual el EHT toma su nombre- tiene un tamaño algo menor de 40.000 millones de kilómetros (unas 260 Unidades Astronómicas).

Un agujero negro supermasivo en rotación

Los agujeros negros son unos de los objetos más extraordinarios del Universo, pero a la vez son también los más simples, puesto que su estructura depende únicamente de la masa, rotación (spin), y carga eléctrica. El tamaño aparente en el cielo de la sombra del agujero negro viene por tanto determinado únicamente por su masa y distancia, pero la emisión que envuelve al agujero depende en gran medida de cómo el material se concentra en el disco de acrecimiento en torno al agujero negro, y en particular de su nivel de magnetización.

Para estudiar esto se ha construido la mayor biblioteca de simulaciones numéricas magnetohidrodinámicas relativistas de agujeros negros y sus discos de acrecimiento obtenida hasta la fecha. Estas simulaciones nos han permitido determinar que, aunque existen múltiples modelos consistentes con las observaciones de M 87 con distintos valores para la rotación del agujero negro y el nivel de magnetización del disco de acrecimiento, únicamente aquellos modelos en los que el agujero negro en M 87 está en rotación (agujero negro de Kerr) son capaces de generar el potente jet observado desde hace más de un siglo en este objeto. Además, hemos podido determinar que el vector de rotación del agujero negro debe apuntar en la dirección opuesta a la visual, con el material en el disco de acrecimiento rotando en el sentido de las agujas del reloj. Esto explica por qué la zona sur del anillo de emisión es más brillante, dado que el material viaja en una dirección más cercana a la visual y su emisión se ve por tanto reforzada por el efecto Doppler relativista.

Las simulaciones también nos han permitido determinar cómo influye la emisión del disco de acrecimiento en la determinación de la masa del agujero negro en M 87, haciendo posible obtener una estimación de la masa del agujero negro con una gran precisión: $6.5\pm0.7\times10^9$ veces la masa del Sol. Esta medida concuerda con la estimación previa obtenida a través del estudio de la dispersión de velocidades estelares, lo que nos permite establecer que la sombra del agujero negro observada en M 87 por el EHT es consistente con las predicciones de la Teoría de la Relatividad para un agujero negro de Kerr.

Estos resultados muestran la relevancia de la imagen histórica del agujero negro en M 87, que visualmente nos ha permitido confirmar la Teoría de la Relatividad en regiones de campo gravitatorio extremo, determinar la masa del agujero negro, y confirmar que los agujeros negros supermasivos son los responsables de generar los potentes jets observados en las galaxias activas.

Una nueva ventana a los cielos: qué cabe esperar

Los primeros resultados con el EHT abren una nueva ventana al universo. Los telescopios que observaron en 2017 y 2018 no sólo apuntaron a M 87, también lo hicieron a la fuente en el agujero central de la Vía Láctea,

conocida en radioastronomía como Sagitario A* (Sgr A*), y otros cuásares y radiogalaxias como OJ 287 (fuente en la que se sospecha un agujero negro doble central), Centauro A, 3C 279, etc. En el caso de Sgr A* la primera imagen podría resultar en la primera película, puesto que este objeto muestra variaciones de brillo en escalas temporales de minutos, y se observó durante varias horas en varios días distintos. Para las próximas observaciones en 2020 se prevé que nuevos telescopios se incorporen a la red, en Groenlandia (Green Land Telescope), los Alpes franceses (NOEMA, de IRAM), o Arizona (Kitt Peak).

La ventana abierta al universo por esta nueva red de radiotelescopios operando a una longitud de onda de 1.3 mm permitirá avanzar en el estudio de la conexión entre el anillo de luz y el chorro relativista que emana del agujero negro central en el caso de M 87; el papel que desempeña el campo magnético tanto en el acrecimiento de materia hacia el agujero negro como en la formación, colimación y aceleración de los chorros; el origen de los chorros relativistas, asociados con el agujero negro, el disco de acrecimiento o ambos; las propiedades físicas del agujero negro (tasa de acrecimiento, rotación del agujero negro); descubrir si hay desviaciones en los resultados con respecto a un agujero negro de Kerr, etc. En el caso de Sgr A*, si la fuente tiene un jet frustrado y cuál es el papel de la dispersión en su emisión, y para los otros cuásares y radiogalaxias, los últimos detalles de sus chorros relativistas y del papel de los campos magnéticos en estos. En definitiva, muchas preguntas por resolver y un instrumento único que ayudará a proporcionar las respuestas. Un futuro apasionante.

Los siguientes científicos españoles han participado en la publicación de los resultados el pasado mes de abril y/o son miembros de la colaboración del EHT, en orden alfabético:

Antxon Alberdi, Juan Carlos Algaba, Rebecca Azulay, Raquel Fraga-Encinas, Roberto García, José Luis Gómez, Rubén Herrero-Illana, Iván Martí-Vidal, Santiago Navarro, Juan Peñalver, Eduardo Ros, Ignacio Ruiz, Salvador Sánchez, Miguel Sánchez-Portal y Pablo Torné.

EL PROGRAMA CIENTÍFICO DE LA ESA

Hablar del Programa Científico de la ESA es hablar de investigación y de avance en el conocimiento del espacio.

Con su amplia cartera de misiones, tanto en astronomía como en el Sistema Solar, es un Programa hecho por y para la comunidad científica europea ya que las misiones que desarrolla son propuestas por los grupos investigadores y seleccionadas, siguiendo procedimientos competitivos, por comités asesores compuestos por científicos europeos especialistas en los temas presentados.

Entre los éxitos recientes del Programa cabe citar Rosetta, que por primera vez en la historia consiguió depositar un módulo sobre la superficie de un cometa (el 67P/Churyumov-Gerasimenko), o Gaia que está realizando el mapa más completo y preciso de la vía láctea a través de la observación de más de mil millones de estrellas. Sin olvidar a BepiColombo, lanzado en 2018, y que se encuentra viajando hacia Mercurio para estudiar en profundidad las características del planeta más cercano al Sol.

Además, trabaja en sus próximos objetivos como es la astronomía de ondas gravitacionales con la misión LISA, el estudio de la energía oscura con Euclid o el avance en el campo de los exoplanetas, a través de las misiones CHEOPS, PLATO y ARIEL.

El Programa Científico es un programa obligatorio de la ESA, es decir, cada Estado Miembro tiene que participar en él y contribuir a su financiación de manera proporcional a su PIB. En la actualidad cuenta con un presupuesto cercano a los 520 millones de euros anuales y España es el quinto país inversor, con una cuota del 7%, después de Alemania, Francia, Reino Unido e Italia.

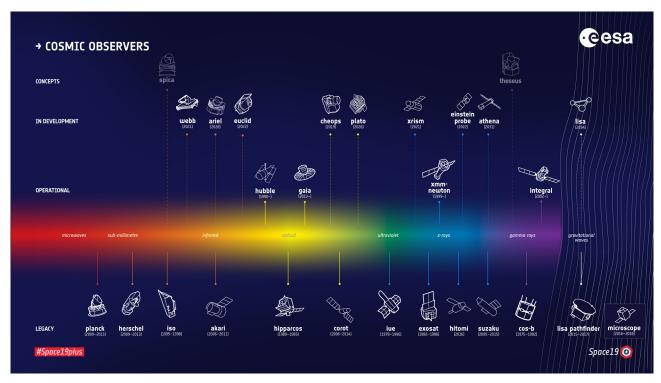
Derivado de su carácter obligatorio, el Programa goza de una gran estabilidad y se define como uno de los pilares de la ESA. El resto de los Programas poseen una naturaleza opcional, de manera que los países deciden su participación de forma voluntaria y en la cuantía que consideren adecuada en función de sus intereses industriales y científicos.

El Programa Científico se articula a través de tres tipos de misiones: Large, son las misiones principales y más ambiciosas del Programa, lideradas por la ESA y con una cadencia media de un lanzamiento cada diez años; Medium, lideradas por la ESA o en colaboración con socios internacionales, proporcionan flexibilidad y se aspira a lanzar dos misiones por decenio; Fast, nuevo concepto, aún por consolidar, para misiones de pequeño tamaño y con menor tiempo de desarrollo que las anteriores; su frecuencia está prevista en un lanzamiento cada ocho años. Además se posibilita la colaboración en misiones lideradas por otras agencias espaciales con las Missions of Opportunity, pensadas para que la comunidad científica europea aproveche oportunidades surgidas en proyectos externos a la ESA.



Pilar Román Delegada de España en el Programa Científico de la ESA mariadelpilar.roman@cdti.es

Y LA CONFERENCIA MINISTERIAL DE 2019



Misiones de astronomía en el Programa Científico. Crédito: ESA.

La mayoría de las misiones llevan asociados retos tecnológicos y avances científicos que luego se transfieren a otros campos de aplicación. Debido a esa complejidad no es sorprendente que algunos de los proyectos requieran más financiación y tiempo que el inicialmente previsto y a la vez, van erosionando los fondos disponibles. De hecho, el Programa ha experimentado en los últimos años una pérdida de su poder adquisitivo que pone en riesgo la capacidad de la ESA para mantener una masa crítica en la comunidad científica e industrial europea y su nivel de liderazgo en la esfera internacional.

Por ello, el presente año tiene una especial importancia para el Programa Científico. En él se va a celebrar la Conferencia Ministerial de la ESA, denominada SPACE19+, en la que se pretende conseguir un aumento de su presupuesto para abordar nuevos retos y misiones. Las Conferencias Ministeriales tienen lugar cada tres años y en ellas se deciden los nuevos programas y presupuestos que deberá ejecutar la ESA en los próximos años.

Además, SPACE19+ se celebrará en España, en concreto en Sevilla durante el 27 y 28 de noviembre, lo que supone un gran protagonismo para nuestro

país. En su organización, tanto la ESA como la delegación española, desde el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), están desplegando una gran actividad para conseguir que sea un éxito.

La Conferencia Ministerial estará presidida por el Ministro de Ciencia, Innovación y Universidades; desde su Ministerio se ha impulsado recientemente la aprobación por nuestro Consejo de Ministros de un aumento de 700 millones de euros para la participación española en los nuevos programas espaciales de la ESA, entre los que se encuentra el Programa Científico.

En concreto, el Director del Programa, Günther Hassinger, presentará en SPACE19+ una propuesta basada en las siguientes líneas:

Misiones Athena y LISA. Se plantea la explotación científica conjunta de Athena (observatorio de rayos-x) y LISA (observatorio de ondas gravitacionales) para aprovechar sus sinergias y en particular, tratar de entender el impacto de los agujeros negros en la evolución del Universo. Implementar en paralelo estas ambiciosas misiones supone un riesgo para el

Programa ya que puede exceder a su capacidad, por lo que se requiere una planificación por fases y aumento de recursos así como un apoyo al desarrollo de la carga útil a cargo de los Estados Miembros.

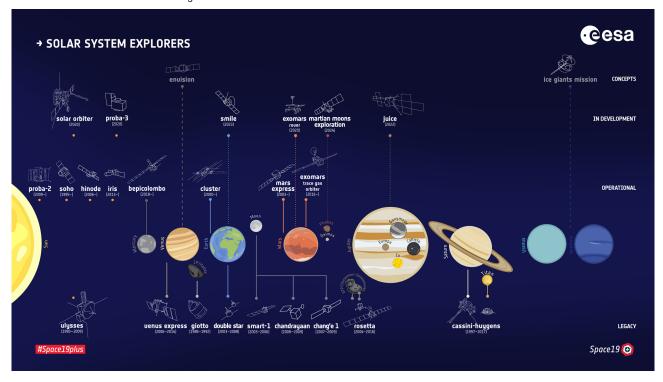
Misión a Urano y Neptuno. Se propone una nueva misión para estudiar Urano y Neptuno (los gigantes helados) y aprovechar las condiciones de la mecánica celeste que permitirían llegar a ambos destinos en un tiempo de crucero óptimo. Se realizaría en colaboración con la NASA y permitiría estudiar los planetas menos explorados del Sistema Solar para profundizar en su conocimiento así como en la en la evolución de otros sistemas estelares. La ESA y la NASA están llevando a cabo estudios conjuntos para identificar posibles escenarios para la misión.

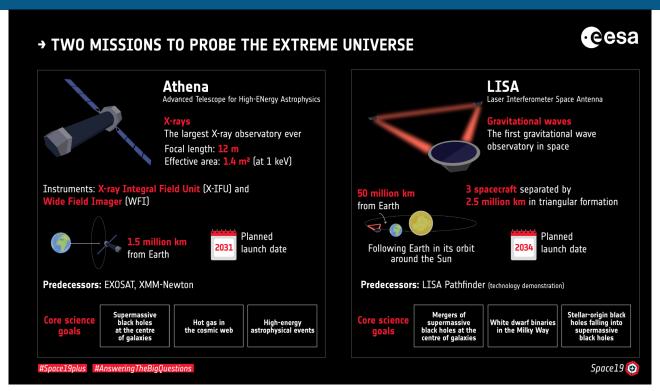
Cargas útiles científicas. Las misiones del Programa científico se implementan en cooperación entre la ESA y sus Estados Miembros, de manera que la Agencia es responsable del desarrollo de los satélites, su lanzamiento y operación mientras que los instrumentos científicos (carga útil) se aportan como contribución en especie por consorcios científicos europeos y se financian por los respectivos países; en el caso de España, a través del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación de la Agencia Estatal

de Investigación. Para estar en la vanguardia de la ciencia espacial, la carga útil suele requerir desarrollos tecnológicos en el estado del arte que conllevan otra serie de retos asociados, como es la financiación y gestión de consorcios científicos complejos. La ESA propone tener un papel más activo, sobre todo en la fase de definición de los instrumentos, para apoyar a los consorcios científicos y limitar, en la medida de lo posible, los problemas que surgen en su desarrollo. Para ello, y siempre en colaboración con sus Estados Miembros, ha elaborado una serie de medidas que pondrá en marcha si se obtiene el respaldo necesario en la Conferencia Ministerial.

Misiones Fast. Se pretende consolidar la línea de misiones *Fast* para la puesta en marcha de misiones de pequeño tamaño, con un presupuesto de 150 millones de euros y un ciclo de desarrollo inferior a 8 años. El objetivo es crear nuevas oportunidades en el Programa, tener una mejor capacidad de respuesta ante temas novedosos y atraer a nuevas comunidades científicas. Esta línea de misiones también permitirá una mayor implicación y posibilidades de liderazgo de los países pequeños y medianos, como es el caso de España, y la participación de los Estados Miembros más recientes. Un aspecto muy interesante de las misiones *Fast* es que su puesta en órbita se hará aprovechando

Misiones del Sistema Solar en el Programa Científico. Crédito: ESA.





Misiones Athena y LISA. Crédito: ESA — S. Poletti.

el lanzamiento de la misiones *Medium* para utilizar la capacidad adicional del futuro lanzador Ariane 62. De esta manera, se minimizará el fuerte impacto que supone el coste del lanzamiento sobre las misiones pequeñas.

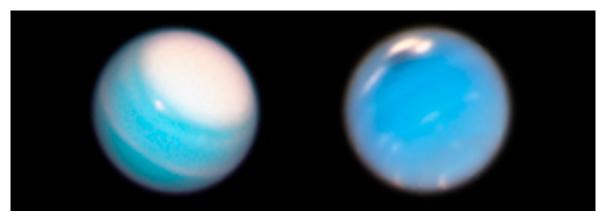
La delegación española apoya íntegramente la propuesta del Director del Programa con el convencimiento de que las inversiones en el Programa Científico de la ESA fortalecen a Europa en su papel de líder y socio estratégico para el resto de agencias internacionales, conllevan desarrollos científicos y tecnológicos de primer nivel que contribuyen al progreso social y económico y sirven de inspiración a las jóvenes generaciones.

Con mayor intensidad se respalda la propuesta correspondiente a las misiones Fast ya que en comparación con el resto de misiones del Programa (Large, Medium), las Fast están mejor dimensionadas a nuestras capacidades científicas e industriales; además, brindan una oportunidad de liderazgo o de mayor responsabilidad para la participación española en el Programa que, tanto por tamaño como por competencia y experiencia, nuestro país debe aprovechar.

NOTA

• http://blogs.esa.int/space19plus

Imágenes de Urano (izquierda) y Neptuno (derecha) tomadas por el Hubble. Créditos: NASA, ESA, A. Simon (NASA Goddard Space Flight Center), y M.H. Wong y A. Hsu (University of California, Berkeley).



LA MISIÓN BEPI COLOMBO

Salir al espacio es un viaje de largo recorrido, no solo en el espacio (lógicamente) sino también en el tiempo.

Hay que remontarse al 30 de Septiembre del 1999 para saber que en la semana del 20 al 23 de ese mes, el Comité del Programa de Ciencia de la Agencia Espacial Europea reconoció los logros del difunto Giuseppe Colombo de la Universidad de Padua al adoptar su nombre para el proyecto *Mercury* que se estaba planeando hace 20 años.

En aquel momento, casi todo lo que se sabía Mercurio provenía de tres sobrevuelos de las naves Mariner 10 de la NASA en 1974/75, que se inspiraron en los cálculos de Giuseppe (Bepi) Colombo. Él sugirió cómo poner esa nave espacial en una órbita tal que permitiría hacer varios pasos por el planeta más cercano al Sol. Giuseppe también explicó entonces cómo una resonancia insospechada hacía que Mercurio rotara tres veces sobre sí mismo en cada dos revoluciones del Sol.

La misión a Mercurio, ahora llamada Bepi Colombo, así por el Prof. Colombo, se alzó como uno de los "pilares" del programa científico de la ESA. En el curso de la revisión completa del programa Horizon 2000+ en el 1994, los planetólogos europeos identificaron este proyecto espacial como uno de los proyectos planetarios a largo plazo más desafiantes. Mercurio es el planeta menos conocido de los planetas interiores. Su órbita cerca del Sol hace que sea difícil de observar desde la distancia y difícil de alcanzar mediante naves espaciales. Como resultado, las grandes preguntas planteadas por los vuelos de Mariner 10 en los años 70 del siglo plasado, aún seguían sin respuesta en los albores del siglo XXI.

Roger Bonnet, por aquel entonces Director del Programa Científico de la ESA dijo "... Bepi fue un gran científico, un gran europeo y un gran amigo; no podríamos hacer nada mejor que nombrar una de nuestras misiones más desafiantes e imaginativas como Bepi Colombo".

Giuseppe (Bepi) Colombo (1920-1984) fue un matemático e ingeniero de asombrosa imaginación, cuya cabeza calva y bigote gris –ver figura- eran familiares en los corredores de la ESA y de la NASA. Además de su trabajo sobre Mercurio, Bepi Colombo inventó las correas (tethers) para enlazar satélites. Como uno de los iniciadores de la misión de la ESA al cometa Halley, sugirió su nombre, Giotto (pintor cuyos frescos más significativos se hallan en la Cappella degli Scrovegni en Padua, dónde él daba clases, y en la Adoración de los Magos se ve un cometa pintado -ver figura-), pero murió antes de que se lanzara la misión Giotto al cometa 1P/Halley.

Los científicos no pueden afirmar que comprenden completamente el origen y la historia de la Tierra



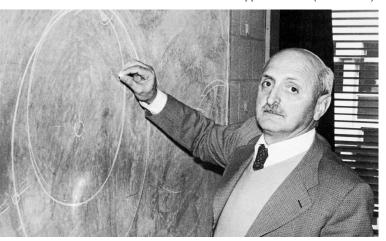


Luisa Lara

José M. Castro josemaria.castro@csic.es

Instituto de Astrofísica de Andalucía

Giuseppe Colombo (1920-1984).





La Adoración de los Reyes Magos, de Giotto di Bondone (1267-1337).

hasta que puedan entender a Mercurio. ¿Por qué el planeta es sorprendentemente denso? ¿De dónde viene su campo magnético? ¿Cuáles fueron los efectos de las colisiones masivas sufridas por Mercurio, aparentes en zonas destrozadas vistas por Mariner 10? ¿Es mercurio geológicamente activo? ¿Cómo afecta su proximidad al Sol su superficie, su atmósfera tenue y la pequeña burbuja magnética, o magnetosfera, que lo rodea? Bepi Colombo buscará las respuestas a estas y otras preguntas con tres conjuntos separados de instrumentos científicos.

Remontándonos a 1999, el concepto de misión difería en algo al que finalmente se ha materializado y lanzado hacia Mercurio en Octubre del año pasado. En abril del 1999, se pensaba tener un orbitador planetario examinando el planeta desde una órbita polar, llevaría media docena de otros instrumentos de teledetección remota. El orbitador magnetosférico sería más pequeño y observaría el campo magnético de Mercurio y sus interacciones con el viento solar. También, hace 20 años se contemplaba un elemento más: un modulo lanzado por el orbitador planetario que aterrizaría cerca de uno de los polos del planeta, donde la temperatura es más suave. Este modulo de aterrizaje también tendría instrumentos científicos: una cámara, un sismómetro, un detector de elementos químicos y un paquete para evaluar la temperatura, la capacidad térmica, la densidad y la dureza del "suelo" de Mercurio. La supervivencia y funcionamiento de este modulo sería de al menos menos una semana v los dos orbitadores durante unos 12 meses. Si nos abstraemos un poco de la temática del artículo (Mercurio y Bepi Colombo), nos damos cuenta rápidamente que este modulo de aterrizaje se materializó años después en Philae a bordo de la misión Rosetta (ESA).

Cuando la ESA comenzó a contemplar una misión a Mercurio (mucho antes que en el 1999), la navegación era tal que el viaje desde la Tierra hasta el planeta fuese de tan sólo 4 años, con una serie compleja de maniobras alrededor de Venus y Mercurio diseñadas para llevar la nave espacial a una órbita similar a que tiene Mercurio alrededor del Sol. En 1999, el concepto de misión que se aprobó reducía el viaje de Bepi Colombo a tan solo dos años y medio con la ayuda de un módulo de propulsión solar-eléctrico, que ex-

pulsa iones de xenón pesados a alta velocidad para proporcionar una aceleración pequeña pero continua durante muchos meses. Los impulsos gravitatorios de Venus y Mercurio seguían siendo parte del perfil de la misión, y un módulo de propulsión química pondría finalmente la nave espacial principal de Bepi Colombo en órbita alrededor de Mercurio.

Si ahora nos trasladamos a la realidad manifiesta de Bepi Colombo, no todo lo que se planeó en 1999 ha podido tomar forma. Aún así, Bepi Colombo es la sonda espacial más avanzada y compleja jamás enviada a Mercurio. También es una de las misiones europeas más caras ya que la ESA y los países constructors de instrumentos se han encontrado con no pocas dificultades técnicas: la inversión realizada para desarrollar materiales y dispositivos especiales

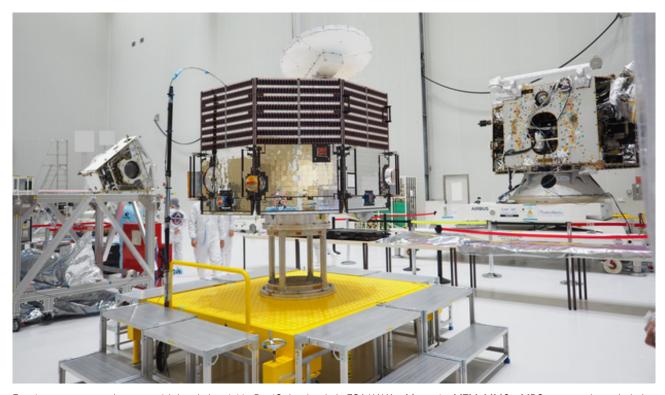
para todos los elementos expuestos a las condiciones ambientales del planeta, incluyendo mantas y radiadores térmicos, antenas y mecanismos de apuntamiento. De hecho, el 85 % de toda la tecnología empleada en la misión es de nueva creación.

La sonda finalmente fue concebida como una nave espacial con cuatro módulos apilados, el MTM (Mercury Transfer Module) cuya función principal es la de propulsar la nave, el MPO (Mercury Planetary Orbiter) que descenderá a una órbita polar elíptica con período de 2.3 horas y máximo acercamiento al planeta de 480 km y máximo alejamiento de 1500 km, el MMO (Mercury Magnetospheric Orbiter) que estudiará la magnetosfera del planeta y el escudo térmico del MMO, denominado MOSIF (MMO Sunshield and InterFace Structure).



Imagen de MPO en Kourou (Guayana Francesa) con la primera parte del aislamiento multicapa completada. La capa blanca exterior es una envoltura para proteger la nave de las extremas condiciones termales que experimetará en la órbita de Mercurio.

Copyright: ESA-B.Guillaume.



Esta imagen muestra los tres módulos de la misión BepiColombo de la ESA/JAXA a Mercurio, MTM, MMO y MPO, una vez desembalados en el Puerto Espacial Europeo de Kourou. Copyright: ESA/JAXA–G.Murakami.

El conjunto recibe la denominación MCS (Mercury Composite Spacecraft) y es especialmente grande para tratarse de un nave interplanetaria: un "cilindro" de 6,4 metros de altura, 3,6 metros de diámetro y 4 toneladas de peso.

MPO, de fabricación europea, es el elemento principal de la misión tiene el peso de un coche utilitario, 1.200 kg, y las dimensiones de un hexaedro de 2,5 m de arista aproximadamente. Incluye once instrumentos científicos procedentes de 35 países, incluyendo Rusia y Estados Unidos.

Para resguardarse de las altas temperaturas en la órbita de Mercurio, el MPO está protegido por una cubierta externa con varias decenas de capas de distintos materiales y un peso total de 94 kg. Además, un radiador especial, localizado en la cara que siempre mira hacia el planeta, y concebido para extraer el calor generado por los instrumentos desde el interior de la nave espacial hacia el espacio exterior; actuará como una protección contra las temperaturas extremas

manteniendo a los instrumentos científicos alojados en su interior a una temperatura de trabajo constante que oscila entre los 0 y 40°C. El modelo de vuelo está equipado con una serie de "aletas" que cubren uno de sus laterales; éstas se parecen a las persianas venecianas y ayudan a proteger al orbital de la radiación infrarroja del Sol. Para llegar al diseño final, durante los ensayos térmicos del modelo termoestructural, éste se sometió a temperaturas extremas que oscilaron entre -190°C y 450°C, recreando las condiciones a las que se enfrentará la nave cuando esté en la sombra que proyecta el planeta y cuando esté entre éste y el Sol. La sonda Bepi Colombo también lleva recubrimientos térmicos de cerámica y piezas de titanio cubiertas de plata y oro para garantizar que su antena de comunicaciones pueda funcionar en las temperaturas del entorno de Mercurio.

El MPO tienen un único panel solar de 7,5 metros de largo y 8,2 metros cuadrados y suministra 1.800 vatios en la órbita de Mercurio. Tienen un diseño resistente a la alta temperatura y funciona a un



Fotografía de Mercury Composite Spacecraft (MCS) en ESTEC (Países Bajos), donde se pueden apreciar los diferentes componentes de la misión ya ensamblados, montado sobre un banco de pruebas para comprobar el correcto alineamiento entre sus componentes.

Copyright: ESA/Anneke Le Floc'h.

máximo de 215°C. Conforme MPO se vaya acercando al Sol, el rendimiento de los paneles solares aumenta al incrementarse la temperatura. Una vez que el conjunto alcanza la temperatura de 190°C (a unas 0,5 UA aproximadamente) es necesario inclinar, hasta los 75°C, el panel reduciendo de esta manera su área de proyección y limitando su rendimiento, ya que de no ser así se degradaría rápidamente. Las celdas fotovoltaicas están intercaladas con reflectores solares, OSR (Optical Solar Reflectors) —una serie de superficies reflectantes— que ayudan a disminuir la temperatura alcanzada en el mismo y tienen protección ultravioleta para evitar su deterioro por su cercanía al Sol. Los ingenieros han llegado a afirmar que esta misión será "como navegar hacia un horno de pizzas".

Las fuentes de energía de Bepi Colombo serán las asistencias gravitatorias y el empuje que proporcionará la propulsión solar-eléctrica (SEP, solar-electric propulsion), básicamente lo mismo que se planeó 20 años atrás.

El principal problema para llegar hasta Mercurio es que la nave debe viajar a la misma velocidad que la de rotación de este planeta y evitar ser atrapada por el fuerte campo gravitatorio del Sol e incluso ser engullida por la estrella. Aunque la sonda solo necesitaría cinco meses para volar al planeta directamente, su velocidad impediría que entrase en la órbita del planeta. Por eso, tendrá que tomar una ruta más indirecta, apoyarse en la gravedad de otros planetas y recorrer 9.000 millones de kilómetros. En total, su travesía durará más de siete años y dos meses, considerablemente más que lo que el concepto de misión en 1999 contemplaba. La nave hará varias maniobras de asistencia gravitatoria, (una vez por la Tierra, 2 por Venus y 6 por Mercurio) a través de las cuales la sonda aprovecha la gravedad de los planetas junto con su propia navegación para moverse de la forma deseada. De hecho, fue Giuseppe (Bepi) Colombo quien propuso aprovechar la gravedad de Venus para llegar hasta Mercurio.

Para realizar el viaje la nave consta de cuatro motores de propulsión iónica, que forman parte del sistema de propulsión eléctrica, localizados en el MTM (especialmente diseñados para esta misión) y que utilizan gas xenón. Actúan tanto en la fase de crucero como la fase de frenado, antes de entrar en la órbita del planeta; para tener una idea de la magnitud del frenado, la nave deberá pasar de 60 km/s que tiene durante el viaje a tan sólo 4 km/s para ser atrapado por Mercurio. Tomar conciencia de la energía que se consume en este viaje a Mercurio es muy sencillo si pensamo que desde el punto de vista energético es más fácil ir a Plutón que a Mercurio estando tan cerca de la Tierra. Como dato significativo, si no se empleara propulsión iónica la nave tendría que llevar dos toneladas adicionales de combustible.

Tras la historia de cómo se gesta una misión espacial, de los datos técnicos de la nave con importantes retos que salvar, de esbozar los avatares históricos, es necesario reseñar qué objetivos científicos se espera que cumpla la misión Bepi Colombo y qué instrumentación lleva a bordo para ello.

En el 2003, la información que se tenía sobre el planeta descansaba en los descubrimientos de Mariner 10: existencia de gases formando una exosfera, presencia de campo magnético totalmente inesperado, superficie (en a menos 45% de la misma) con muchos cráteres y una magnetosfera bastante anormal dada la naturaleza de la exosfera y el campo magnético. En aquellos años, poco se sabía de la estructura de su interior, de su composición elemental y mineralógica. En el 2004, NASA envió la nave MESSENGER que comenzó su andadura exploratoria del planeta en el 2011 y ha durado hasta el 30 de Abril del 2015 cuando al quedarse la nave sin combustible terminó estrellándose contra la superficie del planeta, después de haber extendido la misión en dos ocasiones para poder ver como la superficie, exosfera y magnetosfera del Mercurio respondía al máximo solar. De forma general, la comunidad científica esperaba conocer el aspecto del 65% de la superficie de Mercurio que no pudo investigar la nave Mariner 10. Las imágenes mostraron que tiene muchos cráteres sobre un paisaje esencialmente plano (incluso más que la Luna).

Otros descubrimientos relevantes fueron: el radio del núcleo de Mercurio es aproximadamente el 85% del radio del planeta y debe ser líquido para generar el campo magnético medido, los polos tienen depósitos de agua helada al abrigo de la extrema radiación solar que podría vaporizarla, en la

superficie se ha detectado potasio, sodio, azufre y cloruro de hidrógeno procedentes de impactos de cometas y asteroides, el planeta se está "arrugando" como consecuencia de una disminución de su radio en 7 km en los últimos 4.500 millones de años, la idea

de que Mercurio perdió su manto en una colisión gigante ya no se puede afirmar al 100%, sino que el planeta se formó en una región tan caliente de la nebulosa protoplanetaria que solo el hierro pudo condensar y formar el planeta.

¿Qué queda por descubrir gracias a la misión Bepi Colombo? Las preguntas que han conducido el diseño de la misión son:

- ¿cuál es el origen y evolución de un planeta tan cercano a su estrella?
- ¿cuál es la forma, la estructura y composición interior?
- ¿cuál es la dinámica y el origen de su campo magnético?
- ¿cómo las fuentes endógenas y exógenas cambian el aspecto de la superficie, la formación de
- cráteres, la tectónica y el volcanismo?
- ¿cuál es la composición, origen y dinámica de la exosfera de Mercurio y los depósitos polares?
- ¿cuál es la estructura y la dinámica de la magenosfera de Mercurio?, y
- ¿se puede comprobar la teoría general de la relatividad de Einstein?

Mapa del polo norte de Mercurio con la saturación del color magnificada para mostrar los diferentes tipos de roca de la superficie del planeta. Copyright: NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington.



Los instrumentos científicos que proporcionarán los datos necesarios para resolver estas preguntas de tan amplio espectro científico son los siguientes:

ISA: Italian Spring Accelerometer es un acelerómetro de tres ejes y muy muy sensible que hará mediciones del campo gravitatorio del planeta. Además, sus datos tendrán como objetivo comprobar la teoría general de la relatividad a un nivel de precisión no conseguido hasta el momento. Para lograr esto, las mediciones deben coordinarse con las de SIMBIOSYS (cámara de alta resolución espacial) y las de AOCS (Attitude and Orbit Control System).

MPO/MAG y MMO/MAG: Magnetómetros a bordo del orbital planetario y magnetosférico para medir el campo magnético y su interacción con el viento solar.

MERTIS: radiómetro y espectrómetro térmico para detallar la composición mineralógica de la superficie y medir propiedades termomecánicas de la misma.

MGNS: espectrómetro de rayos gamma y neutrones (decaimiento radiactivo de determinados elementos) que medirá la composición elemental en la superficie y sub-superficie creando un mapa de elementos para todo el planeta.

MIXS: espectrómetro de rayos-X para analizar la superficie y producir un mapa global de los elementos químicos que forman las rocas.

MORE: experimento clásico en toda misión planetaria para atacar determinaciones de geodesia, geofísica y física fundamental. Estas medidas permitirán acotar las incertidumbres en cualquier modelo del interior de Mercurio, de su campo gravitatorio, y del "aplastamiento gravitatorio" del Sol en sus polos. MORE necesitará también de los datos de ISA, SIM-BIO-SYS y de BELA.

PHEBUS: estudiará en el UV la exosfera que rodea a Mercurio cuyas variaciones, en respuesta al viento solar, pueden ser muy rápidas (escala temporal de unas horas). Espectralmente puede cubrir lineas de emisión de Ca y K.

SERENA: un experimento que dará información global sobre la superficie-exosfera-magnetosfera y de

su interacción con el viento solar. Para ello, determinará qué especies neutras e ionizadas hay en la exosfera (i.e., un espectrómetro de masa), y medirá la abundancia en la exosfera de átomos neutros con baja energía, de partículas energéticas y de iones. SERENA se complementa idealmente con PHEBUS.

SIMBIO-SYS es un instrumento complejo en el que se combinan una cámara y un espectrómetro hiperespectral en el rango visible e infrarrojo. La cámara tiene a su vez un canal para hacer imágenes estereocóspicas, y otro para hacer imágenes de alta resolución espacial.

SIXS aportará información sobre la radiación solar en rayos-X y también sobre las partículas energéticas provenientes del Sol. Estos datos son cruciales para interpretar las mediciones de MIXS, y valiosos para cualquier otro instrumento (como PHEBUS y SERENA en MPO, y casi todos en MMO) que requiera conocer como la interpretación de sus observaciones necesitan también conocer el comportamiento del Sol.

BELA es el primer altímetro láser que volará en una misión espacial. Los objetivos científicos son caracterizar la forma del planeta, topografía y morfología de la superficie de Mercurio. El instrumento proporcionará altura topográfica absoluta y posición con respecto a un sistema de coordenadas centrado en el centro de gravedad del planeta en sí. La información se usará para crear un modelo digital del terreno que permitirá la inversión de los datos del campo gravitatorio que tomará el instrumento MORE. Del análisis conjunto de estos datos, podremos conocer la estructura interna, la tectónica y la edad de Mercurio. El retorno de cada pulso del láser también nos indicará la rugosidad del terreno y el albedo a 1064 nm (longitud de onda a la que operará BELA). BELA y SIMBIO-SYS trabajarán coordinadamente en muchas campañas de observación. España, a través del Instituto de Astrofísica de Andalucía (CSIC) y con implicación industrial (CRISA y ALTER), ha desarrollado el módulo convertidor de potencia del instrumento, el cual se integra en la unidad principal de electrónica responsabilidad del Instituto de Ciencias Planetarias de la Agencia Espacial Alemana DLR.

PUESTA EN MARCHA DEL PRIMER

El primer telescopio de gran tamaño del observatorio Cherenkov Telescope Array (CTA), denominado Large Size Telescope (LST), se inauguró en 2018 y se encuentra en fase de puesta en funcionamiento en el observatorio del Roque de los Muchachos en la isla de La Palma. CTA es el máximo representante de la nueva generación de observatorios destinados a la detección de los rayos gamma de muy alta energía que alcanzan la tierra. Una vez completado permitirá aumentar tanto la sensibilidad como el rango energético cubierto respecto los instrumentos y observatorios actuales.

En los últimos 25 años, los telescopios de imagen de Cherenkov atmosférico han abierto la ventana de los rayos gamma de muy alta energía (VHE) para la astronomía y la astrofísica. Estos telescopios detectan el destello de luz Cherenkov de pocos nanosegundos de duración que producen los rayos gamma de energías superiores a unos 10 GeV al interaccionar con la atmósfera terrestre. El análisis de la imagen de este destello permite inferir la energía y dirección del rayo gamma original. Mediante esta técnica se han identificado aproximadamente 200 fuentes donde se generan estos VHE a partir de la aceleración de rayos cósmicos. En particular se han observado fenómenos ligados al universo más violento y energético. Entre otros logros, los telescopios Cherenkov han observado: emisión generada por un pulsar hasta centenares de GeV, cuestionando los modelos más aceptados en la comunidad; variabilidad en núcleos activos de galaxias en el orden del minuto que implican zonas de aceleración muy pequeñas; el mapa del plano galáctico a VHE dominado por nebulosas de viento de púlsares.

El Cherenkov Telescope Array (CTA) es un esfuerzo conjunto de la comunidad de VHE para construir un observatorio que tenga una sensibilidad 10 veces mejor que los observatorios actuales, llegando a 10^{-13} erg cm⁻² s⁻¹, con mejor resolución tanto energética como espacial. CTA también aumentará el rango de energías accesible desde el suelo por los telescopios Cherenkov, desde 20-30 GeV hasta 200 TeV. Esto permitirá abordar con mejores herramientas que las actuales cuestiones como el impacto de las partículas de alta energía en la evolución del universo o la naturaleza de los procesos más extremos del cosmos.

CTA funcionará como un observatorio abierto, en base a propuestas de observación, a toda la comunidad astronómica y astrofísica, y tendrá importantes sinergias a nivel de múltiples longitudes de onda y mensajeros. En paralelo el consorcio que está construyendo CTA ha preparado una serie de proyectos científico claves como legado. Estos proyectos clave se concentran en buscar las fuentes astrofísicas donde se aceleran los rayos cósmicos, entender los fenómenos que se producen en las condiciones más extremas y aprovechar los aceleradores que nos da la naturaleza en el universo para explorar la fronte-





Oscar Blanch Instituto de Física de Altas Energías blanch@ifae.es

Carlos Delgado CIEMAT carlos.delgado@ciemat.es

LARGE SIZE TELESCOPE DE CTA

ra de la física de partículas. En este sentido, se han planeado mapas tanto del centro y el plano galáctico como de una fracción del plano extra-galáctico. Además se realizaran exposiciones profundas de algunos campos predefinidos.

La comunidad española ha estado involucrada en el estudio de los rayos gamma VHE desde los tiempos del experimento HEGRA (Foto 1), un complejo de detectores, incluyendo telescopios Cherenkov, que fue desmantelado en el 2002. HEGRA estaba situado

físicamente no solo en el mismo observatorio que el primer LST de CTA (El Roque de Los Muchachos), sino también en el mismo emplazamiento donde a continuación se construyó MAGIC. Los telescopios MAGIC (Foto 2), proyecto en el que la comunidad española ha sido uno de los países líder desde sus inicios, aún se encuentran en funcionamiento y producen resultados científicos de primer nivel. Siguiendo con esta tendencia, la comunidad española de VHE se involucró en CTA desde su concepción y es uno de los países de referencia en el proyecto.



Foto 1: foto panorámica del experimento Hegra en 1997. Copyright: K. Bernlöhr, 1997.



PUESTA EN MARCHA DEL PRIMER LARGE SIZE TELESCOPE DE CTA



El Cherenkov Telescope Array es un un observatorio que operará dos conjuntos de telescopios, uno en el hemisferio sur (CTA-Sur) y el otro en el hemisferio norte (CTA-Norte). El emplazamiento de CTA-Sur será el observatorio de ESO-Cerro Paranal, que contará con unos 100 telescopios Cherenkov de tres tamaños distintos, distribuidos en un área 4 km². Por otro lado, CTA-Norte, que se está construyendo en la misma localización donde están los telescopios MAGIC, contará con unos 20 telescopios de dos tamaños distintos distribuidos en un área de 1 km². El primer Large Size Telescope (LST) de CTA se inauguró en octubre de 2018 (Foto 3) en el observatorio del Roque de Los Muchachos de La Palma, y en diciembre de 2018 tomó las primeras imágenes de luz Cherenkov generada por rayos cósmicos. Está previsto que a finales de 2019 se comience con la toma de datos de explotación científica y que en una primera fase opere simultáneamente con los telescopios de MAGIC.

Tanto en CTA-Sur como CTA-Norte, el rango inferior de energía que cubren los observatorios está dominado por los LSTs, cuyo diseño está optimizado tanto a nivel de la sensibilidad en la parte baja del rango energético como teniendo en cuenta los objetivos de física para los cuáles las bajas energías son críticas. En concreto, uno de los objetivos científicos que ha condicionado el diseño de los LSTs es la detección de emisión de VHE proveniente de los Gamma Ray Burst. Para poder observar estos fenómenos, que

duran algunas decenas de segundos, es necesario apuntar a los mismos con la mayor rapidez posible tras una alerta. Para permitir apuntar a cualquier posición del cielo por encima del horizonte en menos de 20 segundos la estructura del LST es lo más ligera posible gracias a estar hecha mayoritariamente de tubos de fibra de carbono (Foto 4).

Foto 4: Vista de la parte trasera del telescopio donde puede observarse la estructura de soporte del espejo de tubos de fibra de carbono.



Los LSTs son telescopios con una superficie reflectora de 23 metros de diámetro formada por unas 200 teselas de 2 m² (Foto 6, izquierda). La cámara está instalada en el foco primario que se encuentra a una distancia de 28 metros del centro de la superficie reflectora. Debido a su tamaño y a la necesidad de que la estructura sea ligera, la superficie reflectora sufre deformaciones debido a la gravedad en función de dónde apunta el telescopio. Para corregir estas deformaciones, cada una de las teselas dispone de dos actuadores en la parte posterior que permiten orientar cada una de ellas activamente para para controlar su orientación. La cámara se encuentra alojada en una estructura de fibra de carbono sujeta por dos mástiles unidos a la estructura del espejo (Foto 5). La cámara posee un campo de visión de unos 4.2 grados de diámetro, segmentado en 1855 pixeles (Foto 6, derecha) instrumentados con fotomultiplicadores junto con toda la cadena electrónica de disparo y adquisición.

Desde que el primer LST se inauguró en el Observatorio El Roque de los Muchachos el 10 de octubre de 2018, se ha estado realizando una actividad intensa de puesta en funcionamiento del sistema completo. Se ha validado que el movimiento del sistema en todo el rango de velocidades cumple los requisitos de diseño, incluyendo la aceleración y frenado de emergencia. Se está verificando que el sistema de seguimiento de objetos celestes posee una precisión inferior a 0.1 grados para cualquier objeto por encima del horizonte. Por otro lado, en paralelo se está verificando que es posible ajustar las teselas que







Foto 6: (izquierda)detalle del reflector del LST donde se observan las teselas que lo forman. (derecha) detalle del plano focal de la cámara.

forman la superficie reflectora de tal forma que la imagen de un objeto puntual en el infinito que tenga una distribución gaussiana con una desviación estándar inferior a 0.05 grados. Finalmente la cámara, posiblemente el elemento más complejo del telescopio, está pasando por un proceso de validación de todos sus elementos de hardware y de control de la misma. Se ha comprobado que el sistema de disparo responde a los requisitos del sistema, en particular las referidas a restricciones temporales. Por otro lado, ha sido posible realizar una calibración preliminar y verificar que el sistema de adquisición de datos soporta el máximo ritmo de 15 kHz durante la operación científica. Además, se ha verificado que el sistema de control ambiental de la misma es capaz de acomodar los cambios del medio ambiente.

Una vez validados los diferentes sistemas de manera individual, empieza ahora el periodo de validación y caracterización del conjunto completo del primer LST y se espera que a finales de 2019 empezará a tomar datos con finalidad científica. Parte de esta toma de datos se realizará conjuntamente con MAGIC lo que permitirá una mejor comprensión de las capacidades y el funcionamiento del LST1. Además el análisis combinado de los datos llevará el LST a ser competitivo con los mejores observatorios actuales hasta que se realice la instalación de más telescopios de CTA.

CULTURA CON C DE COSMOS

Durante milenios, la inmensidad del cosmos y los acontecimientos celestes que podíamos observar han fascinado al ser humano, sea por el terror que algunos fenómenos astronómicos inspiraron, por la creencia irracional de que nuestro destino pudiera estar escrito en las estrellas, o por la propia inquietud científica que surgió en el mundo clásico y cristalizó en el Renacimiento. Todo ello ha quedado plasmado en un maravilloso legado de obras de arte pertenecientes a diferentes culturas y épocas que nos muestran cómo ha evolucionado a lo largo de los siglos nuestra concepción del universo y el lugar que ocupamos en él. Literatura, teatro, música, pintura, cine... todas las áreas del conocimiento tienen fascinantes intersecciones con la astronomía.

Montserrat Villar
Centro de Astrobiología (CAB)
villarmm@cab.inta-csic.es
En representación del equipo central
de Cultura con C de Cosmos

Los museos madrileños guardan muchos tesoros relacionados con la astronomía, a menudo desconocidos para el gran público: cerámicas prehistóricas, mosaicos romanos, libros incunables, grabados medievales, pinturas renacentistas, partituras musicales... que dejan constancia de las creencias y el conocimiento sobre el cosmos de cada época e incorporan en ocasiones los descubrimientos astronómicos contemporáneos de los artistas.

El proyecto *Cultura con C de Cosmos* (C³), celebrado entre el 1 de octubre de 2018 y el 31 de marzo de 2019, ha tenido como objetivo global divulgar la astronomía¹ a través de las colecciones e iniciativas de numerosas entidades culturales situadas en Madrid y, en paralelo, dar difusión a sus colecciones a través de la astronomía. Se ha inspirado y fortalecido, desde su concepción y en cada paso que se ha dado para estructurarlo, en nuestro convencimiento de que la intersección entre las ciencias y las humanidades es extremadamente fértil gracias a la creatividad que resulta de la diversidad de formas de actuación y de recursos narrativos de diferentes áreas del saber.

Conferencias, conciertos, tertulias, exposiciones, visitas guiadas... Se han realizado actividades en múltiples sedes y con formatos diversos en las que hemos divulgado la astronomía sustentándonos en la esencia de las propias instituciones. En colaboración con su personal de educación y difusión hemos sido capaces de abordar el diálogo entre ciencia y humanidades con el vocabulario y el nivel adecuados para inspirar a sectores del público que normalmente no se acercan a la ciencia y en ámbitos usualmente alejados del entorno científico. Con ello hemos logrado, además, motivar al personal de las instituciones para que muestren sus colecciones desde un ángulo diferente y transmitan su valor a través de la visión de los científicos.

OBJETIVOS

Estos han sido los objetivos más específicos de Cultura con C de Cosmos.

- Contribuir a romper la tradicional separación entre ciencias y humanidades favoreciendo el desarrollo de la llamada Tercera Cultura.
- Acercar la ciencia a la sociedad desde entornos poco usuales con el objetivo de despertar la curiosidad y el interés en un público habitualmente distanciado de los ámbitos científicos.
- Involucrar a los profesionales de la investigación científica en el logro de estos objetivos, acercándonos a los museos de arte y otros escenarios normalmente alejados de nuestro "radio de acción".



Logo de *Cultura con C de Cosmos*. © Lucía Villar

CULTURA CON C DE COSMOS

- Colaborar con las instituciones culturales participantes para fomentar entre el público la apreciación de sus colecciones desde la perspectiva que aporta la observación científica.
- Fomentar la pasión por la cultura y el conocimiento en sus concepciones más amplias al promover el encuentro y la comunicación entre áreas del saber generalmente percibidas como claramente disociadas ("ciencia vs. humanidades").
- Crear sinergias entre instituciones de naturaleza muy diversa y sentar las bases de colaboraciones específicas que perduren más allá del periodo de ejecución del proyecto.
- Contribuir a modificar los referentes culturales y los modelos sociales que se ofrecen de forma distinta a las niñas y a los niños, con sesgos frecuentes que pueden marcar la elección futura de las carreras científicas.

EOUIPO HUMANO

Cultura con C de Cosmos ha sido coordinado desde el Centro de Astrobiología (CAB, CSIC/INTA) por el equipo central responsable de impulsar y coordinar el proyecto. Está integrado por 7 científicos, 4 mujeres y tres hombres que hemos participado además en numerosas actividades de divulgación enmarcadas en C³.

- Montserrat Villar (astrofísica, CAB)
 Coordinadora de C³
 Coordinadora de actividades relacionadas con la astronomía en el arte
- Carlos Briones (bioquímico, CAB)
 Coordinador adjunto de C³
- David Barrado (astrofísico, CAB)
 Coordinador de actividades relacionadas con la astronomía en la historia y la literatura
- José Antonio Caballero (astrofísico, CAB)
 Coordinador de actividades relacionadas con la astronomía en la música
- Susana Cabañero (astrofísica, CAB)
 Responsable de comunicación
- Ester Lázaro (bióloga, CAB)
 Coordinadora de actividades relacionadas con la astronomía y otras áreas de la ciencia
- Eva Villaver (astrofísica, U. Autónoma de Madrid)
 Coordinadora de actividades relacionadas con la astronomía en el cine

CULTURA CON C DE COSMOS



Montserrat Villar (CAB)



Carlos Briones (CAB)







David Barrado (CAB)



José A. Caballero (CAB)



Susana Cabañero (CAB)



Ester Lázaro (CAB)



Eva Villaver (UAM)

Cultura con C de Cosmos ha sido diseñado, impulsado y coordinado por este equipo

Hemos contado, además, con un equipo extenso integrado por 41 personas (18 mujeres y 23 hombres) que han colaborado en numerosas actividades de divulgación. Gracias a la pluralidad de sus ámbitos profesionales, ha sido posible abarcar una gran variedad de actividades y temas en lugares muy diversos. Son investigadores de múltiples disciplinas científicas, divulgadores de la ciencia, artistas, fotógrafos, músicos, historiadores del arte, etc. Además, hemos colaborado estrechamente con el personal de difusión y educación de los museos y demás entidades culturales participantes. Teniendo en cuenta que 26 sedes han acogido actividades, estimamos que más de 100 personas se han implicado en la organización e impartición de iniciativas enmarcadas en Cultura con C de Cosmos.

ENTIDADES PARTICIPANTES Y RESPALDO INSTITUCIONAL

Comenzado ya el proyecto, decidimos ampliarlo con una extensión llamada $+C^3$. Siendo los objetivos idénticos a los de C^3 , la única diferencia está en las sedes. Se trata de entidades muy diversas de menor importancia o visibilidad, cuya naturaleza difiere de los museos y entidades culturales principales de C^3 . Entre estas sedes $+C^3$ están bibliotecas públicas, cafeterías, pubs y galerías de arte privadas. Se encuentra, además, una sede fuera de Madrid (Tabakalera, San Sebastián) y la cadena Radio Nacional de España (RNE).

Preferimos hacer esta distinción para no perder el foco del proyecto original mezclando instituciones de naturaleza y ámbitos demasiado diversos y localizaciones geográficas fuera de Madrid. Con ello logramos aprovechar

la excelente oportunidad de ampliar el alcance de C³ colaborando con dichas entidades, que sin duda han enriquecido el proyecto llegando a un público más amplio.

Cultura con C de Cosmos ha contado con la participación de 41 entidades:

- 5 organizan/financian (FECyT, Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, CAB, CSIC, INTA)
- 27 participan (acogen y/o impulsan actividades): 9 museos, 3 universidades, 3 fundaciones, 12 otros
- 5 colaboran (apoyan con la participación de personal en actividades de C³, colaboran dando difusión de alto impacto al proyecto)
- 4 respaldan: Vicepresidencia Adjunta de Cultura Científica del CSIC, la Oficina para la Divulgación de la Astronomía de la Unión Astronómica Internacional a través de su nodo español y la Real Academia de Doctores de España. Hemos contado también con el respaldo de la Sociedad Española de Astronomía, cuyo apoyo agradezco desde estas líneas.

Se mencionan a continuación las 26 sedes físicas que han acogido actividades:

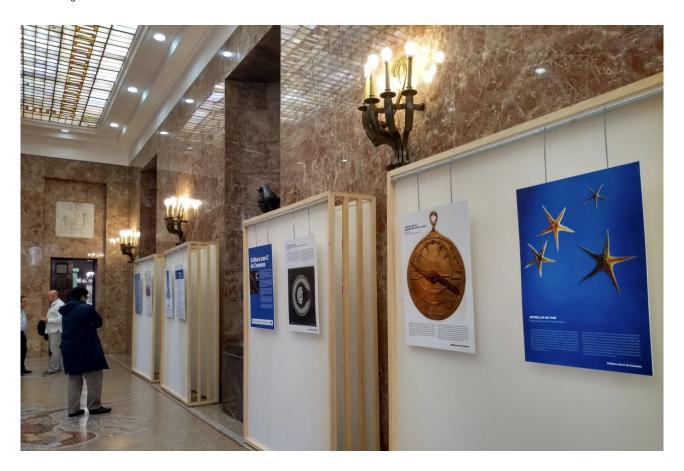
Sedes C³ (19): Ateneo de Madrid, Centro de Astrobiología, Fundación Telefónica (Madrid), Museo Arqueológico Nacional (MAN), Museo del Romanticismo, Museo del Traje, Museo Geominero, Museo Nacional de Artes Decorativas (MNAD), Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN), Museo Nacional de Ciencia y Tecnología (MUNCYT), Museo Naval, Planetario de Madrid, Real Academia de Bellas Artes de San Fernando (RABASF), Real Jardín Botánico, Real Sociedad Económica Matritense de Amigos del País (RSEMAP), Residencia de Estudiantes, Sede Central del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Universidad Carlos III de Madrid (Campus de Getafe), Universidad Rey Juan Carlos (Campus de Fuenlabrada).

Sedes +C³ (7): Biblioteca Pública Municipal Eugenio Trías, Café el Despertar (Diálogos del Conocimiento), Café La Palma, Fundación Sicomoro, Galería de arte AC, Tabakalera San Sebastián, RNE.

El dúo Flautopía (formado por Miriam Ridruejo y Lola Barroso) interpreta "Viento del Cosmos" en la clausura de *Cultura con C de Cosmos* el 23 de marzo de 2019, en la RABASF. Este tema fue compuesto por Miriam Ridruejo, flautista del dúo, como sintonía del proyecto. Foto: © Fernando Marcos.



La exposición Cultura con C de Cosmos, comisariada por los científicos Montserrat Villar y Carlos Briones, se inauguró el 23 de octubre de 2018 en la sede central del CSIC coincidiendo con la presentación del proyecto. Se expone actualmente en el Centro de Astrobiología. Foto: © Susana Cabañero.



TIPOS DE ACTIVIDADES

El programa de actividades se ha implementado en colaboración con las instituciones participantes y ha tenido como objetivo optimizar los recursos ya disponibles en ellas. Hemos seguido dos líneas de actuación:

• Actividades ya existentes dándoles un enfoque relacionado con la astronomía. Los museos tienen incorporados de manera habitual en sus programas de difusión cultural eventos que se celebran de manera regular y cuentan ya con un público garantizado. Algunos ejemplos son: "la pieza del mes" (MAN, Museo Nacional de Artes Decorativas), "la pieza del trimestre" (Museo del Romanticismo), visitas guiadas (MAN, Real Academia de Bellas Artes de San Fernando), etc. En el marco de Cultura con C de Cosmos, parte de estas actividades se han dedicado a piezas con contenido astronómico.

Esta ha sido una manera excelente de implicar a los equipos de educación de los museos sin que la organización haya supuesto cambios importantes en su funcionamiento cotidiano.

Nuevas actividades (conferencias, tertulias, exposiciones, conciertos, lecturas de poesía, etc) que se han organizado en el marco del proyecto y han sido en muchos casos impartidas en las entidades colaboradoras por los miembros de los equipos central y extenso de C³.

FINANCIACIÓN

Cultura con C de Cosmos ha contado con financiación de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECyT) del Ministerio de Ciencia Innovación y Universidades (25.000 euros; ref. FCT-17-11922). Se dedicaron al plan de comunicación del proyecto, incluyendo el contrato a tiempo parcial de la persona responsable de comunicación durante los meses de celebración de C³. CSIC e INTA aportaron unos 4000 euros adicionales.

NÚMERO DE ACTIVIDADES Y ASISTENCIA

Entre octubre de 2018 y marzo de 2019, se celebraron un total de 60 actividades (50 C³ y 10 +C³), muy por encima de las 40 que habíamos previsto al iniciar el proyecto: 2 eventos especiales (presentación y clausura), 29 conferencias, 7 visitas guiadas, 6 conciertos, 3 jornadas temáticas, 6 tertulias, 2 talleres, 1 exposición (en dos sedes diferentes), 1 proyección cinematográfica, 2 piezas del mes/trimestre.

A estas actividades asistieron unas 10.700 personas. Estimamos que ~6.500 participaron en las actividades de larga duración (un mes o más; exposiciones, piezas del mes/trimestre), aunque esta cifra es inevitablemente imprecisa. Las 4.185 personas restantes asistieron a actividades de carácter puntual como conferencias, conciertos, tertulias, etc. Este número es también superior a las 2000 originalmente previstas.

NOTAS FINALES

Cultura con C de Cosmos ha sido gestado y coordinado por un equipo de científicos que compartimos la pasión por nuestro trabajo de investigación y de divulgación y la fascinación por diversas áreas de la cultura relacionadas con el arte y las humanidades. Han participado además docenas de colaboradores de centros de investigación y universidades, museos, fundaciones y otras entidades culturales de Madrid. Nuestro mayor reto, que se ha convertido también en

el mayor logro, ha sido implicar, partiendo de cero, a tantas entidades y tantos profesionales de ámbitos a menudo alejados del circuito habitual de la divulgación científica.

C³ ha sido fuente de inspiración para todas las personas que lo hemos hecho posible. Quizás aquí radica nuestra fortaleza, pues compartimos el respeto y la admiración por la creatividad humana, que en cualquier rama del conocimiento explora nuevas ideas para traspasar la difusa frontera entre lo improbable y lo imposible. Gracias a esta maravillosa y ambiciosa colaboración, hemos acercado el Cosmos a la sociedad a través de la música, el arte, la literatura, la historia, el cine, la fotografía y la danza.

Cultura con C de Cosmos volverá en la Semana de la Ciencia 2019 para continuar hablando de ciencia a través de las emociones

culturaccosmos.es

NOTA

1 Por concisión, el concepto "astronomía" aquí engloba también la astrobiología, que ha tenido una presencia importante en el proyecto. El concepto "humanidades" engloba las artes, además de disciplinas que giran en torno al ser humano como la literatura, la filosofía y la historia.



TESS EL CAZADOR DE PLANETAS

La misión espacial TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite en ingles) se lanzó en abril de 2018 y en Julio de ese mismo año empezó un reconocimiento de casi la totalidad del cielo, en busca de planetas por el método de tránsitos. Su objetivo principal es encontrar planetas en torno a las estrellas más cercanas y más brillantes de la vecindad solar.



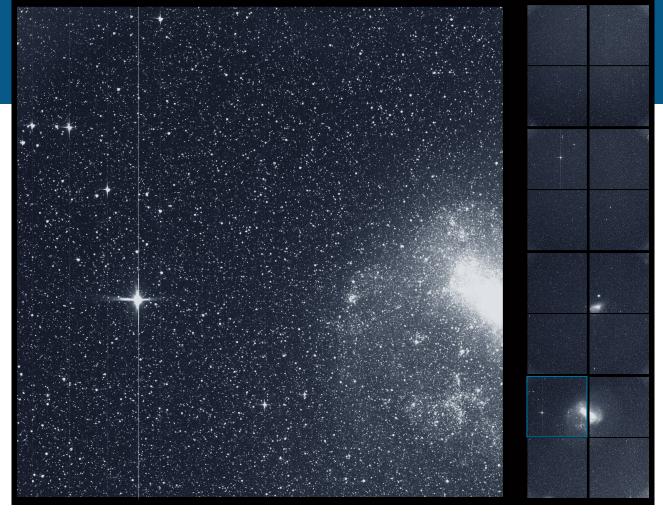
Enric Pallé Instituto de Astrofísica de Canarias epalle@iac.es

El campo de los exoplanetas y la oportunidad de los transitos.

En los últimos años, la cantidad de exoplanetas conocidos no ha parado de crecer, y en el momento de escribir estas líneas estamos a punto de cruzar la barrera de los 4000 planetas confirmados (y un numero similar por confirmar). Aunque los primeros exoplanetas se descubrieron desde tierra por el método de la velocidad radial, las misiones espaciales CoRoT y Kepler han revolucionado el número de detecciones con su fotometría de alta precisión desde el espacio. Esto ha abierto las puertas a espacios de parámetros planetarios que son difícilmente accesibles desde el suelo, en particular, la detección de planetas de tamaño terrestre y super-Tierras, que resultan ser los mas abundantes en nuestra galaxia. Además, el gran número de estrellas muestreadas ha permitido un conocimiento estadístico de las tasas de formación planetaria.

Un resultado importante de Kepler es que, para periodos orbitales de menos de 100 días, el 25% de las estrellas similares al Sol en nuestra galaxia albergan planetas rocosos, i.e., planetas cuyo radio es entre 1 y 4 veces el radio de la Tierra (Re). Para tipos espectrales más fríos, en particular en torno a estrellas M, la frecuencia de formación planetaria crece hasta mas del 80%. Estos planetas pequeños presentan una distribución de radios bi-modal, con una marcada carencia de planetas con radio en torno a 1.7 Re, lo que los separa en dos clases principales: Tierras y super-Tierras rocosas, con radios centrados en 1.2 Re y sub-Neptunos dominados por una extensa atmosfera gaseosa, con una distribución de radios centrada en 2.4 Re.

A pesar del éxito de estas misiones, muchas preguntas siguen sin respuesta, por ejemplo, ¿cuál es la composición y estructura interna de los planetas pequeños? ¿Cuál es su frecuencia en función de la masa estelar, la metalicidad o la edad de la estrella? ¿Emigran como lo hacen los gigantes gaseosos? ¿Y en qué casos están rodeados de atmosferas ligeras de H₂/He? Para responder a estas preguntas se requieren muestras estadísticamente significativas de planetas pequeños bien caracterizados, especialmente en términos de masa, radio y densidad media.



Primera imagen científica de TESS del cielo austral. La imagen tiene un tiempo de exposición de 30 minutos. Las franjas negras margan los espacios entre las 16 CCDs del instrumento. La imagen incluye partes de 12 constelaciones, cúmulos globulares, y mas de una docena de estrellas con planetas previamente conocidos. Imagen cedida por NASA.

Sin embargo, nuestro conocimiento sobre los planetas terrestres y sub-neptunianos es todavía bastante limitado. Las determinaciones de masas mediante medidas de velocidad radial, con una precisión mejor al 25%, han sido posibles solo para 16 de los planetas rocosos detectados por Kepler. Y los últimos años de Kepler, reconvertido en un *survey* en torno al plano de la eclíptica (conocida como la misión K2) ha proporcionado solo alguno más. Las razón principal radica en que las variaciones en velocidad radial inducidas por tales planetas son muy pequeñas, lo que sumado a la magnitud de la mayoría de las estrellas anfitrionas de Kepler (magnitud en V<13), imposibilita medidas mas precisas.

Para lograr respuestas a estas preguntas necesitamos encontrar muchos más planetas que transiten en torno a estrellas brillantes, lo que permitirá su caracterización en detalle. Este es precisamente el objetivo principal de TESS: Encontrar y medir los radios y masas de una muestra de por lo menos 50 planetas rocosos (1-4 $\rm R_{\tiny p}$).

La orbita y observaciones de TESS

TESS está situado en una órbita lunar en resonancia 2:1 que le permite una visión ininterrumpida durante 27 días de cada campo que visita, excepto durante 3 horas cada 13.7 días, cuando se realiza la telemetría de datos. TESS apunta aproximadamente a 90 grados de la luna, y en principio la orbita se mantendrá estable durante décadas.

De esta forma, TESS fija su visión en una franja del cielo compuesta por los campos superpuestos de cada uno de sus cuatro telescopios. Cada franja cubre un área de cielo de 24°x96°. Cada 27 días se mueve a una nueva franja que solapa parcialmente, pero no uniformemente, con el campo anterior. Mientras que en los campos cercanos a la eclíptica no se solapan en absoluto, las estrellas en los polos galácticos tienen una cobertura continua durante todo un año.

Las cámaras de TESS toman exposiciones cada 2 segundos, sin embargo los datos necesitan ser sumados para poder realizar la transferencia de datos a

tierra. En este caso TESS descarga a tierra imágenes de sus campos completos con una cadencia sumada de 30 minutos. Además, también preselecciona unos 15-20,000 objetos por campo para los que se suma y almacena una frecuencia de observación de 2 minutos. Un programa de investigadores invitados (GI) permite a toda la comunidad internacional proponer qué objetos se observan con esta cadencia. En total TESS observará más de 500,000 estrellas F, G, K y M con cadencia de 2 minutos durante su misión nominal de 2 años. Y millones de fuentes pueden ser extraídas de las imágenes de 30 minutos.

El legado previsto de TESS

Las simulaciones estadísticas basadas en misiones anteriores indican que TESS descubrirá unos 70 planetas del tamaño de la Tierra ($\rm R_p < 1.25R_e$), unas 500 super-Tierras y/o mini-Neptunos, unos 1100 planetas del tamaño de Neptuno y unos 70 gigantes gaseosos. De esta nueva población de planetas, aproximadamente 200 de ellos serán planetas con radio inferior a 4 veces el radio de la tierra y orbitando en torno a estrellas brillantes (magnitud en V < 11) con tipos espectrales adecuados para el seguimiento en velocidad radial, es decir, F6-F9, G, K y enanas M.

Imagen del comisionado de TESS del de la región de Centauro.



Courtesy of MIT TESS Science Office

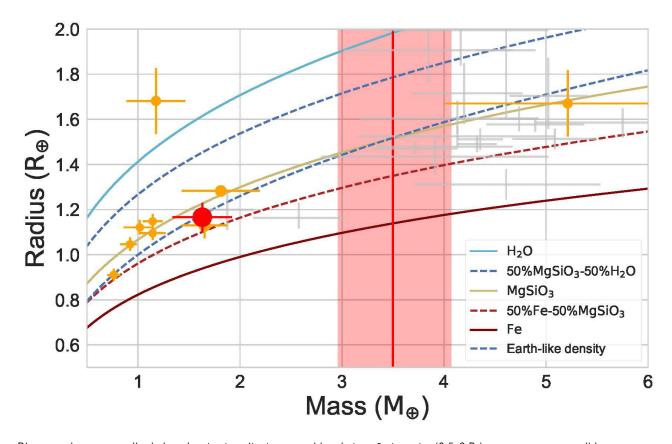
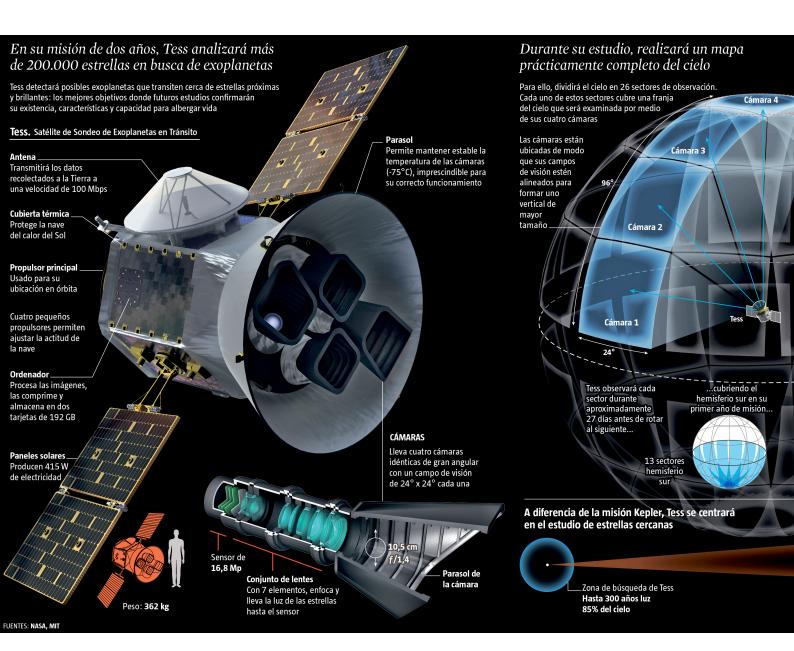


Diagrama de masa y radio de los planetas transitantes conocidos de tamaño terrestre (0.5-2 R_e) y con una masa medida con errores inferiores al 30%. Las líneas de colores indican modelos teóricos de distintas densidades médias para los planetas. El tamaño de los puntos es inversamente proporcional a la magnitud de su estrella anfitriona en banda J. En rojo se muestra el sistema GJ357, descubierto por TESS y liderado por un equipo español (Luque et al, 2019). El planeta GI 357 b se muestra como un punto rojo y el planeta GI 357 c con una banda roja (el radio es indeterminado puesto que no transita). Estos dos planetas orbitan alrededor de una pequeña estrella de tipo tardío (Teff < 4000 K), lo que sumado al brillo de la estrella implica que GI 357 b es uno de los planetas terrestres más favorables para su caracterización atmosférica con el telescopio espacial James Webb.

Tras nueve meses de operación, los datos de los primeros 8 sectores TESS están disponibles para la comunidad en forma de datos crudos, y también en forma de alertas (tess.mit.edu/alerts) de posibles candidatos a tránsitos planetarios. Estas alertas son seguidas por numerosos equipos internacionales, y por el equipo oficial de la misión (llamado TFOP), que se afanan en confirmar la veracidad de la señal (descartando falsos positivos como binarias eclipsantes) y midiendo las masas de los planetas mediante velocidad radial.

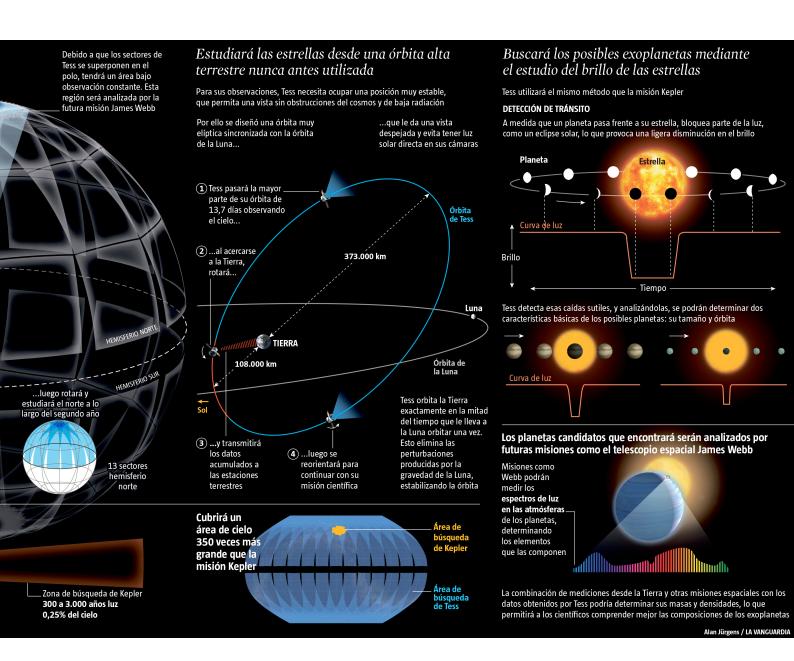
El numero de alertas muestra ya que TESS funciona extremadamente bien. En estos meses se han confirmado y medido las propiedades de varias docenas de nuevos planetas, que incluyen, entre muchos otros, objetos emocionantes como Pi Mensae c, una super-Tierra (1.8 $\rm R_{\rm e})$ en órbita alrededor de una estrella visible a simple vista (magnitud en V = 5,65) descubierta en el primer sector de TESS, o GJ357c, una super-Tierra entorno a una estrella M que resulta ser uno de los mejores planetas rocosos candidatos a caracterización atmosférica con el telescopio espacial James Webb (JWST). Estos descubrimientos tienen contribución y liderazgo de equipos españoles.

Mención aparte merece la caracterización de las atmosferas planetarias. TESS se centra en las estrellas brillantes (magnitud en V entre 5 y 12), de modo que



los nuevos planetas que TESS descubra serán buenos candidatos para medir la composición química de sus atmosferas. De nuevo un campo en el que la comunidad española está muy bien posicionada, tanto por su experiencia acumulada en los últimos años, como por la disponibilidad de telescopios e instrumentación únicos para estas tareas, como por ejemplo GTC, CARMENES o la instrumentación de la ESO (ESPRESSO en particular). Sin olvidar, por supuesto, la caracterización desde el espacio con el JWST.

La medición de la composición atmosférica es importante ya que contiene pistas para la formación de exoplanetas y de su posible evolución mediante procesos de escape. Además en un futuro, estas mismas técnicas nos permitirán medir la presencia de combinaciones de gases que podamos asociar a la presencia de vida. Aunque quizás tengamos que esperar a los ELTs para empezar estas exploraciones, probablemente las realizaremos en los planetas que TESS esta ahora mismo descubriendo.



Ciencia no exoplanetaria: Curvas de luz en todo el cielo

Finalmente cabe recordar que TESS no solo proporciona fotometría de estrellas con planetas. Todos los objetos dentro de la magnitud limite de TESS están observados con una cadencia de 30 minutos en las imágenes de FFI (Full Frame Images en inglés) y están disponibles a la comunidad internacional. Además existen iniciativas, en el IAC en particular se esta haciendo un gran esfuerzo, para hacer públicas las curvas de luz ya procesadas de millones de fuentes

hasta aproximadamente magnitud en V=19. Es seguro que la comunidad española e internacional podrán aprovechar esta fotometría de gran precisión, continua durante casi un mes, para muchos programas de investigación astrofísica de diversas áreas.

Número 40, Verano 2019

COFFEE BREAK: SEÑAL Y RUIDO

La cultura científica es una parte muy importante de la cultura en general que, a día de hoy, sigue teniendo escasa visibilidad para el gran público. En los últimos tiempos asistimos atónitos a la sucesión de noticias en los medios de comunicación de masas en las que se nos habla de "naves alienígenas en Júpiter", de explosiones de rayos gamma que "invierten el tiempo" o de alineamientos planetarios que lanzan materia oscura en nuestra dirección y aumentan las tasas de cáncer. Sin una formación adecuada, es difícil para el ciudadano distinguir la señal del ruido entre este maremagnum de titulares grandilocuentes. Y sin entender bien la información es difícil para una sociedad libre poder tomar decisiones informadas sobre los debates de actualidad. ¿Debemos instalar luminarias LED en el alumbrado público? ¿Invertimos mucho o poco en exploración espacial? ¿Qué hacemos con los transgénicos? ¿Homeopatía? ¿Energía nuclear? ¿Dan cáncer los móviles?



Héctor Socas Navarro Instituto de Astrofísica de Canarias hsocas@iac.es

Coffee Break: Señal y Ruido (CB:SyR) nació en 2015 con vocación de ser una especie de informativo científico. En el Instituto de Astrofísica de Canarias comenzaron a juntarse cada semana un grupo de investigadores y/o comunicadores científicos en una tertulia informal entre amigos para repasar las noticias del mundo de la ciencia, con énfasis en el ámbito de la astrofísica. Desde entonces se ha venido emitiendo de forma ininterrumpida, durante más de cuatro años sin faltar ni una sola semana a su cita con la actulidad y expandiendo el ámbito a profesionales de otras universidades y centros de investigación (IFIC, Universidad de Málaga, Cambridge University o Australian Astronomical Optics, por nombrar algunos de los más habituales). La clave de esta constancia y el incesante crecimiento del programa se encuentra sin duda en el equipo que lo compone, compañeros y amigos apasionados por la ciencia que regalan con generosidad su tiempo y esfuerzo cada semana. La tertulia se emite en varias emisoras de radio de España y Argentina y su versión digital se distribuye por las principales plataformas de internet. Según los datos de audiencia de la plataforma ivoox, CB:SyR es descargado o escuchado en línea por unos cuarenta mil oyentes cada semana. En el ranking semanal de esta misma plataforma aparece habitualmente entre los 40 programas más populares en español. El que un producto exclusivamente dedicado a la ciencia pueda codearse en rankings de audiencia con los programas deportivos, los (mal llamados) "de misterio" u otros contenidos de radio generalista o podcast especializados, ha sido una grata sorpresa que no habíamos esperado. CB:SyR no se concibió originariamente para grandes audiencias sino para lo que pensábamos que sería un relativamente reducido grupo de "cientófilos", personas con un cierto nivel preexistente de cultura científica que quisieran estar al día de los últimos avances.

Parte de lo que hace de CB:SyR atípico es que huye de la fórmula tradicional de poner un micrófono al experto para que cuente su trabajo. En su lugar, lo que se presenta es una tertulia entre amigos en la que abunda una familiaridad desenfadada, aderezada con toques de humor e incluso bromas recurrentes. Con el tiempo, el oyente va conociendo a los contertulios y llega a desarrollar una cierta



Parte del equipo de Coffee Break: Señal y Ruido en el IAC durante la celebración del cuarto cumpleaños.

vinculación personal. Otro aspecto novedoso es el enfoque sobre la actualidad. No es un programa donde se expliquen conceptos ya bien conocidos sino que se tratan los temas que se encuentran más en la frontera del conocimiento actual y, en muchos casos, problemas que aún no están resueltos y sobre los que existe debate científico. En particular hemos percibido que nuestra audiencia muestra gran interés por estar al día en estos debates y que se les cuenten los últimos "papers".

Si bien a día de hoy existe muchísima oferta de divulgación en diferentes formatos, pensamos que CB:SyR se centra en un nicho que se encontraba comparativamente desatendido. Casi toda la comunicación científica que se hace en lengua española está dirigida al nivel más básico. Nosotros quisimos crear un producto en el que se presentara la ciencia sin sobresimplificar, acercando al oyente el lenguaje, los procedimientos y las metodologías reales. Se trataba de ofrecer un nivel más alto de lo habitual, aunque no fuera accesible a todos los públicos. La prioridad no es que todo el mundo lo pueda entender sino que se cuenten las cosas como realmente son. La premisa es que la comunicación científica se debe hacer en todos los

ámbitos y a todos los niveles posibles porque cada uno tiene su público. Y esto es importante porque además, durante este tiempo, hemos descubierto que también existe una necesidad de comunicación científica para científicos. También hemos descubierto con sorpresa que una parte importante de nuestra audiencia la componen otros colegas de profesión, investigadores de otras áreas e incluso muchos astrofísicos, con ganas de saber más sobre lo que se cuece en otras especialidades.

De hecho, la razón principal por la que muchos hacemos este pequeño esfuerzo semanal no es tanto un ejercicio de altruismo y responsabilidad social sino justamente la satisfacción de aprender unos de otros e irnos poniendo al día de los últimos avances que se van publicando. Un efecto colateral no previsto de CB:SyR es que, como resultado de las discusiones tenidas en estas tertulias, se han llevado a cabo trabajos de investigación desarrollados por miembros del equipo. A día de hoy existen cinco "papers" en la literatura científica que han sido fruto de las discusiones en CB:SyR, además de la participación de varios miembros del IAC en otro artículo o la iniciativa de Ciencia en el Parlamento.

Número 40, Verano 2019

CONCURSO DE DIBUJO PARA ESCOLARES

La Sociedad Española de Astronomía convocó un concurso de dibujo para escolares con el tema 'Mujer y Astronomía' como parte de las actividades del Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia que se celebró el 11 de Febrero. La participación fue altísima, con 738 dibujos, 37 en categoría Infantil; 378 en categoría de Primaria; y 324 en categoría de Secundaria. La Comisión de Mujer y Astronomía de la SEA, que ha actuado como jurado, hizo públicos los nombres de los ganadores del concurso el día 5 de marzo durante las jornadas de Ciencia y Género, organizadas también por nuestra sociedad y que tuvieron lugar en Valencia. Dichos ganadores fueron

- Natalia Laveda Navarro, 5 años, del CEIP Alces. Alcázar de San Juan (Ciudad Real), ganadora en categoría Infantil
- Telma Marchand, 11 años, del Liceo Francés de Villanueva de la Cañada (Madrid), ganadora en categoría Primaria, y
- Mara Gregor Tello, 15 años, del Instituto de Educación Secundaria Miraya del Mar, Torre del Mar, (Málaga), ganadora en categoría Secundaria

Además, en cada categoría hubo concursantes finalistas:

- Leandro González Agathon, de 5 años, del Liceo Francés de Villanueva de la Cañada (Madrid), finalista en categoría Infantil,
- Laura Buendía Martínez, de 11 años, del CEIP Medina Olmos de Guadix (Granada), finalista en categoría Primaria,
- **Rebeca Sota Rodríguez**, de 8 años, del CEIP F. García Lorca (Granada), finalista en categoría Primaria,
- Alejandra Trápaga Adalid, de 13 años, del Colegio Escolapias Puerta de Hierro (Madrid), finalista en categoría Secundaria, y
- Eduardo Fernández Sibón, de 12 años, del colegio Nuestra Señora de los Milagros (Cádiz), finalista en categoría Secundaria.

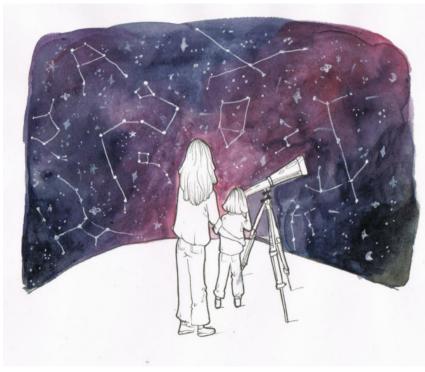
Los premios de las categorías Infantil y Primaria consistieron en sendos telescopios para niños. El premio para la categoría Secundaria consistió en unos prismáticos. Dado el ámbito nacional del concurso, estos escolares procedían de diferentes regiones de España, por lo que la mayoría de los premios se han entregado por correo.

Tres de estos premios, sin embargo, recayeron en la Comunidad de Madrid, con la suerte de contar con un representante de cada categoría, por lo que el pasado 4 de abril tuvo lugar un pequeño acto de entrega de premios en el centro científico de la ESA, ESAC, en Villafranca del Castillo. Allí se ha hecho entrega del telescopio infantil a Telma Marchand Aspas, ganadora en categoría de primaria, así como sendos regalos



Mercedes Molla CIEMAT mercedes.molla@ciemat.es

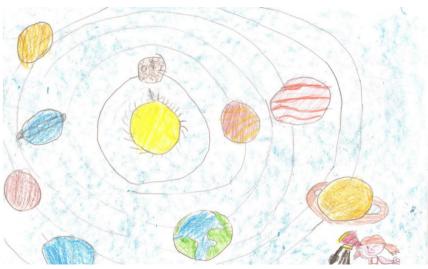
CON EL TEMA 'MUJER Y ASTRONOMÍA'



Mara Gregor, 15 años. Ganadora en categoría Secundaria



Natalia Laveda, 5 años. Ganadora en categoría Infantil



a Leandro González Agathon, y a Alejandra Trápaga, finalistas de infantil y secundaria, respectivamente.

El acto continuó con una visita al centro donde se les mostró a niños, familiares y acompañantes algunas de las salas de control de satélites, así como maquetas de diversos instrumentos. Esperamos que les resultara una visita interesante y fructífera y que ello sirva para promocionar vocaciones científicas en las áreas llamadas STEM en general y en las relativas a la astronomía y espacio en particular.

La SEA aprovecha para felicitar entusiasticamente a todos los ganadores, especialmente dada la alta competitividad del concurso, debido al elevado número de participantes y a la gran calidad de los dibujos, que ha hecho muy gratificante pero también muy ardua la tarea de selección.

IINUESTRA ENHORABUENA A LOS GANADORES Y NUESTRO AGRADECIMIENTO A TODOS LOS CONCURSANTES!!



Entrega en ESAC de los premios a Telma (arriba), y a Alejandra y Leandro, (abajo), una de nuestras ganadoras y dos de nuestros finalistas del concurso, respectivamente.

En la página opuesta, fotografías de la visita de estos concursantes a las instalaciones de ESAC, en Villafranca del Castillo.











ECOS DE (LA) SOCIEDAD

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.

EL IAA, DISTINCIÓN GRANADA DE PLATA

El Ayuntamiento de Granada ha otorgado al **Instituto** de **Astrofísica de Andalucía** el galardón Granada de Plata, en reconocimiento a la labor que esta institución realiza contribuyendo al engrandecimiento del nombre de Granada y a su promoción y reconocimiento exterior, iEnhorabuena!

PREMIOS TESIS DE LA SEA 2018

Los ganadores "ex aequo" del Premio SEA a la mejor tesis en Astrofísica de 2018 han sido **Isabel Santos Santos** (por su tesis "Dwarf galaxies in Λ CDM: Distribution around hosts, dust emission and internal structure") y **Daniel Elías Nóbrega Siverio** (con la tesis "Eruptive phenomena in the solar atmosphere: radiation-MHD modeling and code development"). El galardón a la mejor tesis en la modalidad de Instrumentación ha sido para **María Concepción Cárdenas Vázquez** (con la tesis "PANIC, una cámara de gran campo para el Observatorio de Calar Alto"). iNuestra más cordial enhorabuena a los tres por estos magníficos trabajos!

LICIA VERDE, DOBLEMENTE PREMIADA

La cosmóloga **Licia Verde** (ICCUB) ha sido distinguida con el Premi Nacional de Recerca 2018 concedido por la Generalitat de Catalunya y la Fundació Catalana per a la Recerca i la Innovació (FCRi). Este premio reconoce la investigación que haya contribuido recientemente y de manera significativa al avance de una disciplina científica. También ha recibido el premio Lodewijk Woltjer 2019 de la European Astronomical Society (EAS), por su trabajos en el campo de la cosmología teórica y observacional. iNuestra más cordial enhorabuena!

INMACULADA DOMÍNGUEZ ELEGIDA MIEMBRO DEL COUNCIL DE LA EAS

Nuestra compañera **Inmaculada Domínguez** (Universidad de Granda) ha sido elegida para formar parte del Council de la European Astronomical Society (EAS). El nombramiento se hará efectivo en la Asamblea General de la EAS que se celebrará en Lyon (EWASS-2019) el miércoles 26 de junio de 2019.

IGNASI RIBAS, PREMIO CIUTAT DE BARCELONA 2018

Nuestro compañero **Ignasi Ribas**, investigador científico del CSIC en el Institut de Ciències del Espai y director del Institut d'Estudis Espacials de Catalunya, ha sido galardonado con el Premi Ciutat de Barcelona 2018 en la categoría de ciencias experimentales y tecnología. En concreto, se ha premiado su trabajo "A Candidate Super-Earth Planet Orbiting near the Snow Line of Barnard's Star". iEnhorabuena, y que siga encontrando nuevos mundos fascinantes!

AMELIA ORTIZ-GIL, PREMIO EUROPLANET A LA DIVULGACIÓN

La astrofísica **Amelia Ortiz-Gil** (Universitat de València) ha sido galardonada con el Premio de Divulgación Europlanet 2019 (Europlanet Prize for Public Engagement 2019) por su "trabajo pionero en el desarrollo de recursos educativos y divulgativos de la astronomía para personas con necesidades especiales". iEnhorabuena!

NECROLÓGICAS

Este semestre hemos perdido a dos valiosos miembros de nuestra Sociedad, **Jordi Torra** y **Chus Martín**, dos personas muy entrañables que recordaremos todos siempre con gran cariño, agradecimiento y admiración. Descansen en paz.

LIBROS

LA NATURALEZA DE LA LUZ Breve historia bibliográfica

Pedro González Marhuenda ISBN: 978-84-9134-294-6

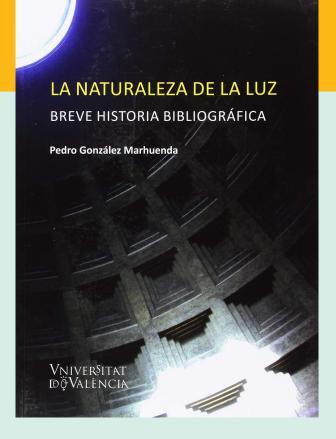
Editorial Publicacions de la Universitat de València (PUV) - col. Educació. Laboratori de Materials

Desde aquel mítico Fiat lux (Que se haga la luz), la luz nos invade durante el día enviada desde nuestro refulgente Sol y ha permitido el desarrollo de una biosfera en este planeta. Durante el último siglo la ciencia y la tecnología han conseguido extender artificialmente el día más allá de los ciclos naturales, aunque el uso abusivo de la iluminación nocturna nos impide ver las estrellas y afecta a la vida silvestre y la salud humana.

Pero ¿qué es la luz? A lo largo de la historia los científicos han tratado de caracterizar esta elusiva sustancia, procurando conocer su naturaleza y sus propiedades, intentando comprender el proceso por el cual captamos esa luz a través de los ojos y cómo podemos utilizarla en beneficio de la humanidad.

En una época en la que sabemos que la luz es un componente esencial de nuestra compresión del Universo, a través de la Relatividad y de la Cuántica, es bueno recordar aquellos primeros intentos de explicar el proceso de la visión, aquella idea primitiva de los rayos táctiles que tocaban los objetos y nos devolvían información de nuestro entorno, o cómo el astrónomo Kepler descubría la formación de las imágenes en la retina usando ojos de buey.

Este largo proceso intelectual de siglos de duración ha sido descrito de manera magnífica por Pedro González Marhuenda en La naturaleza de la luz, editado por Publicacions de la Universitat de València. En esta obra podemos seguir el recorrido histórico de la construcción de la idea moderna de la luz desde los primeros trabajos de los filósofos griegos, que ya describieron los fenómenos de la reflexión y refracción, hasta la última teoría en la que la luz es el campo electromagnético cuántico. Sin embargo este texto no es un libro de divulgación. Para disfrutarlo hace falta un conocimiento básico de matemáticas y física por lo que los estudiantes de física y de cualquier titulación de ciencias son su público natural. Evidentemente éstos ya estudian los fenómenos luminosos a lo largo de diversas materias en la carrera, pero carecen de una visión global de los avances históricos en el conocimiento de la naturaleza de la luz. Por ello en la obra se describen y deducen de manera didáctica y cronológica los principales experimentos y las ecuaciones relacionadas con la luz. Sin embargo es imposible mantener el mismo nivel de análisis a lo largo de la obra. En la descripción de la física cuántica,



en la que la luz tiene un papel fundamental, los últimos desarrollos han de reducir al mínimo sus detalles físicos y matemáticos debido a su complejidad.

Este libro es notable por varios aspectos. Primeramente cabe destacar que los nombres de los científicos y sus artículos están escritos en su lengua original, sean árabes, británicos, italianos o alemanes. En la sociedad multilingüe en la que ya vivimos es de agradecer el respeto a la diversidad lingüística.

También hay que hacer notar que en La naturaleza de la luz cada avance, cada experimento crucial está respaldado por su correspondiente artículo original, con su enlace en Internet al final del libro, artículos que el autor ha leído y transcrito al lenguaje actual de la física. Este esfuerzo intelectual de usar las fuentes originales tiene sus recompensas, ya que deshace falsas atribuciones, como la de que el danés Roemer realmente no fue el primero en calcular la velocidad de la luz, y también aporta felices descubrimientos, como el de la primera idea de la constancia de la velocidad de la luz en el vacío, que fue propuesta originalmente por el polifacético científico catalanofrancés François Aragó a partir del fenómeno de la aberración de la luz.

Finalmente son de admirar las figuras realizadas por Celia González, que salpican el libro describiendo de manera exacta los experimentos del texto, sin aproximaciones, reflejando claramente las dificultades de distinguir algunos resultados en el laboratorio.

En definitiva, un libro muy recomendable para recordar y muchas veces descubrir aspectos del proceso histórico que nos ha llevado a nuestra actual compresión de la naturaleza de la luz.

> Enric Marco Dept. Astronomia i Astrofísica Universitat de València

TESIS DOCTORALES

Formación estelar en el UV en discos de galaxias de la exploración S4G: estrangulamiento y emisión UV extensa

Autor: Alexandre Y. K. Bouquin (abouquin@iac.es)

Tesis doctoral dirigida por: Armando Gil de Paz Centro: Universidad Complutense de Madrid Fecha de lectura: 1 de junio de 2018

La tasa de formación de estrellas de las galaxias ha estado disminuyendo desde z=1 hasta el presente, lo que hace especialmente difícil el estudio de la cantidad y distribución espacial de dicha tasa de formación estelar en grandes muestras de galaxias del Universo Local. En esta tesis se ha intentado solventar dicha situación mediante el uso de observaciones en el rango ultravioleta (UV) de una muestra de galaxias cercanas de un tamaño sin precedentes, sobre la que se ha medido la tasa de formación de estrellas observada.

Partimos de la muestra de galaxias cercanas (d < 40 Mpc) denominada S⁴G (del inglés *Spitzer Survey of Stellar Structures in Galaxies*) que fue observada en su totalidad por el satélite *Spitzer* en sus bandas de 3.6 y 4.5 µm. Para llevar nuestro proyecto a cabo, recopilamos además todos los datos UV del satélite GALEX (del inglés *Galaxy Evolution Explorer*) disponibles públicamente para esta muestra, así como los productos en el infrarrojo generados por el equipo del proyecto S⁴G.

Realizamos la fotometría FUV y NUV para las 1931 galaxias de la muestra GALEX/S⁴G, obteniendo magnitudes asintóticas, perfiles de brillo superficial FUV y NUV y de color (FUV - NUV). También obtenemos para todos aquellos objetos donde la emisión UV es debida a estrellas masivas, usando la fotometría espacialmente resuelta, la densidad de formación de estrellas (SFR) observada y la tasa específica de formación de estrellas (sSFR). La SFR observada (sin corregir de extinción) se puede obtener directamente del FUV y la masa estelar de la luminosidad en la banda infrarroja cercana (nIR) de Spitzer de 3.6 µm.

diagrama color-color (FUV - NUV) vs. (NUV - 3.6 µm). Definimos tres clases de galaxias según su ubicación en el diagrama: la secuencia azul de GALEX (GBS, del inglés GALEX Blue Sequence), poblada principalmente por galaxias irregulares o espirales que están activamente formando estrellas, la secuencia roja de GALEX (GRS, del inglés GALEX Red Sequence) poblada por elípticas o lenticulares relativamente quiescentes, y una región intermedia denominada el valle verde de GALEX (GGV, del inglés GALEX Green Valley).

Las galaxias en el GGV tienen discosión COV seu de patrirelaza.

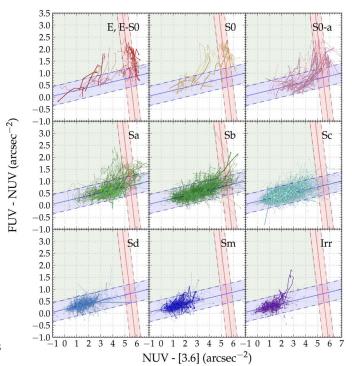
De las propiedades globales de las galaxias, construimos el

Las galaxias en el GGV tienen discos más rojos que sus homólogos no GGV, haciendo que la región GGV sea de naturaleza transitoria, en el sentido de que las galaxias podrían pasar en apenas 10º años de la GBS al GGV debido al progresivo enrojecimiento de sus discos por el cese o amortiguamiento de su SFR, o de la GRS al GGV por un rejuvenecimiento (aunque este segundo escenario parece menos probable a tenor de nuestros resultados).

La fotometría superficial combinada en UV y NIR nos permite determinar la distribución de la SFR observada y de la masa estelar dentro de cada galaxia, haciendo de este catálogo una colección sin precedentes de datos de las estructuras internas de las galaxias y una valiosa herramienta para estudios más detallados sobre la formación y evolución de las galaxias, tanto para objetos quiescentes (ETGs, del inglés Early-Type Galaxies) como para objetos en transición (GGV), así como para aquellos ejemplos más extremos de galaxias en actual crecimiento debido a su reciente actividad de formación de estrellas (XUV-disc galaxies, del inglés eXtended UltraViolet disc galaxies).

Nuestro catálogo de fotometría superficial UV y NIR nos sirvió para identificar todas aquellas galaxias con un alto ritmo de crecimiento de sus discos (debido a un aumento reciente de la SFR y la sSFR en las partes externas de estas galaxias) y determinar sus propiedaºdes. Estos objetos se corresponden con las galaxias con discos UV extensos. Además de identificar estos objetos a partir de nuestras medidas, caracterizamos sus propiedades tanto en lo referente a sus masas, tipos morfológico y entorno como en términos de su posición en los diagramas color-color desarrollados. Como trabajo en desarrollo y trabajo futuro fruto de esta tesis estamos actualmente observando con el Gran Telescopio Canarias las abundancias químicas de estos discos extensos.

Tesis disponible en: https://guaix.fis.ucm.es/dagal/thesis/main v7.pdf



Los diagramas color-color (FUV — NUV) vs. (NUV — [3.6]) espacialmente resueltos por tipo morfológico. Las regiones trazadas por una línea sólida y dos líneas discontinuas paralelas forman el GBS en azul y el GRS en rojo, y la región en el cuadrante del extremo superior izquierdo se sitúa el GGV, definido por Bouquin et al. (2015). Para cada galaxia, la medida del centro está representada por un triángulo y las otras medidas, tomadas cada 6 arcsec hacia las partes externas de las galaxias, están representadas por puntos conectados por una línea. Mostramos una selección aleatoría de galaxias en cada panel por una mejor visualización. Figura 11 en Bouquin et al. 2018, ApJS, 234, 18.

El peligro de impacto asociado a grandes meteoroides procedentes de la fragmentación de asteroides y cometas

Autor: Manuel Moreno Ibáñez Tesis doctoral dirigida por: Dr. Josep María Trigo Rodríguez y Dr. Maria Gritsevich Centro: Universitat Autònoma de Barcelona Fecha de lectura: 23 de noviembre de 2018

El impacto de grandes fragmentos desprendidos de cometas y asteroides contra la Tierra puede llegar a ser muy peligroso. Recientemente, sucesos como Chelyabinsk (2013), Carancas (2007) o Tunguska (1908) han demostrado la capacidad que tienen los meteoroides con diámetros entre 1 y 100 m para devastar grandes extensiones y amenazar a la población local, ya sea mediante la liberación de energía en la atmósfera o el impacto en la superficie. A pesar de la baja frecuencia de este tipo de sucesos, la preocupación entre agencias espaciales y otras iniciativas de defensa planetaria es creciente y ya están elaborando tácticas de mitigación ante posibles impactos. Este interés se extiende también en la comunidad científica. Además, el estudio de los meteoroides que impactan la atmósfera terrestre revela valiosa información sobre sus progenitores, los mecanismos que siguen para llegar a la Tierra y su habilidad para amenazar nuestro planeta. Así, esta tesis tiene por objeto dar respuesta a una serie de interrogantes sobre la física asociada al impacto y a las condiciones pre-impacto.

Este trabajo comienza explorando aspectos complejos de la dinámica orbital de meteoroides a través de dos fenómenos excepcionales. Por un lado, la actividad anual de las
Úrsidas aumenta cuando ciertos enjambres de meteoroides
desprendidos del cometa 8P/Tuttle hace 620 años impactan
la Tierra encontrándose el cometa en su afelio orbital. Los
incrementos de actividad cuando el cometa está en su afelio
no son comunes y por tanto las Úrsidas ofrecen nuevas claves sobre la mecánica orbital. Por otro lado, si la trayectoria
atmosférica de un meteorito, como es Annama, se obtiene
de manera precisa, este se puede vincular orbitalmente con
un cuerpo celeste. Dada la rápida evolución orbital de los
NEA (del inglés Near Earth Asteroids, considerados posibles
progenitores), este estudio nos permite acotar mejor sus órbitas y predecir futuros impactos.

La segunda parte de la tesis versa sobre la caracterización del vuelo atmosférico de un meteoroide. Los modelos actuales son capaces de considerar la ablación y fragmentación de un meteoroide en la atmósfera, pero aún no es posible comprender completamente, ni de manera observacional ni numérica, el vuelo hipersónico de un meteoroide en la región definida por la mesosfera y baja termosfera donde el gas se considera rarificado. Esta tesis presenta la primera comprobación observacional de los regímenes de vuelo para meteoroides centimétricos a estas alturas y discute las consecuencias que origina la formación de una onda de choque en la física del vuelo del meteoroide. Además, las ondas de choque están íntimamente relacionadas con la energía depositada por el meteoroide a distintas alturas, magnitud que también se puede acotar conociendo su altura terminal. Así, esta tesis se ofrece también una nueva metodología para calcular estas alturas. Los resultados obtenidos son muy precisos y muestran que el cálculo de las alturas terminales es muy útil para derivar otros parámetros del vuelo del meteoroide. Es más, el planteamiento usado ofrece una nueva manera de clasificar los impactos de meteoroides y mejorar escalas anteriores.

Por último, se discute la extrapolación de los estudios anteriores a cuerpos de diferentes tamaños. Aunque menos peligrosos, los impactos de cuerpos inferiores a 1 m son los más frecuentes y, en consecuencia, nutren las bases de datos y resultan fundamentales para abordar el estudio de meteoroides. La extrapolación de las conclusiones obtenidas previamente a objetos más grandes puede revelar claves sobre la física subyacente y aportar nuevas predicciones sobre el riesgo asociado a impactos energéticos. Los resultados de esta investigación proveen también un enfoque alternativo al desarrollo de modelos numéricos, tanto actuales como futuros, que hasta hoy han sido fundamentales para afrontar el estudio de meteoroides.

Comprendiendo las partes externas de las galaxias de disco

Autor: Alejandro Serrano Borlaff Tesis doctoral dirigida por: John E. Beckman y María del Carmen Eliche-Moral Centro: Instituto de Astrofísica de Canarias /

Centro, instituto de Astronsica de Carianas , Universidad de la Laguna

Universidad de la Laguna

Fecha de lectura: 30 de noviembre 2018

Las regiones externas de las galaxias contienen múltiples pistas sobre los procesos de formación que dieron lugar a los distintos tipos morfológicos observados en la actualidad y su evolución. Sin embargo, el análisis del Universo a bajo brillo superficial está limitado por la profundidad de las imágenes actuales y la presencia de diversos tipos de efectos sistemáticos: efectos de proyección, contaminación por función de dispersión de punto (PSF) o sobresustracción de nivel de cielo, entre otros. En esta tesis doctoral nos centramos en el estudio de las propiedades de las partes externas de las galaxias de disco, combinando simulaciones, modelos y observaciones con nuevos métodos y herramientas estadísticas para evitar efectos sistemáticos.

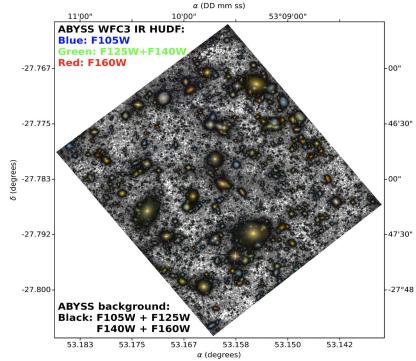
En la primera parte de esta tesis (Borlaff et al., 2016) nos centramos en el efecto del incremento de la escala vertical de disco como función del radio galáctico sobre los perfiles de brillo superficial de galaxias de canto. Este fenómeno (llamado flaring) ha sido detectado en el disco estelar de simulaciones de galaxias y en galaxias reales, incluyendo la propia Vía Láctea. Mediante el uso de modelos de galaxias 3D realistas basados en observaciones, demostramos que los flares pueden producir truncamientos en los perfiles de brillo superficial de galaxias con muy alta inclinación. Por otro lado, los flares no producen ningún efecto en galaxias a baja inclinación, lo cual explica parcialmente la relativa alta frecuencia de detección de truncamientos en galaxias de canto. Además, nuestros modelos reproducen la distribución del cociente entre las escalas de disco interna y externa al truncamiento (Martín-Navarro et al., 2012), previamente asociada a una caída brusca en la tasa de formación estelar. Finalmente, observamos que los flares explican la caída en la intensidad de los truncamientos a mayores distancias del plano galáctico observada por Pohlen et al. (2007) y Martínez-Lombilla et al. (2018).

En Borlaff et al. (2017, 2018) analizamos las propiedades de los discos antitruncados de galaxias lenticulares a distancias cosmológicas. El objetivo es comprobar si las relaciones de escala en estructura y fotometría descubiertas previamente en Borlaff et al. (2014) en galaxias lenticulares con perfil Tipo III a z=0 son compatibles con una muestra de objetos del mismo tipo fuera del Universo Local. En Borlaff et al. (2017) identificamos una muestra de galaxias de la secuencia roja en el campo cosmológico GOODS-N, clasificándolas morfológicamente por su forma aparente, perfil de brillo superficial y la tasa de formación estelar (SFR). Después, descomponemos y corregimos las imágenes de efectos de PSF. Generamos perfiles de brillo superficial y los clasificamos en los distintos subtipos mediante el uso de herramientas estadísticamente robustas desarrolladas por nosotros con este objetivo. Finalmente identificamos 14 galaxias S0 con perfiles Tipo III a 0.2<z<0.6.

En el segundo artículo de la serie (Borlaff et al., 2018), analizamos las propiedades estructurales y fotométricas de los discos antitruncados de esta muestra, comparándolas con una muestra de objetos del mismo tipo en el Universo Local. Los resultados muestran que la estructura general de los discos antitruncados en galaxias lenticulares no ha cambiado significativamente desde 0.4 < z < 0.6, aunque su brillo en la banda R ha disminuido en $\Delta\mu \sim 1.5$ mag arcsec-2 desde $z \sim 0.6$. Comparamos los resultados con una red de evolución de modelos

de población estelar única (del inglés single stellar population, SSP) con el objetivo de obtener una estimación sobre la época de formación de la población estelar dominante en las galaxias SO Tipo III. Los modelos muestran que, si la historia de formación estelar (del inglés star formation history, SFH) de las SO Tipo III puede aproximarse como un único brote de población estelar, este brote tuvo que tener lugar a z<1.2. En cualquier otro caso, la SFH debe ser más extendida en el tiempo o presentar diversos brotes de formación estelar.

El último capítulo de la tesis está dedicado a las observaciones en infrarrojo cercano (NIR) del Campo Ultra Profundo de Hubble (HUDF). Para continuar el análisis de las partes externas de galaxias de disco hacia rangos mayores de desplazamiento al rojo son necesarias observaciones en el rango espectroscópico del NIR. Sin embargo, el límite de brillo superficial de la mayor parte de las exploraciones desde telescopios en Tierra o espaciales está dominada por efectos sistemáticos, en lugar del cociente de señal a ruido. Los efectos de sobresustracción de cielo, contaminación de PSF, persistencia en el NIR y residuos de corrección de campo plano generan desviaciones irreversibles en los mosaicos finales y por lo tanto en los resultados científicos. Mitigar estos efectos requiere un tratamiento cuidadoso y robusto de las exposiciones individuales. Se ha observado que la estructura de bajo brillo superficial de los mosaicos de HUDF obtenidos usándo la cámara WFC3/IR del Hubble Space Telescope (ver XDF, Illingworth et al., 2013; HUDF12, Koekemoer et al., 2013) fue significativamente sobresustraída durante el proceso de reducción de los datos. En Borlaff et al. (2019)1 probamos una serie de técnicas para mejorar el proceso de reducción de datos de WFC3/IR en el HUDF. Estos métodos incluyen autocalibración de campo plano, corrección de persistencia, corrección de gradientes residuales y ajuste del nivel de cielo relativo de las exposiciones, así como combinación robusta de las imágenes. Como resultado de estas mejoras, recuperamos la estructura externa de las galaxias presentes en los mosaicos, aumentando la profundidad de las imágenes debido a la reducción de los efectos sistemáticos (ver figura). Finalmente, concluimos que nuestra versión del HUDF preserva mejor las propiedades de los objetos a todas las escalas angulares y de intensidad y por lo tanto es la imagen más profunda del Universo tomada desde el espacio hasta la fecha. Esto nos permitirá analizar la evolución de los discos y halos de galaxias à z>1 y aplicar estas técnicas en futuras misiones como James Webb, Euclid o Messier.



¹ El proyecto ABYSS de imagen ultraprofunda con HST: http://www.iac.es/proyecto/abyss/

PANIC, una cámara infrarroja de gran campo para el Observatorio de Calar Alto

Autora: M. Concepción Cárdenas Vázquez (conchi@mpia.de)

Tesis doctoral dirigida por: Julio Federico Rodríguez Gómez Centro: Universidad de Granada

Fecha de lectura: 12 de diciembre de 2018

En la presente Memoria de Tesis Doctoral se presenta el estudio teórico, el diseño óptico, la construcción y la verificación de PANIC, una cámara infrarroja de gran campo para los telescopios de 2.2 m y 3.5 m de apertura del Observatorio de Calar Alto (Almería, España).

Se expone el desarrollo del diseño óptico desde el inicio del proyecto, incluyendo la recogida y traslación a parámetros ópticos de los requerimientos y siguiendo las distintas etapas de diseño hasta el diseño final. Asimismo se describe el proceso de ensamblaje, integración y verificación del instrumento en laboratorio y el ajuste y su verificación una vez instalado en el telescopio. Además se comparan las prestaciones del diseño con las obtenidas en los telescopios tras los primeros resultados conseguidos durante la fase de comisionado del instrumento.

Dicha cámara infrarroja abarca un campo de visión de 30×30 arcmin² en el telescopio de 2.2 m de apertura y de 15×15 arcmin² en el telescopio de 3.5 m, con un muestreo del mismo de 4096×4096 píxeles de $18\,\mu\text{m}$. El rango espectral de trabajo es el infrarrojo cercano, cubriendo desde 0.8 a $2.5\,\mu\text{m}$ en longitud

de onda para las bandas espectrales desde la Z a la $K_{\rm s}$. También puede trabajar con filtros estándares estrechos (llegando hasta un ancho de banda de paso del 1% de la longitud de onda central del filtro). La cámara opera acoplada al foco Cassegrain de estos telescopios.

El extenso campo de visión requerido en el telescopio de 2.2 m de apertura, así como el rango espectral deseado, comprende varios retos importantes. En primer lugar ha habido que afrontar el desafío del diseño de lentes de gran tamaño, la optimización de un sistema con aberraciones muy severas fuera de eje (en particular, astigmatismo y curvatura de campo) y, a la par, la minimización de las aberraciones cromáticas debido al amplio rango espectral. En segundo lugar, al trabajar acoplada al foco Cassegrain del telescopio, nace el reto de doblar el camino óptico para empaquetar el instrumento dentro de la envolvente física permisible para esta condición de operación.

Además, PANIC es un instrumento criogénico, siendo sus condiciones de operación 95 K de temperatura y condiciones de vacío (~10⁻⁶ mbar), mantenidas gracias a un criostato enfriado por nitrógeno líquido. La causa por la que las condiciones de funcionamiento del instrumento son tan extremas está relacionada con el rango espectral de trabajo y por el tipo de detector. El detector requiere esas temperaturas para obtener una relación señal a ruido máxima, mientras que la minimización de la radiación de fondo térmico que llega al detector, en particular en la banda K, requiere el enfriamiento de todo el camino óptico y del bloqueo de todo objeto caliente externo al campo de interés. Las prestaciones del instrumento, como son la escala de placa. el campo de visión, la calidad de imagen y la distorsión en todo el campo, medidas en ambos telescopios, confirman que PA-NIC cumple los requerimientos exigidos, por lo que cabe esperar que las observaciones que se realicen con este instrumento puntero de la Astronomía mundial permitirán realizar estudios de primera calidad a la comunidad astronómica internacional.

Tesis disponible en: http://digibug.ugr.es/handle/10481/54456

Barril óptico 3

lentes

Rueda de

pupilas frías

Barril óptico 4

Vista del banco óptico de PANIC durante su integración en laboratorio. Toda la óptica y los detectores están instalados.
La luz entra desde abajo, por la ventana de entrada del criostato.

Estructura de espejos de

Página de la izquierda: Imagen a color combinada con luminancia en blanco y negro, mostrando la profundidad total de la versión ABYSS de los mosaicos en infrarroio cercano tomados en el Campo Ultra Profundo de Hubble (HUDF) con la cámara WFC3/IR de HST (Borlaff et al., 2019). Las regiones con alta señal a ruido (los centros brillantes de las galaxias) se representan a color (Rojo: F160W, Verde: promedio de las bandas F125W y F140W, Azul: F105W). Para aumentar el contraste visual, las regiones con baja señal a ruido se representan como la media de los cuatro filtros en blanco y negro (en negro se representan zonas más brillantes que el fondo blanco), de forma similar a la escala de las placas fotográficas. Borlaff et al. (2019).

> Criostato del instrumento

Número 40, Verano 2019 51

Criostato dedicado para el enfriamiento del detector

Mosaico de

detectores

de campo

Tubos de rellenado para nitrógeno líquido

Meteorología de la atmósfera de Marte durante la misión *Mars Science Laboratory: dust devils* y tormentas de polvo

Autor: Iñaki Ordóñez Etxeberria Tesis doctoral dirigida por: Ricardo Hueso Alonso y Agustín Sánchez Lavega Centro: Escuela de Ingeniería de Bilbao -Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea

Fecha de lectura: 20 de diciembre de 2018

En esta tesis se aborda el estudio de la atmósfera de Marte a nivel de superficie con datos provenientes de la estación meteorológica REMS, uno de los instrumentos del *rover* de NASA *Curiosity* situado en el interior del cráter Gale. Estos datos se han complementado con observaciones orbitales obtenidas por el instrumento MARCI en el orbitador MRO. Los datos observacionales se han interpretado a partir de la comparación con los resultados de modelos de circulación general almacenados en forma de base de datos climática en la *Mars Climate Database* (MCD).

El periodo estudiado en esta tesis cubre desde el 6 de agosto de 2012, fecha del aterrizaje de la misión *Mars Science Laboratory*, hasta el 8 de noviembre de 2016, lo que corresponde a más de dos años marcianos. Estos datos permiten estudiar las variaciones meteorológicas diarias y estacionales, el paso de tormentas de polvo, efectos locales asociados a la interacción de la atmósfera con la topografía y eventos transitorios como el paso de vórtices convectivos capaces de levantar columnas de polvo de la superficie, conocidos como *dust devils*.

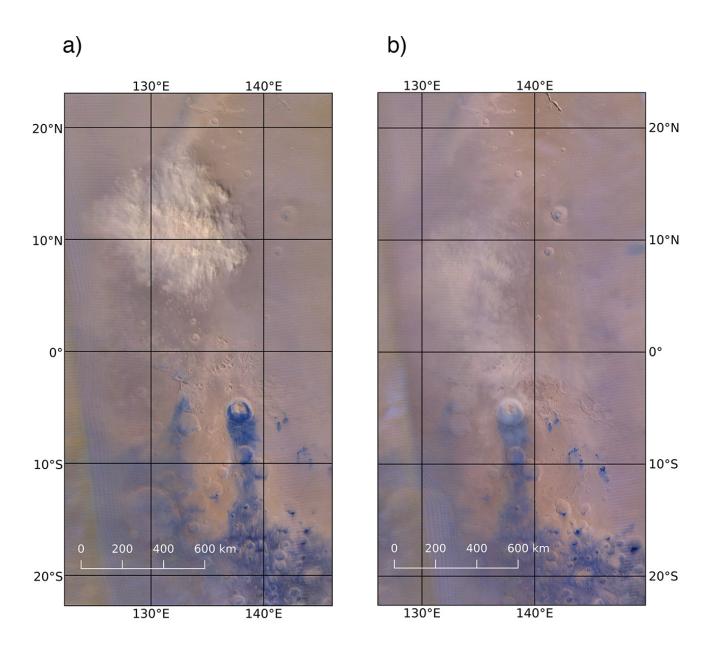
Estos últimos eventos son de especial interés en el estudio de la meteorología marciana. Al igual que en la Tierra, el calentamiento por radiación solar de la superficie permite que se generen corrientes diurnas ascendentes que concentran la vorticidad local formando remolinos de aire. Cuando estos alcanzan suficiente velocidad pueden levantar polvo de la superficie mostrándose visibles y formando dust devils. En Marte estos son mucho más numerosos que en la Tierra y son uno de los mecanismos más importantes en el ciclo del polvo en la atmósfera del planeta. A partir de la señal de presión medida por REMS se han caracterizado la frecuencia con la que se forman estos eventos, su intensidad, su variación diaria y estacional y las diferencias interanuales debidas a las distintas posiciones recorridas por el rover Curiosity. Además, se han caracterizado también fenómenos de variación de presión similares que ocurren de noche y que posiblemente son producidos por turbulencia forzada mecánicamente por vientos de ladera fuertemente estacionales.

Por otro lado, el estudio mediante la metodología propuesta en este trabajo de los datos de presión obtenidos por REMS permite detectar la formación de tormentas de polvo en la superficie de Marte incluso a grandes distancias del cráter Gale. Esto es posible gracias a las perturbaciones en el campo de presión que las tormentas de polvo producen y que en esta tesis se muestra mediante el estudio combinado de las medidas de presión en Gale, las observaciones orbitales del planeta y la comparación de las medidas meteorológicas con valores climáticos de la base de datos MCD. En este trabajo se ha caracterizado la respuesta local en el campo de presión a la formación de varias tormentas de diferente escala durante dos años marcianos. Durante el periodo de tiempo cubierto en esta tesis tan solo una de estas tormentas de polvo atravesó la localización del *rover Curiosity* permitiendo caracterizar la respuesta in situ al paso de la tormenta.

En todos los fenómenos meteorológicos analizados, la presencia de polvo en la atmósfera marciana juega un papel fundamental de un modo que tan solo se produce en este planeta. El polvo en suspensión en la atmósfera no solo es protagonista en eventos como los *dust devils* o tormentas de polvo donde puede ser muy abundante, sino que su distribución global condiciona aspectos importantes de la circulación atmosférica y de la variabilidad diaria provocando comportamientos específicos en el campo de presión y temperatura, como diferentes amplitudes en la variación diurna de estos parámetros.

Los estudios realizados en esta tesis tendrán su continuación a corto plazo con la llegada de nuevas misiones espaciales equipadas con estaciones meteorológicas, como son la misión *Insight* que aterrizó a finales de 2018 y su estación meteorológica *Twins*, y la misión *Mars 2020* y su estación meteorológica MEDA. De este modo será posible el estudio de la meteorología marciana con una red discreta de estaciones meteorológicas y observaciones orbitales. Así, el trabajo presentado en esta tesis puede considerarse como preparatorio para una nueva era de datos sobre la atmósfera de Marte que permitirá dar respuesta a algunas de las preguntas que se plantearán como resultado de esta investigación.

Evolución sobre el cráter Gale de una tormenta local de polvo analizada en este trabajo. a) Imagen tomada por MARCI durante el sol 852. b) Dispersión de la tormenta durante el sol 853 alcanzando el cráter Gale.







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