



SEA

Sociedad Española de Astronomía



Portada: Nebulosa del Velo, junto a la estrella Giennah (ϵ Cygni). Imagen obtenida con filtros S-II, N-II, H- α y O-III y teleobjetivo de 180 mm de distancia focal. Las imágenes de las nebulosas obtenidas con cada filtro se han acumulado en una imagen final en escala de grises.

Créditos: Vicent Peris, Observ. de Aras de los Olmos, Observatori Astronòmic de la Universitat de València.

Comité editorial:

Antxon Alberdi Odriozola

Nuria Huélamo

José María Diego

César Esteban

Marc Ribó

Íñigo Arregui Uribe-Echevarría

Fernando J. Ballesteros Roselló

Amelia Ortiz Gil

Diseño:

Fernando J. Ballesteros Roselló

Vicent Peris Baixauli

Maquetación:

Fernando J. Ballesteros Roselló

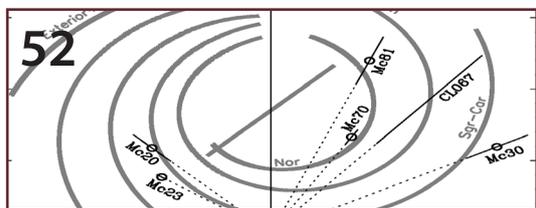
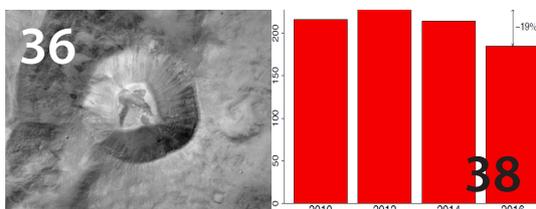
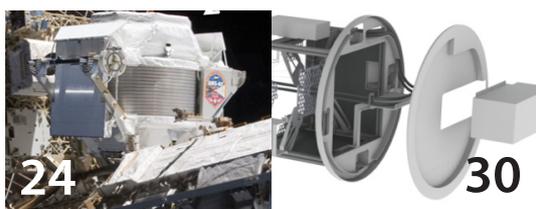
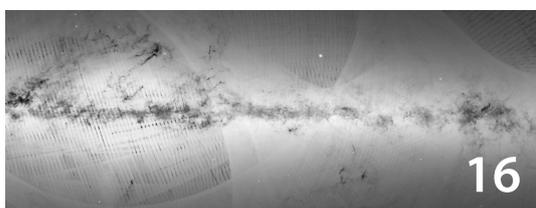
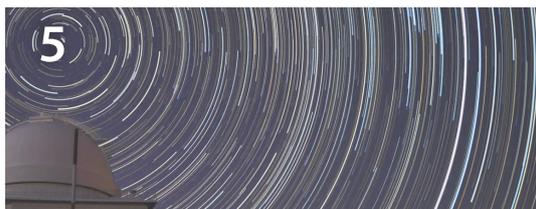
Sociedad Española de Astronomía SEA

www.sea-astronomia.es

Comisión de Información

comi-info@sea.am.ub.es

CONTENIDOS



- 5 Editorial
- 6 Proxima b, enanas rojas y la vida de un proyecto de investigación detrás de las cortinas
- 16 El primer mapa de la Galaxia dibujado por Gaia
- 24 Cinco años de toma de datos de AMS
- 30 MEGARA, el nuevo espectrógrafo de campo integral y multi-objeto para el GTC
- 36 ExoMars llega a Marte
- 38 Segundo estudio de recursos humanos en astronomía y astrofísica en España
- 42 Astronomía en Ciencia en Acción
- 46 Divulgación inclusiva de la astronomía ¿es posible?
- 50 Ecos de (la) Sociedad
- 51 Libros
- 52 Tesis doctorales



El cielo gira sobre Calar Alto.
Imagen de Emilio Gutiérrez, de la
Asociación Astronómica de Burgos.

EDITORIAL

A mitad del verano, saltaba a la actualidad el fantástico descubrimiento de un planeta en torno a Próxima Centauri, la estrella más cercana al sol, a tan solo cuatro años luz de la Tierra. Además, el planeta es similar al nuestro y se encuentra en la zona de habitabilidad de la estrella, abriendo así unas avenidas de investigación fascinantes. En este Boletín, el líder del equipo de investigación (Guillem Anglada-Escudé) nos cuenta los detalles de la investigación, en la que ha habido una participación fundamental de astrónomos de la SEA.

Este Boletín es un muestrario de la actividad científica tan variada que se desarrolla en España. Presentamos la primera entrega de datos de GAIA (Carme Jordi y Jordi Torra), describimos la ciencia que se realiza con el experimento AMS en la Estación Espacial Internacional (Javier Berdugo y Carlos Mañá), conocemos al nuevo espectrógrafo para GTC -MEGARA- que se instalará en primavera de 2017 (Armando Gil-Paz), y damos la bienvenida a los primeros datos de la misión EXOMARS (Francisco González-Galindo). Hacemos un breve resumen del informe de recursos humanos (Javier Gorgas) que fue presentado en la "Reunión Científica" de la SEA de Bilbao. También la divulgación tiene cabida en el Boletín, con un artículo sobre la presencia de la Astronomía en "Ciencia en Acción" (Rosa M. Ros) y otro sobre Astronomía inclusiva (Enrique Pérez-Montero).

Coincide el lanzamiento del Boletín, con la renovación a fecha 1 de enero de 2017 de la Junta Directiva de la SEA. Salen su actual Presidente, Javier Gorgas, y dos de sus vocales, Jesús Maíz-Apellániz y María Jesús Martínez. Desde estas líneas les agradecemos su enorme trabajo y su dedicación a la SEA. Durante la presidencia de Javier, la coyuntura nacional no ha sido sencilla, con grandes recortes presupuestarios en las partidas de investigación. La SEA se ha posicionado ante ello, contribuyendo de forma importante a los informes de situación de la COSCE y reaccionando de forma activa ante situaciones difíciles como la que vivió el observatorio de Calar Alto. Por otro lado, en estos años la SEA ha emprendido nuevas iniciativas de toda índole, como la coordinación de la campaña de la estrella Cervantes, la continuación y periodicidad de los estudios de recursos humanos de la Astronomía española, la creación del Premio SEA a la mejor tesis en "Instrumentación, Computación y Desarrollo Tecnológico" en Astronomía y Astrofísica, o la implicación de la SEA en redes sociales. Ha sido un trabajo intenso y fructífero, que ha fortalecido a la Sociedad. Gracias por vuestro esfuerzo y suerte en vuestra carrera profesional. Francesca Figueras será la nueva Presidenta de la SEA y se incorporan Benjamín Montesinos (nuevo Vicepresidente), Mercedes Mollá y Manuel Collados. Mucho éxito para todos ellos.

Desde el equipo editorial queremos desearos una Feliz Navidad y lo mejor para el año 2017.

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

El descubrimiento de un planeta (posiblemente) terrestre en una órbita templada alrededor de *Proxima Centauri* es un hito emocionante, pero no debería haber cogido a ningún experto por sorpresa. Para entender la razón por la cual el resultado ocurrió ahora y su relevancia, hay que ponerlo en el contexto de la búsqueda de planetas de las últimas dos décadas. En particular, por cómo los dos métodos de detección (Doppler y tránsitos) han evolucionado con el tiempo y lo que hemos aprendido de ellos en los últimos años.



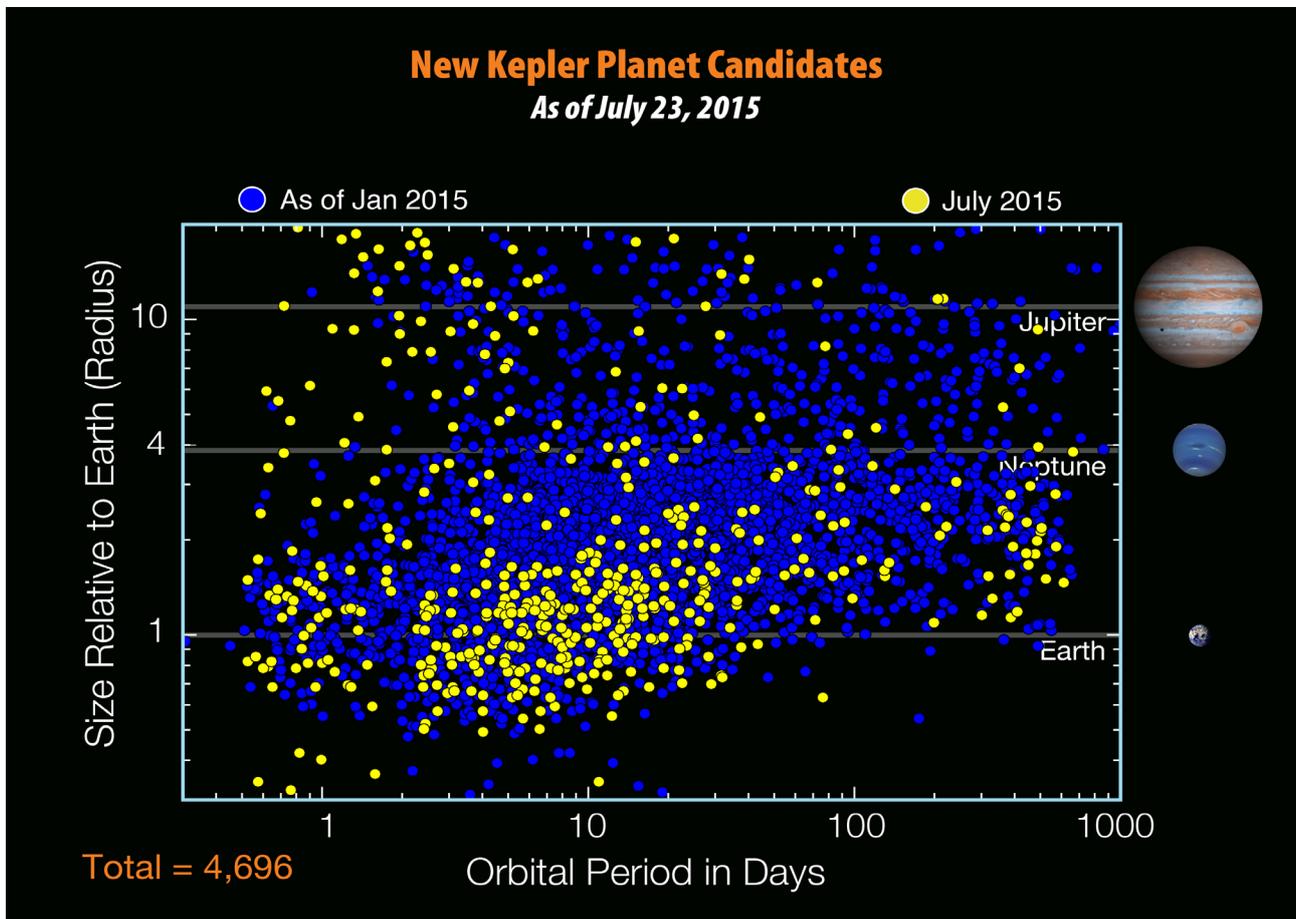
Guillem Anglada Escudé
Queen Mary University of London
g.anglada@qmul.ac.uk

La carrera para la búsqueda de planetas alrededor de estrellas de la secuencia principal empezó hace 21 años con el descubrimiento de los astrónomos suizos M. Mayor y D. Queloz (Nature 1995) de un gigante gaseoso en una órbita compacta alrededor de la estrella 51 Pegasi. Desde entonces, alrededor de 3000 candidatos a planetas han sido reportados. Muchos de los descubrimientos iniciales consistieron en este tipo de Júpiter calientes, pero las diversas técnicas usadas empezaron a desarrollarse permitiendo la detección de mayor variedad de sistemas. Así pues, en el año 2000 se detectó el primer planeta con el método del tránsito (también un Júpiter caliente), y planetas de tipo Neptuno siguieron en los primeros años de la primera década del siglo XXI. A fecha de 2010, el método Doppler era la técnica con más éxito, marcando hitos como la primera detección de Neptunos y supertierras alrededor de estrellas de tipos espectrales FGK y algunas (pero no muchas) estrellas de tipo M (enanas rojas).

EL MÉTODO DEL TRÁNSITO: LECCIONES APRENDIDAS

La mayoría de la información sobre poblaciones y variedad de sistemas planetarios proviene de estas dos técnicas: las velocidades radiales y el método del tránsito. El método del tránsito se basa en el hecho de que cuando observamos varios miles de estrellas simultáneamente (más de 10 000 para ser realmente eficaces) la orientación aleatoria de las órbitas permite la detección de pequeñas disminuciones en la luz de las estrellas cuando los planetas pasan entre el observador (nosotros) y la estrella, y que esta señal se repite en cada órbita. Este método es muy sensible a planetas de corto periodo dado que la probabilidad de tránsito es inversamente proporcional al semieje mayor de la órbita.

La máquina de detección de tránsitos responsable de la segunda gran revolución en la comprensión de sistemas planetarios ha sido la misión Kepler de NASA. Kepler fue diseñado para descubrir objetos del tamaño de la Tierra transitando estrella de tipo solar. Aún así, la gran mayoría de sus descubrimientos consiste en planetas con órbitas mucho más compactas (incluso más cercanas que la órbita de Mercurio) y tamaños entre 1 y 4 radios terrestres. Esta sobreabundancia de sistemas compactos (que también tienden a contener varios planetas



Detecciones de candidatos a planeta de Kepler. El eje horizontal representa el periodo orbital y el vertical el radio del planeta (la tierra estaría a la derecha de la figura). Dado que la probabilidad de tránsito es mayor para planetas mas cercanos a la estrella, y dada la sobreabundancia de sistemas planetarios compactos en orbitas de corto periodo, la mayoría de detecciones de Kepler consisten en planetas algo mayores que la Tierra en periodos orbitales entre 5 y 50 días (parte central-baja de la figura). Estas órbitas son muy calientes para estrellas como el Sol, pero en el caso de las enanas rojas debido a su baja luminosidad, las temperaturas de estos planetas en este tipo de orbitas serian adecuadas para mantener océanos de agua liquida en su superficie. Resultados de Kepler como este ya anticipaban una alta probabilidad de que *Proxima Centauri* tuviera planetas tipo terrestre en órbitas templadas. Créditos: NASA/The Kepler Space mission kepler.nasa.gov

cada uno) no fue anticipada. Además, Kepler reveló que este tipo de arquitecturas son de hecho las más comunes alrededor de las estrellas de la muestra. Para estrellas de tipo solar (FGK), los planetas en sistemas compactos están altamente irradiados con temperaturas en superficie muy por encima de la que Mercurio experimenta con el Sol. Aún así, la omnipresencia de este tipo de arquitecturas no parece depender fuertemente de la masa de la estrella. Como consecuencia, sistemas planetarios compactos alrededor de estrellas de tipo M (enanas rojas)

tendrían uno o más planetas de tamaños comparables a los de la Tierra en órbitas templadas, donde el agua liquida podría existir en su superficie. Este es el resultado de Kepler más crucial en anticipación al descubrimiento de *Proxima b*. Más aún, estudios focalizados en la muestra de estrellas enanas rojas de Kepler (por ejemplo, los de Dressing & Charbonneau 2013 y 2015, ApJ) indicaban no solamente que estos planetas eran bastante comunes en enanas M, sino que había una tendencia clara a planetas más pequeños (y por lo tanto más probablemente rocosos)

hacia los tipos espectrales más tardíos. La muestra de Kepler de estrellas M contiene solamente 4000 estrellas (a comparar con el tamaño total de ~150 000, la mayoría de ellas tipos F, G y K) y queda limitada a enanas rojas relativamente masivas (entre 0.3 y 0.5 masas solares), por lo que la población de sistemas planetarios en estrellas aún más pequeñas solo podía extrapolarse de forma aproximada. Aunque Kepler haya tenido tanto éxito, la mayoría de estrellas de Kepler tienden a estar muy lejos (>500 pc) y a ser débiles. Esto es consecuencia del requerimiento de necesitar decenas de miles de objetos para obtener muestras estadísticamente significativas. Como resultado, las ~3000 estrellas del entorno solar se mantienen relativamente inexploradas. Alrededor del 75% de estas estrellas cercanas son enanas rojas.

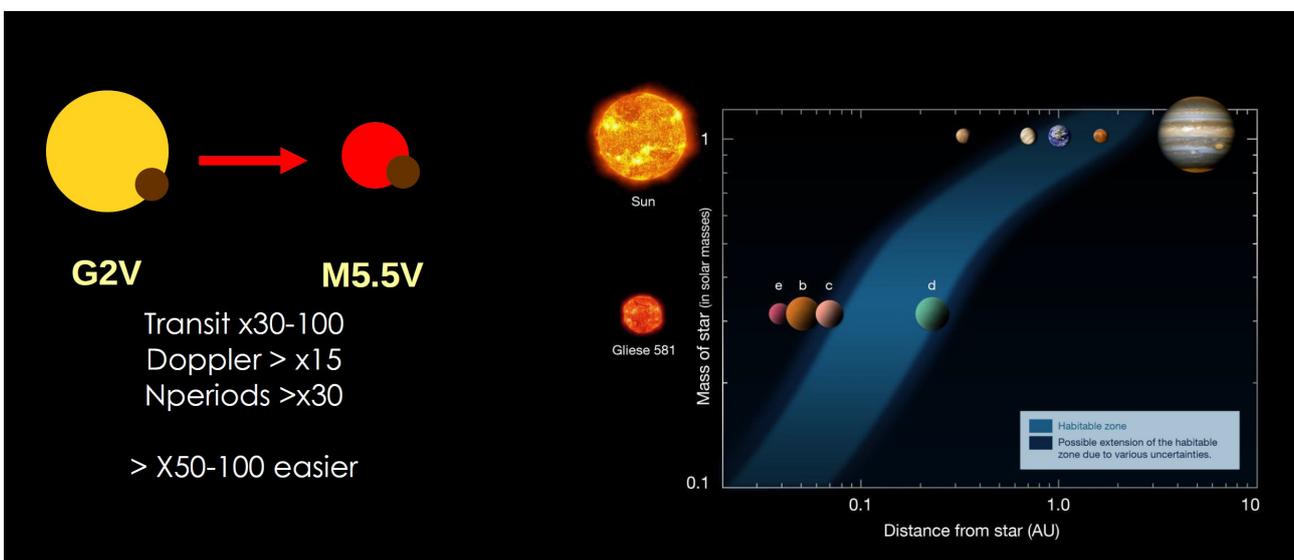
EL MÉTODO DE LA VELOCIDAD RADIAL: LECCIONES APRENDIDAS

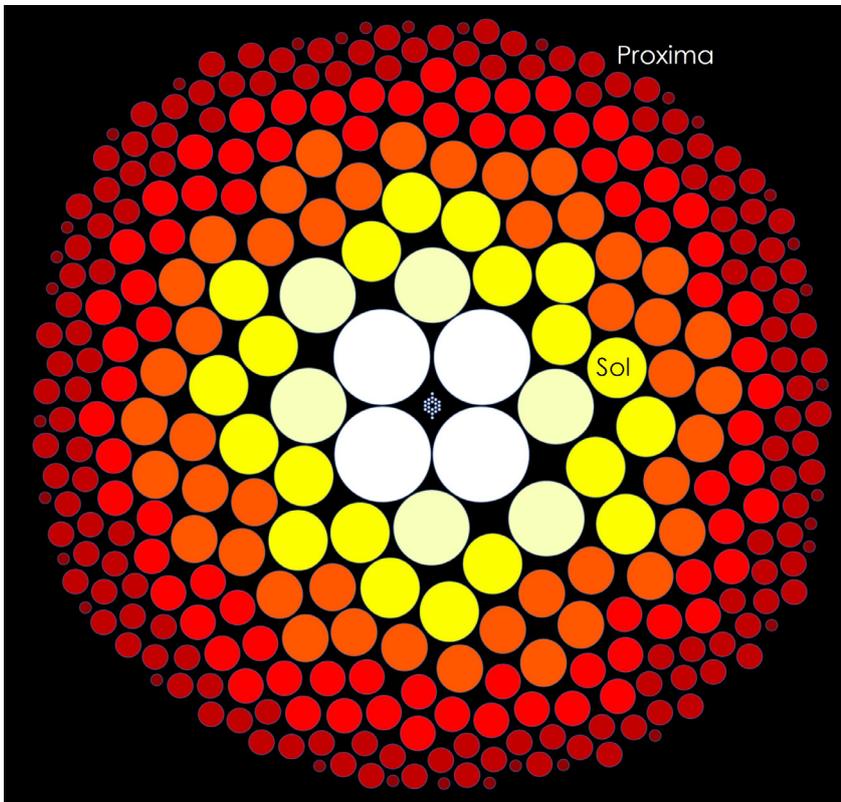
Por otro lado, el método de la velocidad radial (o método Doppler), es bastante menos sensible a la orientación de la órbita, y uno puede demostrar que -dada una cierta precisión- la gran mayoría de los planetas orbitando estas estrellas van a ser detectables con

este método (unos pocos no van a detectarse si la órbita es perpendicular a la visual, pero puede demostrarse que esta situación es bastante improbable usando argumentos geométricos solamente). Al igual que el de los tránsitos, el método Doppler es más sensible a planetas alrededor de estrellas pequeñas. Tal y como discutiremos más tarde, el equivalente de la población de sistemas compactos de Kepler en estrellas M cercanas está al alcance de la instrumentación existente si se aplican estrategias optimizadas con respecto al muestreo típicamente usado por los surveys de la última década.

Como ejemplo para mostrar la ganancia en sensibilidad, podemos comparar la señal Doppler (amplitud de la modulación en la velocidad de la estrella) para el Sistema Tierra-Sol, y para el equivalente a Tierra-*Proxima Centauri*. Tres factores contribuyen significativamente en la ganancia: 1) La menor masa de la estrella resulta en una velocidad radial proporcionalmente mayor; 2) Las enanas rojas son más débiles, las órbitas templadas están más cerca de la estrella y -como

Más allá de la ventaja en la señal Doppler debido a una masa estelar más pequeña, la baja luminosidad de las enanas rojas hace que las órbitas templadas estén muy cerca de la estrella y tengan periodos orbitales muy cortos. Eso ayuda a amplificar la señal Doppler y además la más frecuente repetición de la señal causada por la órbita del planeta hace mucho más fácil la detección de planeta con características similares a las de la Tierra. Créditos: G.Anglada-Escude (panel izquierdo), European Southern Observatory (panel derecho).





Este infográfico resume la población de estrellas en el entorno Solar. Aunque las más masivas y calientes acumulan la mayor parte de la masa y luminosidad, las pequeñas enanas rojas claramente dominan la población en número de objetos. El Sol es una estrella amarilla y está dentro del 20% de las estrellas más masivas de su entorno. Proxima Centauri en cambio, pertenece a la numerosa población de enanas rojas (70% de los objetos caen dentro de esta categoría). Créditos: Todd Henny/The RECONS consortium, www.recons.org.

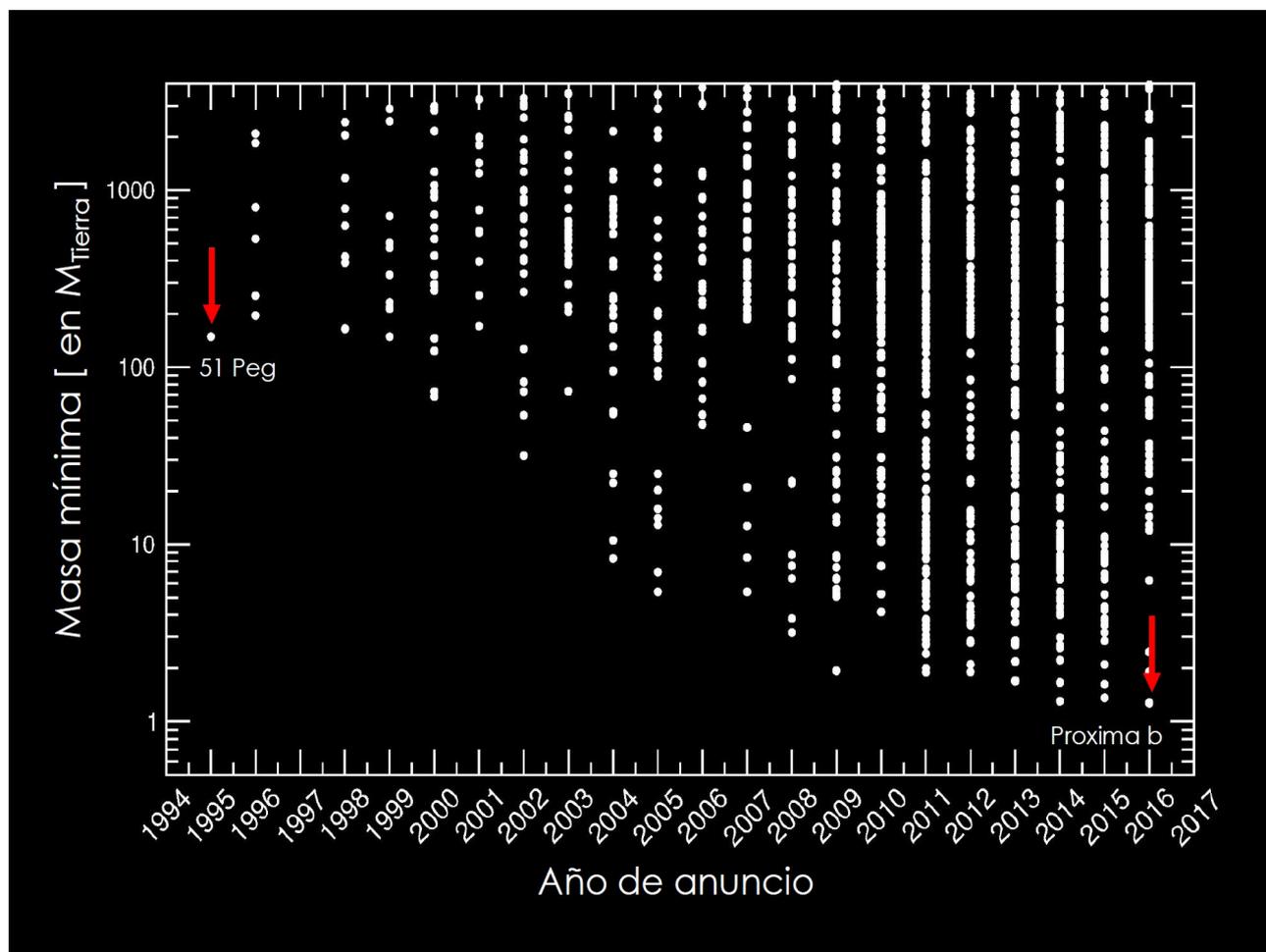
resultado- el movimiento alrededor del centro de masas del sistema es mayor para el planeta y la estrella. Estos dos factores combinados hacen que mientras que la Tierra produce un movimiento de oscilación del Sol (1 AU, 1 Msun) de 8 cm/s, un equivalente en *Proxima* produciría una señal de 1.1 m/s (unas 13 veces mayor). El último factor es menos obvio pero igualmente relevante; 3) órbitas compactas implican periodos orbitales cortos, lo que implica que la señal se repite mucho más a menudo. Mientras que la Tierra tarda 365 días en dar la vuelta al Sol, un planeta templado orbitando *Proxima* tendría un periodo orbital de ~ 10 días (un factor 36 de diferencia!). Esto significa que podemos verificar con mucha mayor certidumbre la periodicidad estricta de señales en estrellas de tipo M en pocos meses, mientras que intervalos de varios años (incluso décadas, debido al mal muestreo de 1 año inherente a observar desde la Tierra) van a ser necesarios para detectar equivalentes en estrellas de tipo Solar.

El muestreo temporal combinado con variabilidad no estrictamente periódica de la estrella (actividad estelar, rotación, ciclo magnético) añade complicaciones extras que son no triviales y, aunque se conocen desde hace tiempo, cuyo impacto no está bien cuantificado. Por ejemplo, la rotación de las estrellas está típicamente en las decenas de días. Esto causa cierta confusión con posibles planetas templados en torno a estrellas de tipo M, pero varias rotaciones pueden acumularse en un periodo breve de tiempo para decorrelacionar señales en ese rango. En cambio, planetas de más largo periodo (terrestres, con órbitas de 100+ días) son más largos que los ciclos de actividad. Como resultado, los efectos de rotación siempre causan correlaciones con señales en las frecuencias de muestreo (~ 1 año), y las medidas dentro de cada rotación están correlacionadas, reduciendo el contenido de información útil (medidas estadísticamente independientes) necesarias para la detección de señales periódicas.

Por todos estos motivos, uno puede cuantificar que el coste observacional para la detección de planetas terrestres en estrellas de tipo M es del orden de 50-100 veces menor que los recursos necesarios para análogos solares. No debería extrañar a nadie pues, que la caracterización y descubrimientos más significativos en el campo de los exoplanetas que se realicen en los próximos años, vayan a ser en sistemas planetarios alrededor de enanas rojas. Cabe remarcar que esta

es una lección aprendida a base de experiencia y después de dos décadas de acumulación de información. Aunque mirando los números en términos de señal siempre ha estado claro que hay una ventaja clara seleccionando enanas rojas como objetivos de programas de búsquedas, las ventajas adicionales decisivas (sobreabundancia de sistemas compactos, la gran estabilidad Doppler de estrellas de tipo M) han sido reveladas recientemente (en los últimos ~5 años).

La primera detección no ambigua de un planeta alrededor de una estrella de la secuencia principal se realizó en 1995, cuando Michel Mayor y Didier Queloz anunciaron la detección de un planeta de masa comparable a la de Júpiter en un periodo orbital de 4.2 días alrededor de 51 Pegasi. La precisión siguió avanzando con los años hasta la detección de Neptunos y super-tierras. A partir de 2010, hay un cambio en la pendiente de sensibilidad máxima debido a la precisión de los espectrógrafos (misma tecnología que en 2000), y el hecho de que hay un límite fundamental a la máxima precisión que se puede conseguir debido a actividad estelar. La ligera mejora en masas cada vez más pequeñas se debe mayoritariamente a las primeras búsquedas sistemáticas alrededor de estrellas enanas rojas, y a un cambio de filosofía en los surveys de alta precisión para abordar menos estrellas a la vez. Créditos: Imagen generada con The Exoplanet Encyclopaedia, exoplanet.eu.



LA BÚSQUEDA DE PLANETAS EN PROXIMA CENTAURI

Proxima Centauri (o *Proxima*) es la estrella más cercana al Sol y es una enana roja. Por las razones ya discutidas, ya ha sido un objetivo obvio de algunos programas de búsqueda de planetas anteriores. El primero de ellos con posibilidades de éxito fue el 'UVES M-dwarf survey' liderado por Martin Kuerster y Michael Endl usando el espectrómetro UVES en los telescopios de 8 m de ESO VLT (Endl & Kuerster 2008). UVES no está estabilizado a la precisión necesaria y el programa usó el método de la calibración simultánea con una celda de absorción de yodo, técnica desarrollada en los 90 por Butler & Marcy y que fue la responsable de más de la mitad de descubrimientos de planetas en los primeros 10 años de búsquedas. UVES obtuvo 270 espectros separados en 70 noches entre 2000 y 2008, y el equipo no encontró ninguna señal convincente (resultados publicados en 2009, Zechmeister et al. 2009 A&A). Aún así, la precisión alcanzada (~ 3 m/s) fue suficiente como para poner límites inferiores de entre 2-3 masas terrestres para planetas en órbitas templadas.

Proxima también se observó con el (entonces) recién estrenado espectrógrafo HARPS entre 2002 y 2010 en el contexto del famoso survey liderado por Michel Mayor. Estas medidas mostraban niveles de variabilidad similares a los de UVES (~ 3 m/s). Ya que HARPS podía alcanzar precisiones del orden de 1 m/s en estrellas ultra-estables, se generalizó la idea de que este límite en precisión era causado por actividad estelar. En 2013, el equipo de X. Bonfils y colaboradores dentro del consorcio HARPS reportaron la no detección añadiendo nuevas observaciones y fijaron el límite inferior en unas 2 masas terrestres. En 2012, G. Anglada-Escudé & P. Butler desarrollaron un nuevo algoritmo para determinar velocidades de alta precisión con HARPS. Mientras que el método usado antes se basaba en una correlación cruzada (que tiene bastantes problemas debido a la complejidad de los espectros de estrellas de tipo M), el nuevo método consistía en construir un espectro maestro sumando todos los datos disponibles, y calculando un ajuste paramétrico al corrimiento Doppler usando métodos de mínimos cuadrados (más específicamente, métodos de máxima verosimilitud). El algoritmo produce resultados similares al aplicarse a estrellas de tipo solar (~ 1 m/s), pero la verdadera revelación

fue que se demostró por primera vez que la misma precisión alcanzada en estrella de tipo solar podía conseguirse también en enanas rojas (el resultado récord se obtuvo con la *estrella de Barnard* con ~ 0.9 m/s, y la anónima *GJ 588* ~ 0.8 m/s que aún ostenta el récord de la estrella tipo M más estable). *Proxima* resultó ser una de las más beneficiadas, y la variabilidad de la serie temporal se redujo por debajo de los 2 m/s, quedando aún por encima de la estabilidad de otras de las estrellas y, por lo tanto, indicando un exceso de variación de origen astrofísico (¿planeta o actividad?). En este esfuerzo de reanálisis se encontraron varios candidatos a planeta en datos que habían sido públicos desde hacía años. En particular, esto llevó al anuncio más o menos simultáneo del sistema planetario alrededor de la enana roja GJ 667C (al menos 3 planetas) por Anglada-Escudé y colaboradores y el equipo franco-suizo que obtuvo las observaciones (+25% más de medidas).

Otro avance en el análisis de datos ocurrió ese mismo año. Mikko Tuomi, un estudiante de doctorado finlandés en matemática aplicada, desarrolló métodos bayesianos Monte-Carlo relativamente rápidos y robustos para la combinación consistente de conjuntos de datos de varios instrumentos. Tuomi y Anglada-Escudé unieron esfuerzos en el reanálisis de miles de espectros públicos de HARPS (~ 200 estrellas) y medidas Doppler publicadas por los diferentes surveys (incluidos los de UVES). Varias señales fueron identificadas, y algunas de ellas publicadas en los dos años siguientes. Otros permanecieron ambiguos debido al muestreo y la más que probable contaminación de las medidas por actividad estelar. Una de estas estrellas era *Proxima*, que mostraba evidencia de hasta 4 señales en distintas escalas temporales. Un artículo de detección tentativa fue mandado a publicación en 2013, pero la evidencia fue considerada demasiado preliminar. Eran necesarios más datos para aclarar la situación. Una colaboración extensa empezó a fraguarse entonces para monitorizar una pequeña submuestra de estrellas M muy estables con evidencia de posibles señales Doppler en periodos cortos. Esta colaboración llevaría después a la campaña "*Pale Red Dot*" de 2016 dedicada exclusivamente a *Proxima*, y se gestó en el contexto colaborativo del consorcio CARMENES, con la par-

ticipación y liderazgo de un buen número de propuestas para HARPS-ESO y HARPS-Norte (La Palma) del equipo de física estelar y exoplanetas en el IAA liderado por Pedro J. Amado. Aparte de buscar planetas de corto periodo, estas primeras campañas (proyecto "Cool Tiny Beats") se usaron para caracterizar la variabilidad Doppler de las enanas rojas en escalas de tiempo de horas, demostrando la estabilidad extrema de varias de ellas en este rango temporal. Buena parte de los resultados, y la demostración de la gran precisión y estabilidad de este tipo de estrellas fueron presentados por Zaira M. Berdiñas, en su reciente y exitosa defensa de tesis (Nov. 2016, IAA y Universidad de Granada).

Después de un par de campañas de 10 días, estaba claro que la señal más prometedora estaba entre 10 y 20 días. Se detectaba claramente en los datos, pero aún así y debido al muestreo, no quedaba claro cual sería el periodo favorito, ni si la señal era estrictamente periódica. Después de dos intentos de propuestas de seguimiento, se gestó la colaboración *Pale Red Dot* con el objetivo de obtener observaciones en 60 noches seguidas (20 min por noche con HARPS) a la vez que se monitorizaría la estrella fotométricamente de forma casi simultánea para asegurar que la estrella no mostrase variabilidad fotosférica en escalas de tiempo similares. Varios casos de candidatos a planeta cercanos han estado en el punto de mira informativo y científico en los últimos años. Por ejemplo, dentro de estos mismos cinco últimos años ha habido intensas discusiones sobre un posible candidato a planeta terrestre (pero muy caliente) alrededor de Alfa Centauri B, reportado por el consorcio HARPS (Dumusque et al. 2012, Nature). La detección siempre fue puesta en duda debido al preprocesado intensivo que se necesitaba aplicar a los datos para ver la señal en cuestión. Otros casos han sido discutidos en la literatura, y todavía hoy no hay consenso en cuales deberían considerarse detecciones fidedignas (por ejemplo, planetas adicionales en GJ 667C, GJ 581d que fue la primera supertierra detectada en la zona habitable de una estrella, etc.). Estaba claro que el próximo anuncio de planeta cercano con el método Doppler (¿potencialmente habitable?) iba a necesitar de datos observacionales que mostraran evidencias fuera de duda de su existencia.



Representación artística del exoplaneta Proxima Centauri b, mostrado de agua. Créditos: ESO/M. Kornmesser



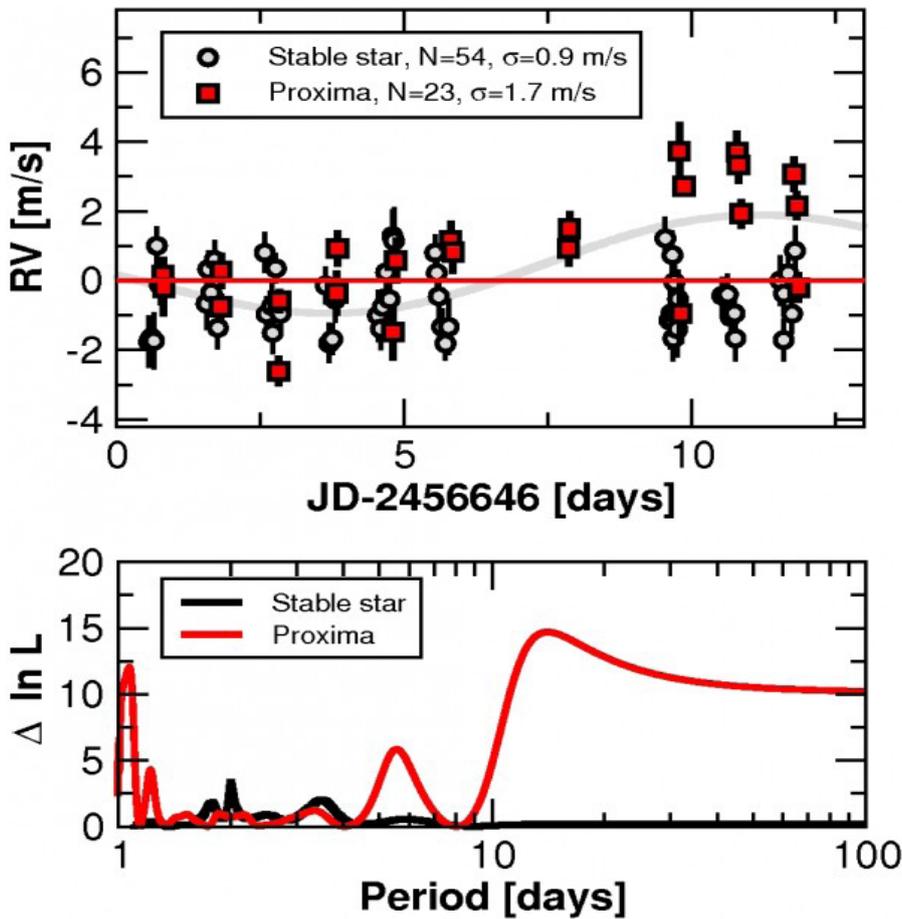
como un planeta telúrico árido, aunque no completamente desprovisto

PALE RED DOT

La campaña *Pale Red Dot* (Pálido Punto Rojo) fue concebida con este objetivo. No se trataría de solamente añadir más datos a los ya existentes, sino de obtener una detección (completamente independiente a ser posible) de la misma señal ya sospechada a 11.2 días. La novedad: observar *Proxima Centauri* durante 60 noches (casi) seguidas, con fotometría simultánea. Esto cubriría casi 6 periodos orbitales, proporcionaría suficiente estadística para una detección con >99% de confianza, y ayudaría a descartar variabilidad estelar en esa escala de tiempo. El tiempo de observación fue concedido por un comité entusiasta. La notificación de asignación de tiempo llegó en Julio de 2015 y marcó el disparo de salida de lo que sería la campaña de 2016.

Dado el posible alto impacto e interés del público en la campaña, se organizó una campaña de divulgación simultánea con una significativa inversión (en recursos humanos sobre todo) del European Southern Observatory (ESO) y varias de las instituciones científicas involucradas (sobre todo por parte de *Queen Mary University of London*, y el *Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA/CSIC)*). El ejercicio consistió en informar en tiempo real del proceso de adquisición de las observaciones con HARPS, pero también con los telescopios de monitoreo simultáneo de *Las Cumbres Global Observatory Telescope network* (lco-gt.net) y del *Astrograph for Southern Hemisphere 2 (ASH2)* en el observatorio semiprofesional *SpaceObs* situado en la localidad de Atacama (Chile) gestionado por el IAA. Un tercer observatorio austral (la estación BOOTES en Nueva Zelanda) no pudo finalmente participar en el follow-up por problemas técnicos. La web contendría también varios recursos multimedia (vídeos de presentación, time-lapses) y artículos originales de astrónomos expertos invitados sobre temas relacionados con el programa tales como astrofísica de estrellas enanas, instrumentación, operación de observatorios modernos, física estelar, métodos de detección de planetas, futuros surveys y proyectos, etc.

Aparte de la web, la actividad on-line fue complementada con perfiles en Twitter y páginas de Facebook (más de 2000 seguidores al final de la campaña en ambas redes sociales). Todos los artículos publicados fueron editados y revisados por científicos y ex-



En esta figura se muestra la variabilidad detectada en las campañas de observación de alta cadencia llamadas Cool Tiny Beats. En el panel superior se presentan las medidas de la velocidad radial de Proxima en función del tiempo a lo largo de 10 días. Comparando con estrellas estables observadas al mismo tiempo, se puede ver claramente que Proxima varía suavemente durante ese periodo de tiempo. En el panel de abajo, se muestra un periodograma. Los picos en este tipo de graficas indican que periodos son los más probables para explicar la variabilidad en los datos. La curva roja con un ancho pico entre 10 y 20 días corresponde a las medidas de Proxima del panel de arriba, y la curva negra corresponde a la estrella estable utilizada. Créditos: G.Anglada-Escude, www.palreddot.org.

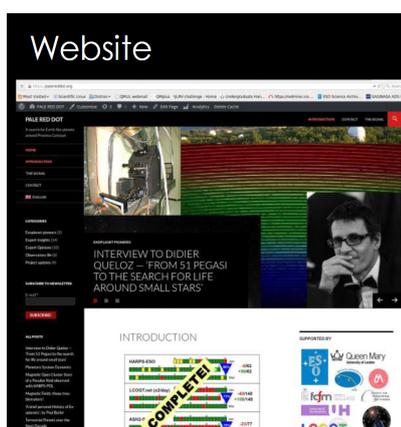
pertos en divulgación y repasados cuidadosamente en su escritura en inglés. Aunque disponíamos de bastantes recursos humanos (voluntariamente contribuidos por los científicos), no hubo financiación suficiente para, por ejemplo, traducir la mayoría de los artículos a los idiomas de los países involucrados. En total se publicaron unos 40 artículos originales, incluyendo actualizaciones del proyecto. Se han aprendido numerosas lecciones en términos de ejecución de campañas de divulgación modernas con soporte de redes sociales. Los resultados de esta campaña paralela fueron presentados en la conferencia de la IAU "Communicating Astronomy with the Public" (Medellin/Colombia 2016). Un vídeo resumen on-line puede encontrarse en <https://livestream.com/ParqueExploraTV/CAP2016/videos/123336286> y el PDF de la presentación en <http://www.planetariomedellin.org/cap2016/english-ersion/programme/day-3/>.

Las campañas de observación fueron altamente exitosas gracias a muy buenas condiciones meteorológicas. Al final, la detección y su significancia estadística resultó ser mucho mayor que las expectativas iniciales. A esto contribuyó que i) los datos de UVES se reanalizaron desde cero gracias a la participación de Paul Butler y el equipo UVES original (Martin Kuerster, Micheal Endl y Mathias Zechmeister), ii) obtuvimos un 90% de las observaciones propuestas (en vez del 75% esperado), iii) la precisión en las medidas de HARPS fue superior a la esperada gracias a tiempos de integración más largos y a la mejora en calidad de las fibras (Agosto 2015). Los telescopios fotométricos, especialmente ASH2, funcionaron muy bien y produjeron fotometría de calidad mejor que la esperada, y la variabilidad de la estrella -seguramente causada por actividad- fue suave y fácilmente separable de señales periódicas en el rango de interés. La detección ya

era muy clara con solo la mitad de los datos. Previa consulta con los editores, el artículo fue mandado a la revista Nature a principios de Mayo 2016. Lo que sigue es historia. Aparte del artículo original, existen ya numerosos artículos científicos y de divulgación que ponen el descubrimiento en el contexto de lo que se sabe sobre posible habitabilidad y el estado actual de la posible atmósfera en el planeta. En particular, es especialmente reseñable la investigación liderada por Ignasi Ribas y colaboradores sobre el entorno de alta energía y la posible evolución de la atmósfera del planeta durante la historia de *Proxima* (http://www.ice.cat/personal/iribas/Proxima_b/). También podrían mencionarse los artículos que estudian su posible detectabilidad con nuevos instrumentos casi listos (JWST 2018, Kreidberg & Loeb 2016), o con la siguiente generación de telescopios gigantes ópticos o incluso con instrumentos especializados en los VLIs. También en 2016, el equipo liderado por Michel Gillon detectó dos (tal vez tres) planetas de tamaño terrestre transitando la estrella cercana TRAPPIST-1 (M8V, 9% masa Solar). Junto con *Proxima b*, estos resultados confirman la tendencia de que estrellas pequeñas tienden a tener sistemas compactos de planetas pequeños y marcan el inicio de la carrera para las primeras búsquedas de evidencia de vida más allá del sistema Solar.

Por último cabe destacar la dimensión internacional y también nacional de este tipo de investigación. La búsqueda de exoplanetas y vida más allá del Sistema Solar es ciencia de alto impacto tanto desde el punto de vista científico como público, y es un motor fundamental para desarrollar nuevas tecnologías. Es un buen momento para que la comunidad española dedicada a los exoplanetas y astrobiología en general pueda reunirse y preparar una hoja de ruta para los años venideros tal y como han hecho países más septentrionales como el Reino Unido. Esto debería servir para coordinar esfuerzos, consolidar grandes grupos de trabajo necesarios para la ejecución de grandes proyectos de investigación, en el sentido de no solamente garantizar la creación de plazas de investigadores líderes sino de financiar grupos enteros. España actualmente está muy bien posicionada en términos de nuevos instrumentos (CARMENES, pero también está participando en consorcios como HARPS-N y ESPRESSO), en instituciones internacionales (acceso continuado a ESO, ALMA y misiones de ESA, por mencionar algunos) y en colaboraciones también internacionales para acceder a misiones espaciales. Este trabajo tiene que cuidarse, y una hoja de ruta sería una buena referencia para instituciones, futuros investigadores y como guía para los responsables políticos de turno. La alternativa ya la conocemos y no acostumbra a llevar a ningún sitio.

La campaña de observación Pale Red Dot, fue retransmitida vía web con soporte de redes sociales como Facebook y Twitter. Durante la campaña, se publicó un artículo cada 2-3 días junto con actualizaciones sobre el proceso de adquisición de datos en diferentes observatorios.



www.palereddot.org
80k visits (now ~500k)
About 500 reads/article

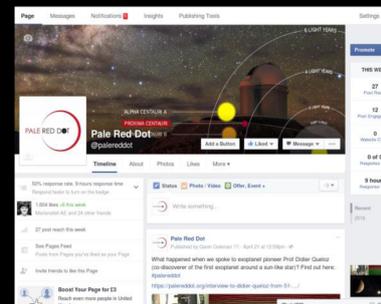
Twitter account



@Pale Red Dot
x1800 followers (now 3k)
2.5M impressions
200k page visits

Interests : Science news, space & astronomy
82% male, 18% female

Facebook page



x1600 likes (now 4k)



EL PRIMER MAPA DE LA GALAXIA DIBUJADO POR GAIA

¿Cuál es el origen de nuestra Galaxia y cómo ha evolucionado hasta su estado actual? La misión espacial *Gaia* quiere responder esta pregunta y muchas más sobre física estelar, el sistema solar y demás sistemas planetarios, las galaxias de nuestro entorno y las más lejanas. Para ello escanea repetidamente todo el cielo hasta magnitud 20.7 a razón de unos 70 millones de observaciones diarias. En septiembre de 2016 se ha publicado el primer mapa 2D con más de mil millones de estrellas y un mapa 3D para dos millones de estrellas brillantes. Son sólo una muestra de lo que nos espera en próximas publicaciones de datos. Atrás quedan los catálogos de nuestros pioneros Hipparcos de Nicea y Tycho Brahe.



Carme Jordi
carme.jordi@ub.edu

Jordi Torra
jorditorra@ub.edu

Instituto de Ciencias del Cosmos,
Universidad de Barcelona,
Instituto de Estudios Espaciales
de Cataluña (ICCUB-IEEC)

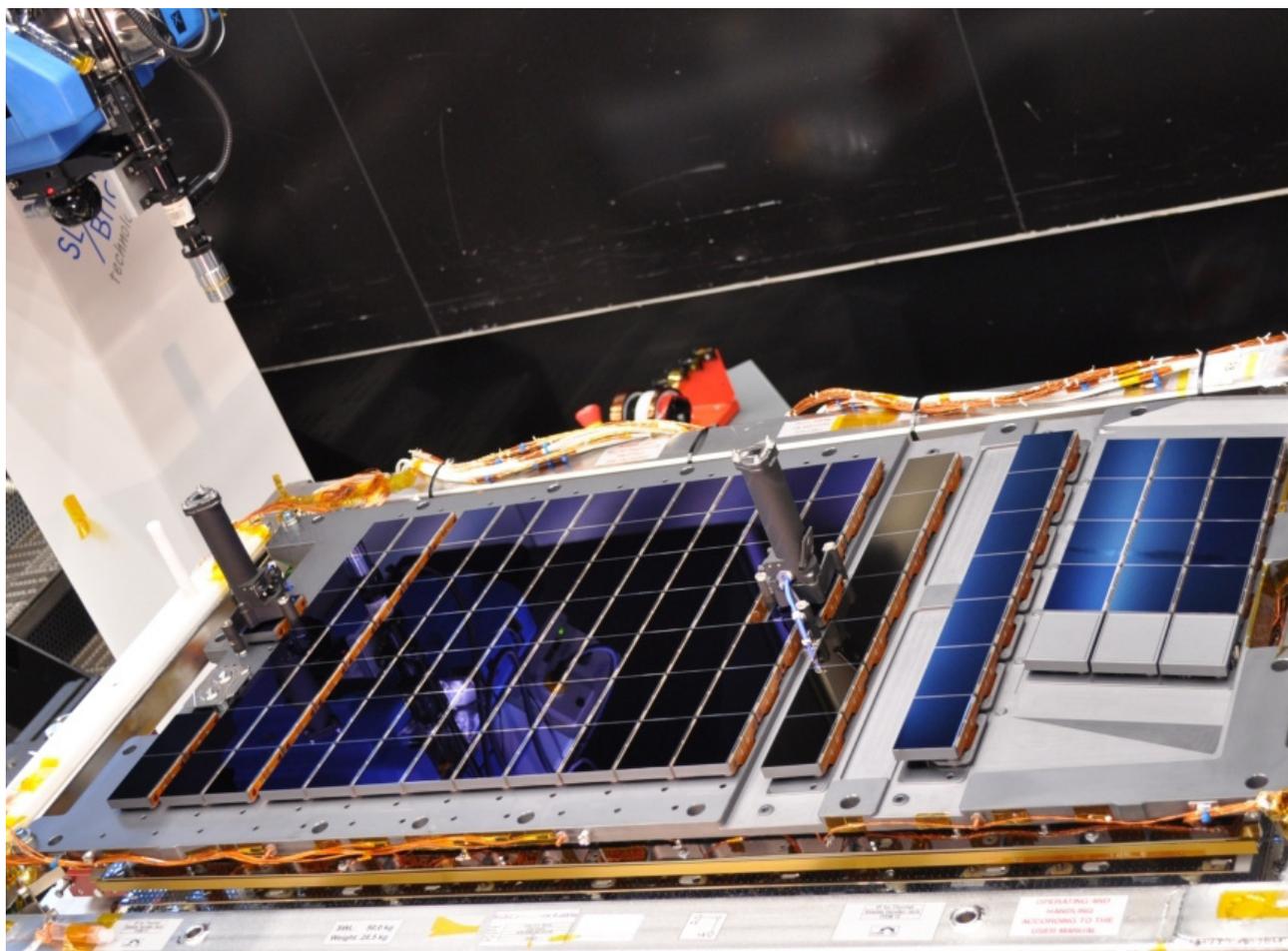
La misión astrométrica *Gaia* de la Agencia Espacial Europea (*Gaia* Collaboration 2016, A&A 595, A1) se lanzó en diciembre de 2013. Está situada en el punto de Lagrange L2 del sistema Sol-Tierra y empezó sus operaciones científicas el 25 de julio de 2014 después de la fase de comisionado. *Gaia* contiene dos telescopios que escanean el cielo continuamente mediante una rotación de 6 horas alrededor de su propio eje, combinada con una precesión de 63 días con un ángulo de 45 grados alrededor de la dirección *Gaia*-Tierra-Sol y el movimiento anual alrededor del Sol. Los dos telescopios, cuyos campos de visión están separados 106,5 grados, observan estrellas a lo largo de círculos máximos a razón de unos 70 millones cada día, y cubren todo el cielo cada seis meses. Con una duración nominal de 5 años, cada estrella se observa 70 veces en promedio. Esto permite determinar las posiciones de las estrellas, sus movimientos y sus paralajes, a la vez que detectar perturbaciones por binariedad o por la presencia de enanas marrones o planetas extrasolares. Tanto el diseño como las operaciones se basan en el concepto de astrometría global ya probado con la predecesora misión astrométrica Hipparcos, también de la Agencia Espacial Europea. El diseño de los telescopios (dos espejos primarios de 1,5m x 0,5m y 35 m de focal), el número y la eficiencia cuántica de los detectores CCD (ver Fig. 1) y el modo de operación actual, establecen un límite de 20,7 magnitudes en luz blanca lo que significa más de mil millones de estrellas (~1% del contenido estelar de la Galaxia). *Gaia* incluye también dos espectrógrafos. Uno es de baja resolución (con dos prismas en la parte azul y roja del espectro) para la clasificación y parametrización de todos los objetos observados y para proporcionar la información necesaria para la calibración de los efectos cromáticos. El segundo es de mayor resolución y su propósito es la determinación de velocidades radiales (hasta magnitud 16,5), parámetros estelares y abundancias químicas (hasta magnitud ~13,5).

El *Data Processing and Analysis Consortium* (DPAC) se encarga del tratamiento completo para la conversión de los datos brutos en datos científicos. DPAC está organizado en varias unidades, cada una de las cuales se ocupa de un tipo específico de datos o una parte específica del tratamiento de los mismos. Cada unidad está soportada por un centro de procesamiento de datos. Hay nueve unidades y siete centros

de procesado. España¹, a través de los equipos españoles de ICCUB-IEEC², UaC-UV³, UNED⁴ y CAB⁵, participa en siete de las nueve unidades (simulación, astrometría, fotometría, variabilidad, clasificación, validación y coordinación) y aporta los recursos del Centro de Supercomputación de Barcelona (BSC-CNS) y el Consorcio de Servicios Universitarios de Cataluña (CSUC). Estos centros se utilizan o han utilizado para la elaboración de múltiples simulaciones, el desarrollo del procesado inicial de la telemetría y el desarrollo y operaciones del cruce de observaciones con objetos (ver Fig. 2) y la determinación

de los parámetros de las imágenes astrométricas, constituyendo los imprescindibles primeros pasos que proporcionan datos al resto de elementos de la 'pipeline' (Fabricius et al, 2016, A&A 595, A3). La participación española se inició en los primeros estadios de la misión, en la fase conceptual, y desde entonces ha ido en aumento y se ha consolidado. España firmó un 'Multi-Lateral Agreement' con ESA para formalizar la participación en DPAC. España también participa en las redes de explotación científica Red Española de *Gaia* (REG) y '*Gaia* Research for European Astronomy Training' (GREAT).

Figura 1: El plano focal de *Gaia* contiene 106 CCD dedicados a: (a) detectar las estrellas observadas, (b) medir las posiciones astrométricas, (c) obtener dos espectros azul y rojo de baja resolución, (d) adquirir espectros en la zona del triplete IR del Ca para la medida de velocidades radiales y determinación de abundancias químicas, y (e) medidas auxiliares del ángulo de base y el frente de ondas. Crédito: Astrium.



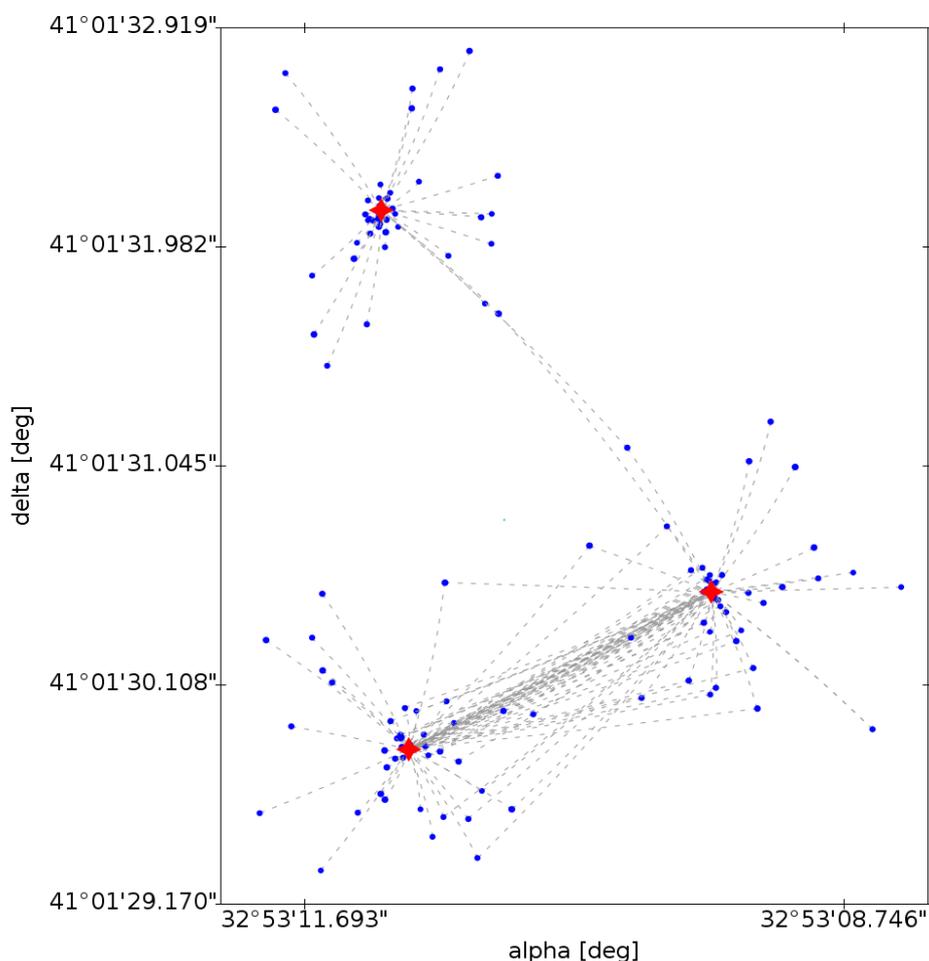


Figura 2: Ejemplo de la asignación de 180 observaciones en distintas épocas (puntos azules) a tres objetos (símbolos rojos). Figura 16 de (Fabricius et al, 2016, A&A 595, A3).

Las observaciones adquiridas durante los primeros 14 meses de la fase operacional científica constituyen la base del primer archivo de datos (DR1, *Gaia* Collaboration 2016, A&A 595, A2), hecho público el 14 de septiembre de 2016. A pesar de que DPAC ha tenido que hacer frente a varios problemas inesperados en la carga útil (contaminación, luz dispersa, variaciones del ángulo básico, como ejemplos) y ha tenido que rediseñar parte de los algoritmos de procesado, el hecho de publicar muchas más paralajes y movimientos propios (2 millones en lugar de 100.000 estrellas) de lo inicialmente previsto, es un gran éxito para DPAC y para la misión y

demuestra la calidad de las medidas realizadas. El procesado de datos está forzosamente simplificado en este momento de la misión. En particular, cabe señalar una incompleta modelización de la PSF, la no inclusión de efectos cromáticos, la no iteración entre datos astrométricos y fotométricos, la modelización simple de la actitud del satélite y del ángulo básico. Los resultados obtenidos se han sometido a un completo proceso de validación para evaluar la calidad de los mismos e identificar posibles datos espúreos. Para ello, se han realizado validaciones estadísticas, comparaciones con modelos y con datos de catálogos externos. Fruto de esta validación,

se han establecido ciertos filtros y algunos objetos observados no se incluyen en el archivo hecho público como DR1. Estos filtros incluyen la selección de las estrellas con precisiones de la paralaje menor de 1 milisegundo de arco (mas). Por (defectos en la) construcción del catálogo inicial para el cruce de las observaciones con los objetos o por dificultades en la calibración, las estrellas más brillantes que ~ 3 mag y las estrellas con movimientos propios mayores que 3500 mas/año no figuran entre los objetos del archivo de DR1. La resolución angular también es limitada en DR1 respecto a lo que será en la versión final del catálogo. DR1 contiene muy pocas estrellas con distancias menores que 2" (4" en áreas de alta densidad). A pesar de las simplificaciones en el procesado y los filtros aplicados, los datos publicados son extremadamente valiosos desde el punto de vista científico, tanto por las precisiones, como por la homogeneidad y el volumen de los datos.

El DR1 es accesible en <https://archives.esac.esa.int/gaia> y los datos también son accesibles en el Centre de Donnés de Strasbourg y otros centros de datos. Fue tanta la expectación por parte de la comunidad científica que en solo 24 horas después de la publicación del archivo, se registraron 10.000 usuarios, 15.750 consultas y se descargaron 20 TB de datos. El récord de cualquier archivo de ESAC. En astro-ph ya se han publicado unos 40 artículos analizando los datos de DR1, en el primer par de meses.

Los componentes del DR1 son:

1. Posiciones y magnitudes promedio G (luz blanca) para 1.142.679.769 objetos hasta $G \sim 20,7$ mag,
2. TGAS: Posiciones, movimientos propios y paralajes (cinco parámetros astrométricos) para 2.057.050 estrellas en el catálogo Tycho-2,
3. 3194 curvas de luz de Cefeidas y RR Lyrae cerca del polo eclíptico sur (en LMC),
4. Posiciones y magnitudes promedio G (luz blanca) de 2152 cuásares del ICRF, y
5. Cruces con los objetos en los catálogos Hipparcos-2, Tycho-2, 2MASS PSC, GSC2.3, PPM-XL, UCAC-4, SDSS DR10 / DR12, AllWISE y URAT-1.

Las posiciones (RA,DEC) corresponden a la época media de J2015.0 y están alineadas con el ICRF (Mignard et al, 2016 A&A 595, A6).

«El hecho de publicar muchas más paralajes y movimientos propios (2 millones en lugar de 100.000 estrellas) de lo inicialmente previsto, es un gran éxito para DPAC y para la misión y demuestra la calidad de las medidas realizadas.»

El primer conjunto de datos corresponde a los objetos con errores formales aceptables en esta primera reducción de datos. La incertidumbre promedio de las posiciones es de ~ 10 mas. La representación de los más de mil millones de objetos se encuentra en la Fig. 3, donde las zonas más brillantes corresponden a zonas de más alta densidad estelar. Se pueden apreciar perfectamente las sobredensidades del disco galáctico, los cúmulos globulares, las nubes de Magallanes, M31 y M33 y otras galaxias cercanas. También se puede apreciar la falta de estrellas en las zonas oscurecidas por el polvo interestelar. Puesto que se están utilizando sólo los primeros 14 meses de medidas científicas, la cobertura del cielo no es suficientemente homogénea y en

el mapa construido se aprecian algunas estructuras artificiales que correlacionan perfectamente con la ley de escaneo de *Gaia*. El mapa es navegable en la pestaña de visualización en el web de acceso al archivo. Las precisiones promedio de ~ 10 mas ya han permitido algunas aplicaciones en la predicción de ocultaciones de estrellas por planetas (y asteroides), como es el ejemplo de la estrella UCAC4 345-180315 por Plutón el 19 de julio de 2016 (ver http://www.cosmos.esa.int/web/gaia/iow_20160914).

El subconjunto TGAS se ha obtenido combinando las observaciones de *Gaia* con las posiciones de los catálogos Hipparcos y Tycho-2 de la época J1991,25 (Lindegren et al, 2016, A&A 595, A4; Mi-

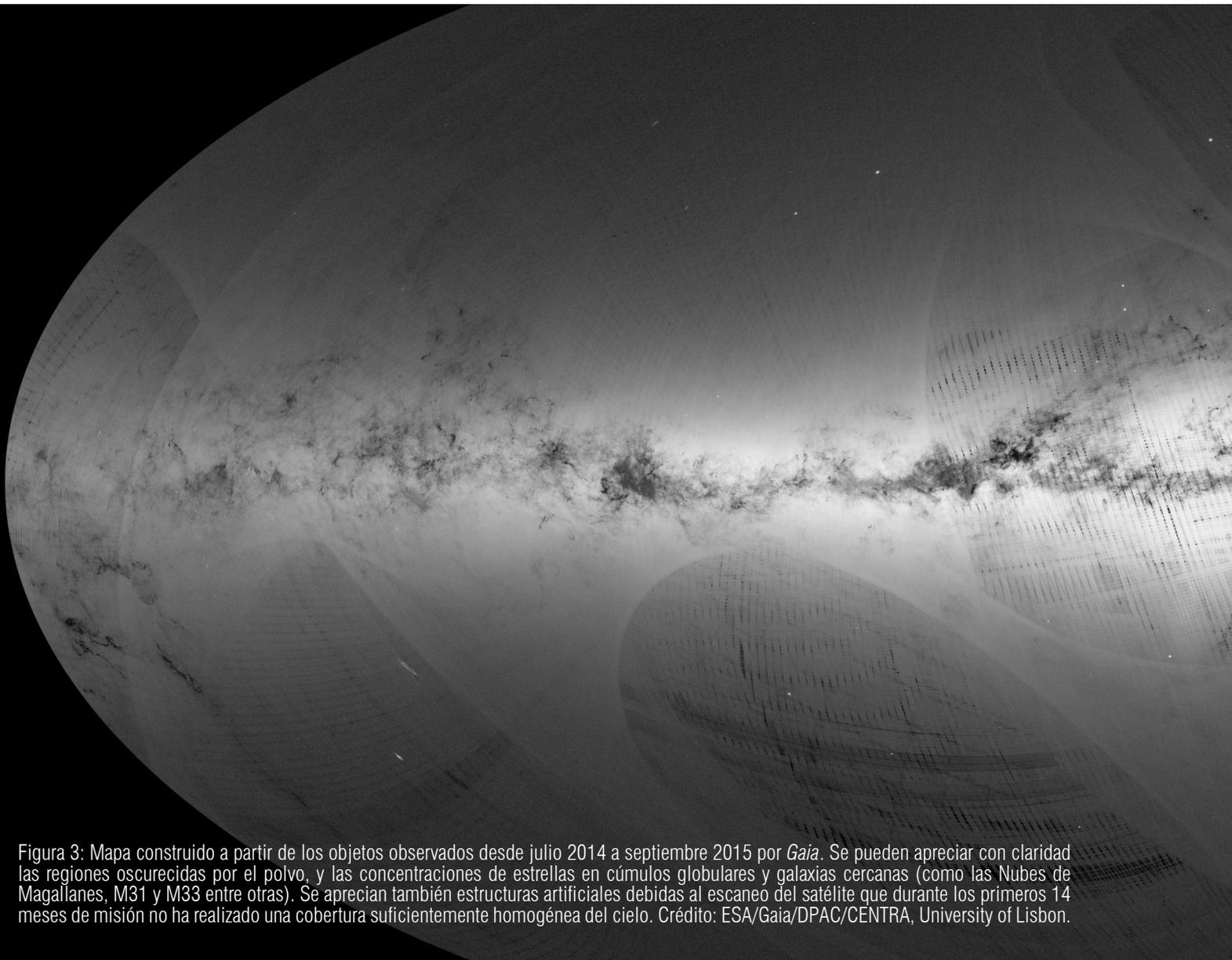
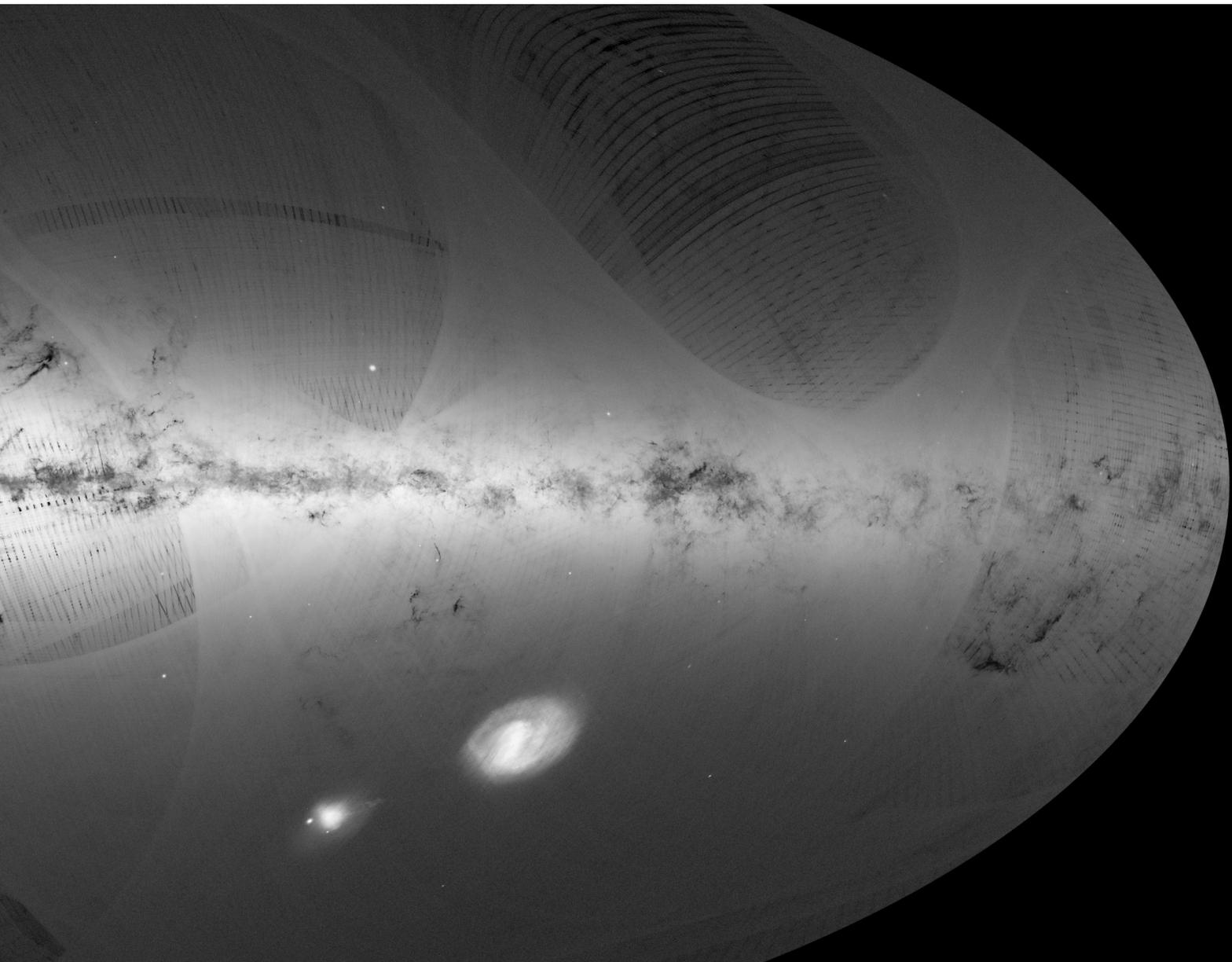


Figura 3: Mapa construido a partir de los objetos observados desde julio 2014 a septiembre 2015 por *Gaia*. Se pueden apreciar con claridad las regiones oscurecidas por el polvo, y las concentraciones de estrellas en cúmulos globulares y galaxias cercanas (como las Nubes de Magallanes, M31 y M33 entre otras). Se aprecian también estructuras artificiales debidas al escaneo del satélite que durante los primeros 14 meses de misión no ha realizado una cobertura suficientemente homogénea del cielo. Crédito: ESA/Gaia/DPAC/CENTRA, University of Lisbon.

chalik et al, 2015 A&A 574, 115). Estas posiciones se introducen como información a priori. La línea de base de 24 años ha permitido romper la degeneración entre movimiento propio y paralaje y por tanto determinar los cinco parámetros astrométricos para un conjunto de 2 millones de estrellas. La incertidumbre mediana de las posiciones, movimientos propios y paralajes es ~ 0.3 mas, ~ 1.3 mas/año (0.07 mas/año para las estrellas en Hipparcos) y ~ 0.3 mas, respectivamente. Puesto que ni los movimientos propios de Hipparcos ni los de Tycho-2, ni las paralajes de Hipparcos se han utilizado para construir TGAS, los movimientos propios y paralajes de *Gaia* son totalmente independientes de Hipparcos y Tycho-2 y se pueden realizar las

oportunas comparaciones. Estas comparaciones han mostrado que existen diferencias sistemáticas en los movimientos propios del orden de 0 ± 0.004 mas/año en el caso de TGAS-Hipparcos y de -0.009 ± 0.005 mas/año en TGAS-Tycho-2 para el subconjunto de estrellas Hipparcos y $+0.08 \pm 0.002$ mas/año en TGAS-Tycho-2 para el subconjunto de estrellas no-Hipparcos. Si analizamos con detalle las diferencias TGAS-Tycho-2 se pueden observar variaciones en declinación que solo pueden ser debidas a sistemáticas zonales en las posiciones del catálogo Astrográfico. También se han realizado comparaciones con 36 estrellas en común con datos de VLBI y la diferencia es de $+0.008 \pm 0.006$ mas/año. La comparación de las paralajes TGAS



con las de Hipparcos muestra un muy buen acuerdo dentro de las incertidumbres. La evaluación de las paralajes negativas en Hipparcos y en TGAS es una medida de la fiabilidad de las precisiones estimadas, siendo ~ 0.3 mas para TGAS y ~ 0.9 mas en el caso de Hipparcos. Existen altas correlaciones entre los cinco parámetros, debido a la cobertura no uniforme del cielo y la distribución desigual de las direcciones de escaneo para determinadas posiciones en el cielo. Las diferencias sistemáticas zonales en paralajes no son mayores que 0.3 mas. Queremos remarcar nuevamente que, a pesar de las limitaciones del procesado y el corto periodo cubierto, TGAS proporciona 2 millones de movimientos propios y paralajes, algo nunca disponible hasta ahora. Algunos resultados científicos que ya han salido a la luz son la rotación de la Nube Grande de Magallanes (ver [arXiv:1609.04395](https://arxiv.org/abs/1609.04395)) o la confirmación de una barra central en la Galaxia de rotación rápida (ver [arXiv:1610.05342](https://arxiv.org/abs/1610.05342)). A modo de ejemplo, la Fig. 4 muestra un diagrama HR con unas 41.000 estrellas. Se han analizado las paralajes y movimientos propios de TGAS para calcular las magnitudes absolutas (se ha despreciado la absorción) y las velocidades tangenciales. El código de colores muestra claramente la correlación entre la velocidad y la edad de las diferentes poblaciones estelares.

DR1 también incluye 3194 curvas de luz de Cefeidas y RR Lyrae (ver Fig. 5) obtenidas a partir del escaneo repetido durante 28 días al inicio de las operaciones científicas cubriendo los polos eclípticos, y que incluyó parte de la Nube Grande de Magallanes (cercana al polo eclíptico sur). El procesado de datos de aproximadamente 300.000 estrellas variables permitió clasificar unas 9000 y de entre ellas se seleccionaron las Cefeidas y RR Lyrae que son las que se publican (Clementini et al, 2016, A&A 595, A133). Unas 300 no se conocían hasta ahora. La dispersión intrínseca de las curvas de luz demuestra la calidad y el potencial científico de la fotometría (precisiones de 0.001 y 0.01 mag a $G=16$ y 20, respectivamente). Cabe señalar que la cadencia de las observaciones en este periodo inicial no es representativa de la cadencia de las observaciones nominales. Aun así, la detección de todo tipo de variables forma parte del análisis global de datos.

Ni que decir cabe que las próximas versiones del archivo mejorarán los datos actuales en todos los sentidos: por un tratamiento de datos mucho más preciso, por un mayor tiempo de cobertura de las observaciones, y por la inclusión de nuevos datos. La segunda versión del archivo (DR2) incluirá las observaciones hasta el 23 de mayo de 2016, o sea 22 meses de datos. Esto permitirá determinar posiciones, movimientos propios y paralajes para todos los objetos sin necesidad de información a priori. Además de la magnitud G , DR2 incluirá también fotometría integrada en la parte azul y la roja del espectro junto con la estimación de parámetros físicos (T_{eff} , A_V) y las velocidades radiales medias para objetos brillantes ($G < 16$ mag) que no muestren variación de velocidad. Las siguientes versiones (ver el escenario en <http://www.cosmos.esa.int/web/gaia/release>) serán incrementales en el tipo de datos incluidos (soluciones orbitales, parámetros astrofísicos, espectrofotometría, etc) y en la mejora de las precisiones astrométricas y fotométricas. En conjunto pues, estamos hablando que en términos de un año podemos tener más de mil millones de movimientos propios, paralajes y parámetros físicos junto con una fracción de velocidades radiales. ¿Alguien puede imaginar realmente el impacto de tal cantidad y calidad de datos?

NOTAS

- ¹ No se incluye aquí la participación de la ESA a través de ESAC, aunque esté situado en España.
- ² Instituto de Ciencias del Cosmos, Universidad de Barcelona, Instituto de Estudios Espaciales de Cataluña.
- ³ Universidad de A Coruña y Universidad de Vigo.
- ⁴ Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- ⁵ Centro de Astrobiología - CSIC/INTA.

ENLACES

- [1] Misión Gaia, página de la ESA: <http://www.cosmos.esa.int/web/gaia>
- [2] Información de Gaia DR1: <http://www.cosmos.esa.int/web/gaia/dr1>
- [3] Acceso al archivo Gaia DR1: <https://archives.esac.esa.int/gaia>
- [4] Red Española de Gaia: <https://gaia.am.ub.edu/Twiki/bin/view/RecGaia/>
- [5] GREAT: <http://www.great-esf.eu/>

Figura 4: Diagrama HR de 41136 estrellas en el subconjunto TGAS de la primera publicación de datos de *Gaia* con precisiones en paralaje y movimiento propio. Los distintos colores corresponden a distintas velocidades tangenciales (en km/s) tal como se muestra en la leyenda. Se aprecia la mayor velocidad tangencial a medida que avanzamos a poblaciones más viejas. Figura 6 de *Gaia Collaboration* (2016, A&A 595, A2).

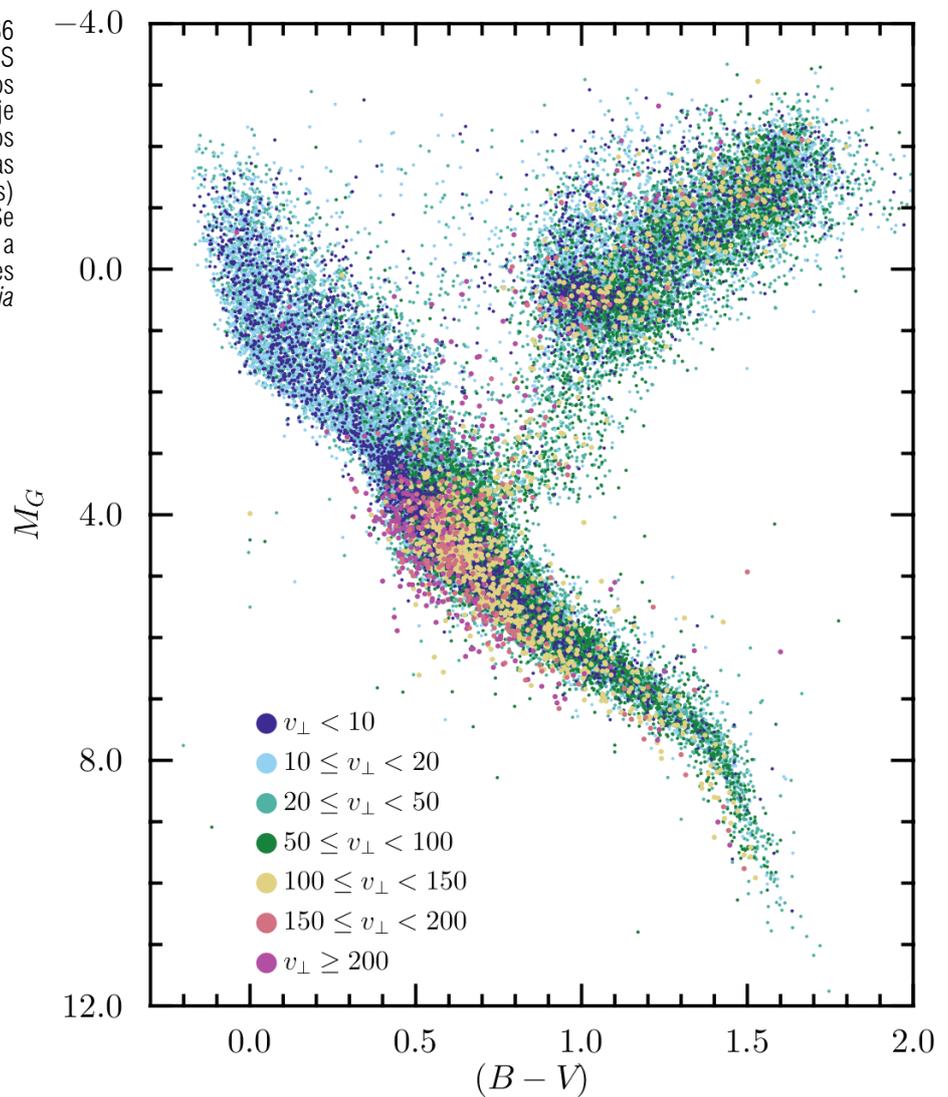
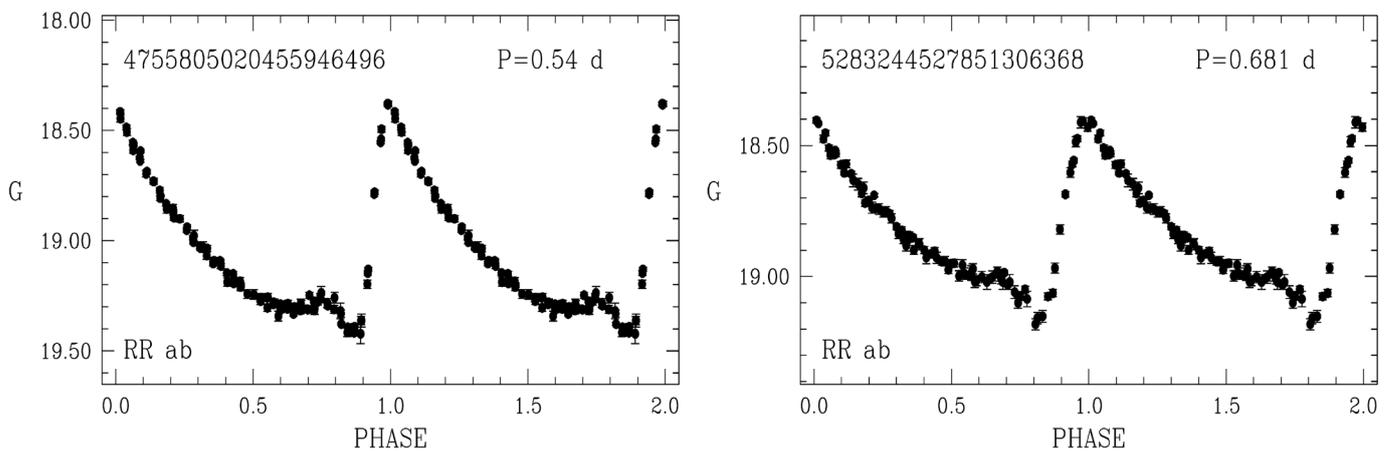


Figura 5: Ejemplo de curvas de luz de RR Lyrae en la Nube Grande de Magallanes. Figura de Clementini et al (2016, A&A 595, A133).



CINCO AÑOS DE TOMA DE DATOS DE AMS

El interés de realizar medidas de precisión de los flujos de positrones y antiprotones en los rayos cósmicos como una signatura para estudiar el origen de la materia oscura en la galaxia fue sugerido inicialmente por M. S. Turner y F. Wilczek en 1990 quienes señalaron que, en la hipótesis de que la materia oscura estuviera constituida por WIMPs (partículas neutras masivas que interactúan débilmente como, por ejemplo los neutralinos previstos en las Teorías de Supesimetría de Física de Partículas), sus colisiones podrían producir positrones y antiprotones y dar lugar a un exceso en los espectros energéticos esperados de los rayos cósmicos que se caracterizaría por un brusco decrecimiento a energías cercanas a la masa de las partículas de materia oscura que colisionan y por presentar una distribución isotropa en el supuesto de una distribución uniforme de materia oscura en el halo de la galaxia.



Javier Berdugo

javier.berdugo@ciemat.es

Carlos Mañá

carlos.mana@ciemat.es

Centro de Investigaciones Energéticas,
Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)

Los rayos cósmicos cargados son partículas de procedencia solar, galáctica o extragaláctica y están compuestos principalmente por protones (87%), núcleos de helio (12%) y núcleos más pesados (~1%). También se observa una pequeña fracción de electrones (~1%) y de partículas de antimateria (positrones y antiprotones). El espectro energético de las partículas de rayos cósmicos cubre un rango desde unos pocos electronvoltios hasta 10^{11} GeV/n y el flujo observado, $\Phi(E)$, se describe por una ley de potencias, $\Phi(E) \sim E^{-\gamma}$, con un índice espectral $\gamma \sim 2.7$ hasta 10^6 GeV/n que aumenta a valores de $\gamma \sim 3$ para energías más altas.

La composición y espectro energético de los rayos cósmicos se interpretan en el contexto de modelos de propagación. Las partículas de los rayos cósmicos, al menos hasta rangos de energía de 10^6 GeV/n, se consideran de origen galáctico y procedentes de explosiones de supernovas. Las partículas aceleradas por las ondas de choque de la explosión de supernovas son inyectadas en el medio interestelar donde, acopladas al campo magnético galáctico, sufren un proceso de difusión, tanto espacial como en energía. En su propagación en el medio interestelar, las partículas están afectadas por procesos de re-aceleración, convección, interacciones nucleares y pérdidas de energía y, al interactuar con éste, se producen nuevas partículas y productos de espalación. En este contexto, los protones, helio, carbono, oxígeno, hierro y otros núcleos más pesados producidos y acelerados en las fuentes se consideran rayos cósmicos "primarios". Las partículas producidas en la interacción de estos con el medio interestelar (núcleos de litio, berilio, boro, etc...) así como los productos de desintegración de partículas inestables se consideran rayos cósmicos "secundarios".

Dentro de los modelos convencionales de propagación, las partículas de antimateria, positrones y antiprotones, aparecen como productos de la interacción de la radiación cósmica primaria con el medio interestelar. La relación de flujos de rayos cósmicos secundarios sobre primarios es sensible a parámetros intrínsecos de los modelos de propagación tales como la cantidad promedio de material interestelar atravesada por los rayos cósmicos o el tiempo característico de confinamiento de los rayos cósmicos en la galaxia. La comprensión del origen, la aceleración y la propagación de los rayos cósmicos en la galaxia requiere de la realización de medidas precisas de los flujos de las partículas en un amplio rango de energía, incluyendo la composición química y la direccionalidad de las partículas.

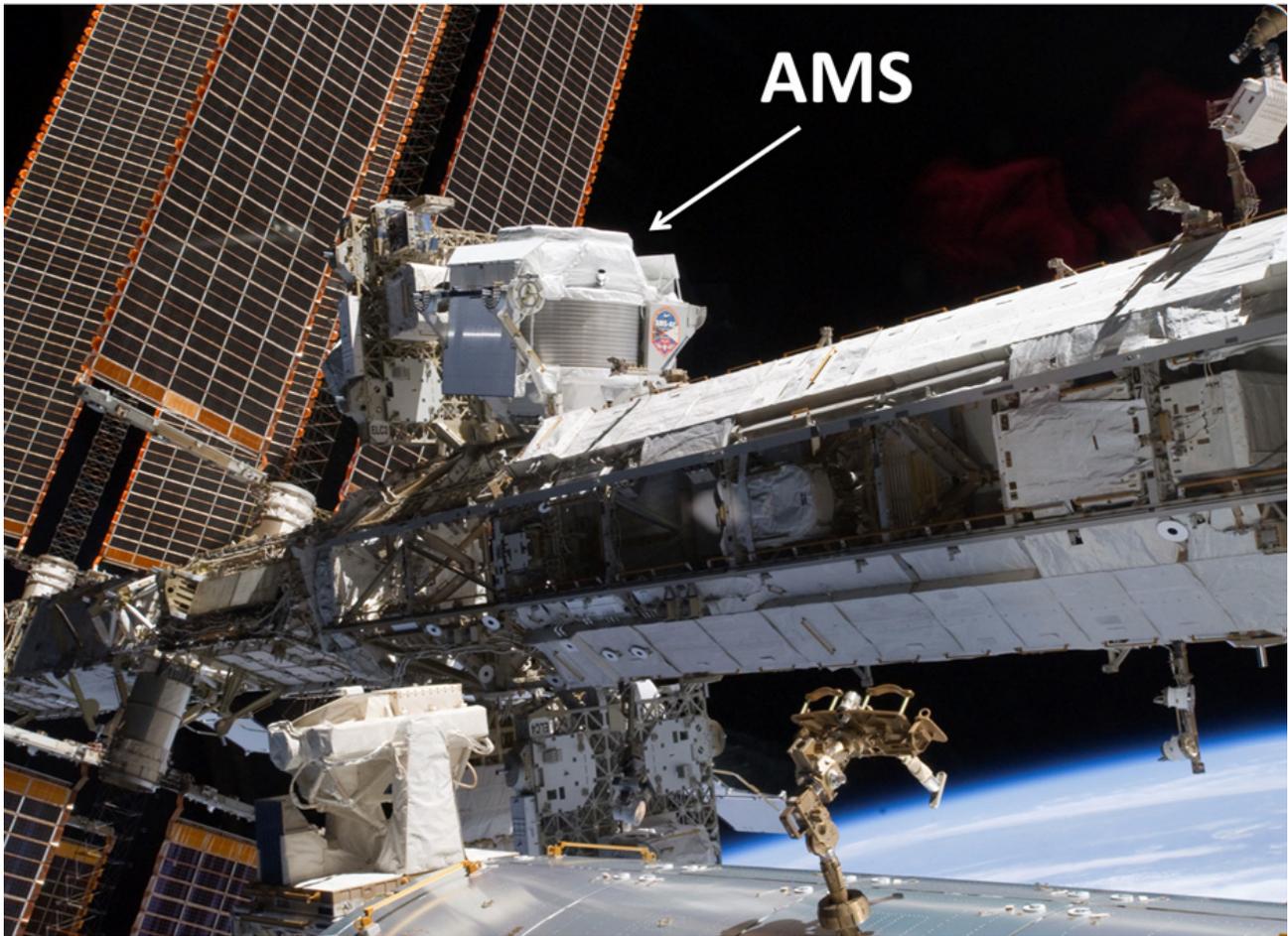


Figura 1. El experimento AMS instalado en la Estación Espacial Internacional.

AMS (Alpha Magnetic Spectrometer) es un experimento de física de partículas en el espacio cuyos principales objetivos científicos son la búsqueda y detección de materia oscura en los rayos cósmicos y la detección de antimateria. Estos objetivos son de muy difícil o imposible realización mediante experimentos terrestres ya que la naturaleza de los rayos cósmicos queda diluida al interactuar en la atmósfera. Por ello, la Colaboración AMS ha desarrollado un detector de partículas, un espectrómetro magnético capaz de medir partículas elementales y núcleos hasta energías del TeV, para ser operado desde la Estación Espacial Internacional (ISS). La viabilidad del experimento fue comprobada con una primera versión del detector (AMS-01) que fue instalada y operada en un vuelo de pruebas de 10 días de dura-

ción a bordo del transbordador espacial DISCOVERY en julio de 1998. El éxito de esta prueba no sólo sirvió para validar el concepto y diseño del detector, sino que proporcionó a la colaboración el conocimiento y experiencia necesarios para completar la construcción del detector final (AMS-02) que fue instalada en la ISS en mayo de 2011 y que está tomando datos desde entonces de forma ininterrumpida (figura 1).

MEDIDA DE ELECTRONES, POSITRONES Y ANTIPROTONES EN LOS RAYOS CÓSMICOS

Los últimos resultados de AMS, basados en 17,6 millones de electrones y positrones y 350,000 antiprotones, se muestran en las figuras 2 y 3. La fracción de positrones, definida como el cociente del flujo de positrones sobre el flujo de electrones y positrones,

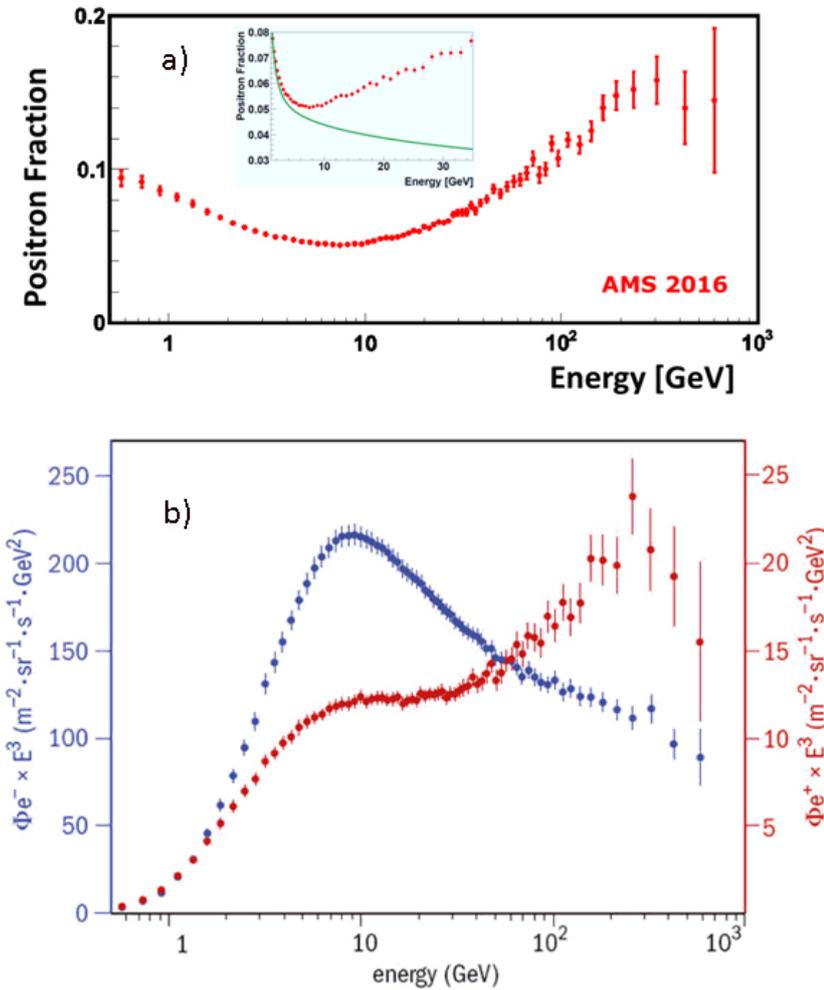


Figura 2.

2.a: Medida de AMS de la fracción de positrones, definida como el cociente del flujo de positrones sobre el flujo de electrones y positrones en los rayos cósmicos, en función de la energía. El resultado está basado en una estadística de más de 16 millones de electrones y más de 1 millón de positrones. En el inserto se muestra, junto con los datos de AMS, la predicción del modelo de propagación de rayos cósmicos (línea verde continua).

2.b: Medida de AMS del flujo de electrones (azul, eje izquierdo) y positrones (rojo, eje derecho) en función de la energía. Los valores de los flujos se han escalado por E^3 en la gráfica para visualizar mejor las formas de los espectros.

aumenta con la energía a partir de 8 GeV y supera rápidamente la predicción de los modelos estándar de propagación de rayos cósmicos, alcanzando un máximo en 265 GeV y disminuyendo a energías superiores. Una cuantificación del exceso observado en dicha fracción en términos de la contribución de una fuente externa de electrones y positrones sobre un fondo difuso da como resultado un factor 15 en la relación fuente-fondo para positrones y un valor máximo de energía de emisión de la fuente de alrededor de 600 GeV. El flujo medido de positrones es claramente diferente al de electrones como se puede observar en la figura 2b, tanto por su magnitud como por su dependencia energética y tiene una tendencia a disminuir bruscamente a energías por encima de 300 GeV, tal y como se espera de la contribución de una fuente con una energía máxima característica. Ni el flujo de

electrones ni el flujo de positrones puede ser descrito por una simple ley de potencias. No pueden ser explicados con los modelos habituales de propagación de rayos cósmicos y sugieren la existencia de una fuente externa de producción de electrones y positrones que o bien tiene un origen astrofísico o bien se debe a un fenómeno más exótico como la aniquilación de partículas de materia oscura. En este contexto, fuentes astrofísicas de positrones y electrones pueden inducir cierto grado de anisotropía en las direcciones de detección de las partículas por lo que se ha realizado una búsqueda sistemática de anisotropías en las muestras de electrones y positrones en el rango de energía de 16 GeV a 350 GeV. La amplitud del término dipolar medida en las muestras (0,014 para positrones y 0,003 para electrones) es consistente estadísticamente con una distribución isotrópica.

El cociente de los flujos medidos de antiprotones y protones se muestra en la figura 3 en función de la rigidez (momento por unidad de carga). La medida de AMS exhibe un comportamiento plano con la rigidez desviándose de las predicciones del modelo tradicional de propagación de rayos cósmicos que decrece a alta rigidez. La significación de la discrepancia no es tan evidente como la observada en la medida de los positrones, debido fundamentalmente a la incertidumbre en la predicción del modelo de propagación.

MEDIDAS DE NÚCLEOS EN LOS RAYOS CÓSMICOS

Los últimos resultados de AMS de las medidas de los flujos de protones, helio y litio en los rayos cósmicos se muestran en la figura 4 y exhiben también

características no esperadas. Como se ha mencionado anteriormente, los protones y el helio son los elementos más abundantes en los rayos cósmicos por lo que su flujo energético ha sido medido por varios experimentos con anterioridad con precisiones de $\sim 10\text{-}20\%$ hasta energías de cientos de GeV mostrando que, de acuerdo con los modelos tradicionales de propagación, su espectro energético se puede caracterizar con una simple ley de potencias. Los resultados de AMS muestran, con precisiones del por ciento, que los flujos de los protones y helio se desvían de una simple ley de potencias a valores de rigidez de ~ 300 GV. Este resultado es totalmente inesperado dentro de los modelos de propagación de los rayos cósmicos, así como lo es el hecho de que la desviación aparezca en el mismo rango de energías para ambas especies.

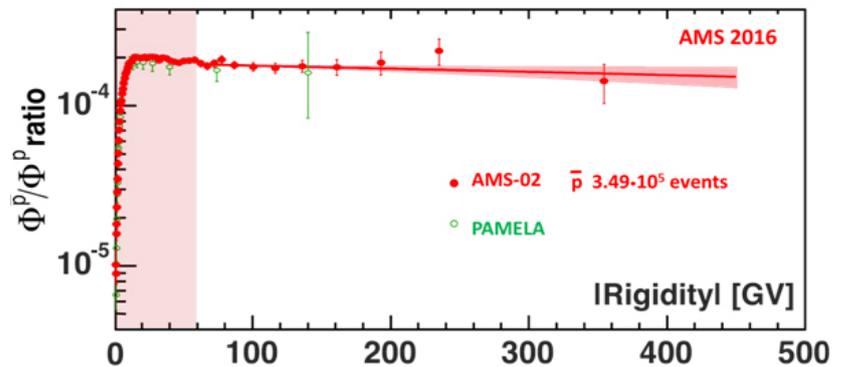
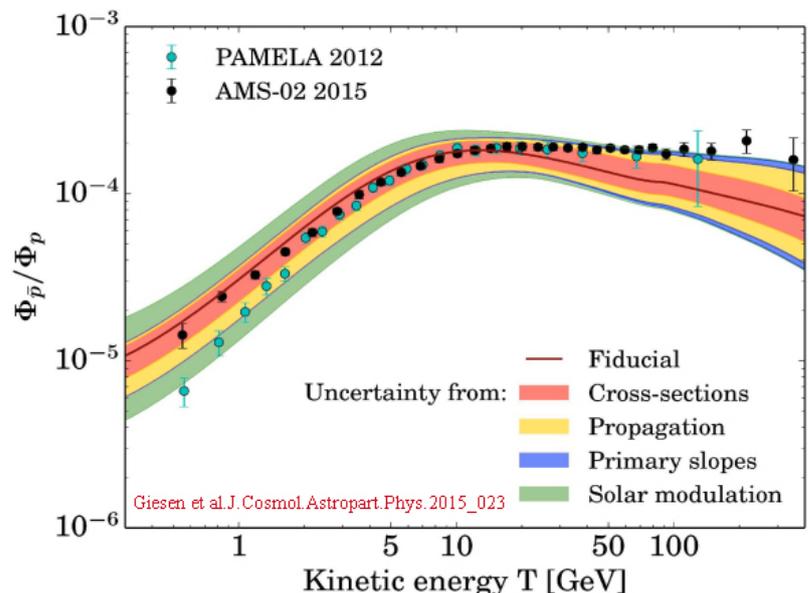


Figura 3.

3.a: Medidas de la fracción de los flujos de antiprotones y protones de AMS (puntos rojos) y PAMELA (puntos verdes) en función del valor absoluto de la rigidez. La línea roja continua muestra el mejor ajuste de una línea recta a los resultados de AMS a partir de 60 GV, junto con la banda al 68% de nivel de confianza.

3.b: Comparación de los resultados de la medida de la fracción de positrones de AMS con la predicción del modelo de propagación descrito en G. Giesen et al. (J. Cosmol. Astropart. Phys. 2015 023). Como se puede observar en la gráfica, la incertidumbre asociada a la predicción del modelo es superior al error de la medida.



El flujo de núcleos de litio es tres órdenes de magnitud inferior al de protones y helio y los datos experimentales que existían hasta el momento no permitían caracterizar su espectro energético debido a la baja estadística. Los resultados de AMS en la medida del flujo de núcleos de litio mostrados en la figura 4 exhiben el mismo comportamiento en función de la rigidez que los flujos de protones y helio desviándose también de una simple ley de potencias en valores de rigidez similares que en los flujos de protones y helio. Este resultado es especialmente interesante al tratarse de rayos cósmicos secundarios.

Recientemente se han propuesto diferentes modelos de difusión en los que las nuevas características observadas, en especial el exceso en la fracción de positrones, intentan ser interpretadas como efectos de propagación de los rayos cósmicos. Una característica de la mayoría de estos modelos es que predicen la aparición de estructuras o desviaciones a alta energía en el espectro energético del cociente de rayos cósmicos secundarios sobre primarios, en particular en el espectro del cociente de flujos de boro y carbono (B/C), fracción que es más ac-

cesible desde el punto de vista experimental. Los últimos resultados del B/C publicados por AMS se muestran en la figura 5. Los resultados de AMS por encima de 65 GeV/n se caracterizan satisfactoriamente con una ley de potencias y no muestran ninguna estructura significativa en contraste con la predicción de varios de estos modelos.

CONCLUSIÓN

Después de cinco años de operación en el espacio, AMS ha recogido más de 90 mil millones de rayos cósmicos y ha proporcionado medidas de precisión de electrones, positrones, protones, antiprotones y núcleos de helio, litio, boro, carbono y oxígeno hasta energías de multi-TeV. Los resultados que se están obteniendo con el detector AMS en la medida de los rayos cósmicos desde la ISS constituyen un desafío a la comprensión actual de los modelos de propagación de rayos cósmicos en la galaxia. Las medidas precisas realizadas de la fracción de positrones hasta energías de 500 GeV no pueden ser explicadas con los modelos habituales de producción de secundarios en rayos cósmicos y sugieren la existencia de una fuente externa de producción de electrones

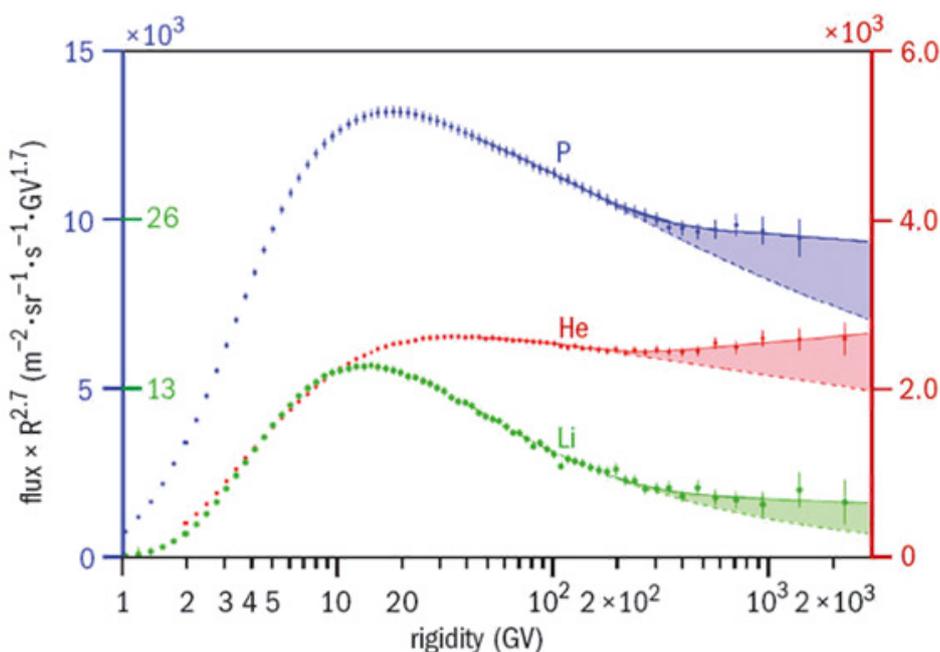


Figura 4. Flujo de protones, helio y litio. Medidas recientes de AMS de los flujos de protones (300 millones de sucesos, azul, eje izquierdo), helio (50 millones de sucesos, rojo, eje derecho) y litio (2 millones de sucesos, verde, eje izquierdo) multiplicados por R^{2.7}. La línea discontinua muestra el ajuste de los datos entre 45 y 200 GV a una ley de potencias. Las regiones sombreadas corresponden al exceso sobre los ajustes habituales a una única ley de potencias. En contra de lo esperado, los espectros están descritos por dos leyes de potencia (líneas continuas) por encima de 45 GV.

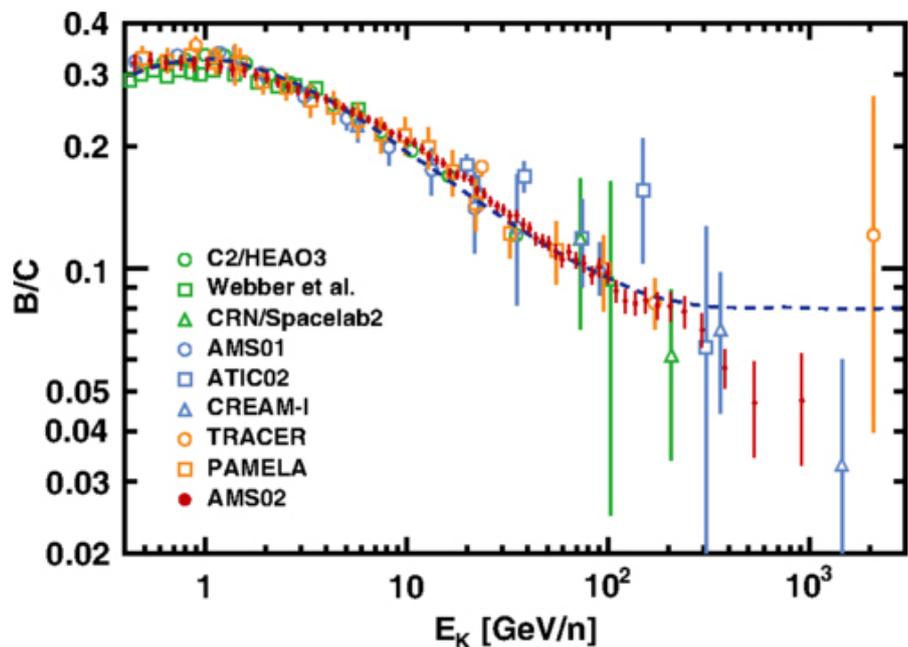
y positrones que o bien tiene un origen astrofísico o se debe a un fenómeno más exótico. Además, las medidas de alta precisión de los espectros energéticos de los elementos más abundantes en los rayos cósmicos (protones y helio), así como en los núcleos de litio, muestran un comportamiento diferente al esperado por los modelos actuales de propagación.

La medida simultánea y de alta precisión de diferentes partículas y núcleos de rayos cósmicos proporciona un conjunto de datos únicos para el desarrollo de una teoría coherente de los rayos cósmicos. Los datos de AMS están proporcionando una información esencial para la comprensión de las propiedades de los rayos cósmicos cargados, el origen de la materia oscura y la existencia de antimateria pesada.

Hasta al menos el año 2024, AMS permanecerá instalado como carga externa en la ISS y continuará recopilando y analizando un conjunto creciente de datos a mayores energías que, combinado con un detallado conocimiento del detector y de los errores sistemáticos de las medidas, proporcionará nuevos conocimientos en este campo.

AMS es una colaboración internacional liderada por el Premio Nobel de Física Samuel C. C. Ting (MIT) y en la que participan científicos de más de 30 laboratorios y universidades de Europa, Asia y Estados Unidos. Por parte española, los institutos participantes en AMS son el CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) y el IAC (Instituto de Astrofísica de Canarias). Ambos institutos han participado en el diseño, construcción y pruebas del detector y en la actualidad participan en las tareas de operación y mantenimiento de AMS en la ISS y en la explotación científica de los datos.

Figura 5. Fracción de los flujos de boro sobre carbono (B/C) en función de la energía cinética por nucleón (E_k) comparada con las medidas realizadas por otros experimentos desde el año 1980. Los resultados de AMS por encima de 65 GeV/n se caracterizan satisfactoriamente con una ley de potencias. La línea discontinua corresponde al cociente B/C predicho en el modelo descrito en R. Cowsik, B. Burch, and T. Madziwa-Nussinov, *Astrophys. J.* 786, 124 (2014) a partir del cual se podría interpretar el exceso de positrones observado por AMS como un efecto asociado a la propagación de los rayos cósmicos.



MEGARA, EL NUEVO ESPECTRÓGRAFO PARA GTC

En la primavera del 2017 se instalará en el Gran Telescopio Canarias (GTC), el instrumento MEGARA, un espectrógrafo de alta eficiencia con resolución espectral intermedia-alta y con capacidades para espectroscopía de campo integral y multi-objeto. MEGARA ha sido construido por un Consorcio de instituciones y empresas que está liderado por la Universidad Complutense de Madrid y con participación del INAOE (México), el IAA-CSIC y la UPM. Esta nueva herramienta proporcionará a GTC una combinación de eficiencia, resolución espectral y versatilidad, única en telescopios de la clase 8-10m.



Armando Gil de Paz
Universidad Complutense de Madrid
agil@fis.ucm.es

CARACTERÍSTICAS Y DESARROLLO

Además de una ciudad cercana al estrecho del Corinto y de ser el nombre de la esposa de Hércules (Μεγαρά) en la mitología griega, MEGARA es un acrónimo de significado "Multi-Espectrógrafo en GTC de Alta Resolución para Astronomía" y el próximo espectrógrafo óptico para el Gran Telescopio Canarias (GTC). Una vez instalado en el telescopio en la primavera de 2017, MEGARA ofrecerá a toda la comunidad GTC (España, México –INAOE y UNAM– y Universidad de Florida) capacidades de espectroscopía de campo integral (*IFS*, del inglés *Integral Field Spectroscopy*) y multi-objeto (*MOS*, del inglés *Multi-Object Spectroscopy*) con resoluciones en el rango $R = \lambda / \Delta\lambda \sim 6000-20,000$ dentro de todo el rango visible entre 3650Å y 9700Å. Estas capacidades y su alta eficiencia, cercana al 30% en gran parte del rango espectral, son una combinación única en telescopios de la clase 8-10m.

La historia de MEGARA comienza en el año 2010, cuando el Consorcio que desarrolla MEGARA, liderado por la Universidad Complutense de Madrid (UCM) y que incluye el Instituto de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE, México), el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) y la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), respondió a la llamada para nuevos instrumentos realizada por GRANTECAN S.A., empresa responsable de la construcción unidad GTC, el diseño conceptual de MEGARA fue seleccionado como el del próximo instrumento óptico para GTC. Sin embargo, y coincidiendo con años de importantes dificultades económicas por parte de GRANTECAN, la firma de los sucesivos contratos se fue alargando en el tiempo. Primero hubo que esperar casi dos años para celebrar la revisión de diseño preliminar, en marzo de 2012, y más de dos años hasta conseguir la firma de los contratos de Diseño de Detalle y de Construcción entre la UCM y GRANTECAN, respectivamente el 28 de abril y el 5 de mayo de 2014. Esto dejó a nuestro equipo con menos de 3 años por delante para completar la fabricación y pruebas del instrumento y para su instalación en GTC. Todo un reto para las instituciones involucradas y para nuestro equipo humano, a todos los niveles: de tiempo, recursos y gestión.

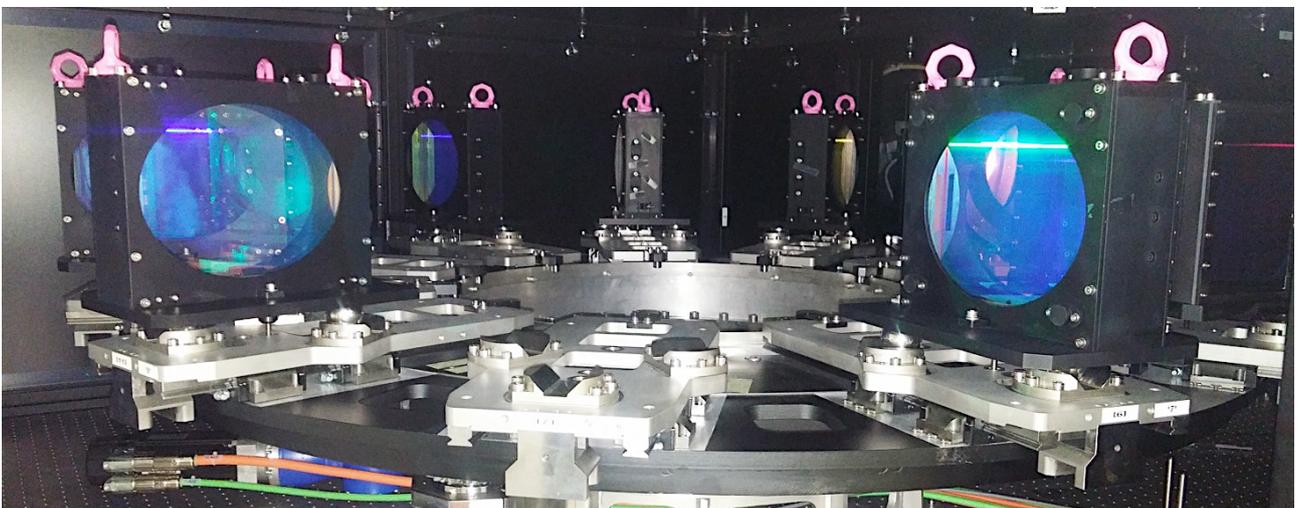
ESPECTROSCOPIA DE CAMPO INTEGRAL Y MULTI-OBJETO EN GTC

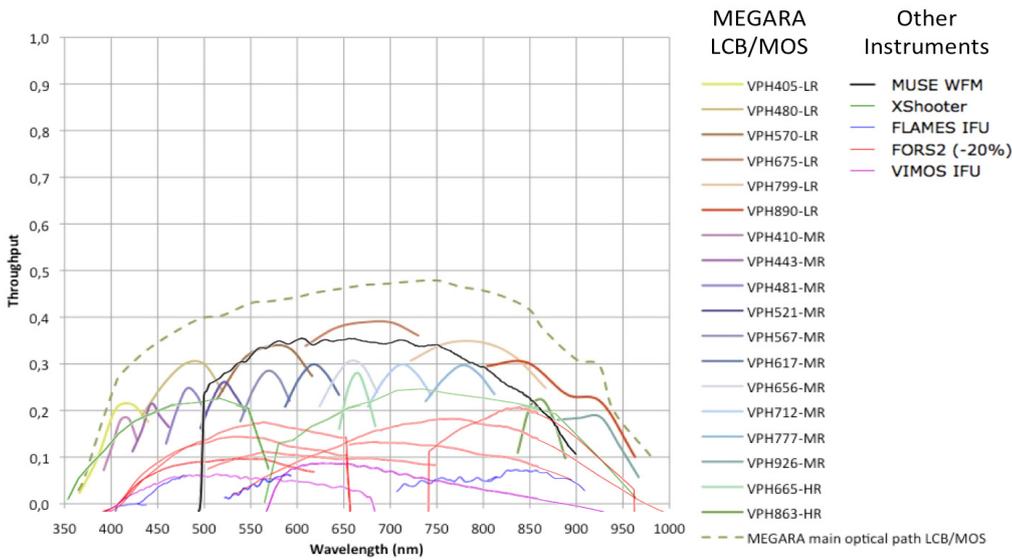
El instrumento MEGARA consta de dos unidades, una situada en el foco Cassegrain doblado (FC-F) de GTC donde se recoge la luz mediante un total de 1267 fibras ópticas distribuidas en sus dos modos, el modo de espectroscopía de campo integral (mediante el uso de la *IFU*, del inglés *Integral Field*



Unit, denominada LCB; *Large Compact Bundle*) y el modo multi-objeto (o *Dispersed Bundle*). La IFU LCB está situada en el centro del campo del instrumento y cuenta con 567 elementos (*spaxels*) de forma hexagonal y 0.62 segundos de arco (") de tamaño. Esto permite cubrir de forma completa un campo conexo de 12.5"x11.3". La LCB cuenta además con 56 fibras de cielo distribuidas en 8 mini-haces que se sitúan en los extremos del campo, aproximadamente a unos 2 minutos de arco (') del centro de la LCB. El Fiber MOS está constituido por un sistema de 92 posicionadores robóticos desarrollados por la empresa AVS (Elgoibar) y que cubren el campo plano sin viñeteo de GTC en el foco FC-F, es decir $\sim 3.5' \times 3.5'$.

La segunda unidad, el espectrógrafo MEGARA, se sitúa en la plataforma Nasmyth-A de GTC y está conectado mediante 1267 fibras ópticas con el foco FC-F. El espectrógrafo ha sido diseñado por la empresa Fractal S.L.N.E. y su óptica principal y elementos de pupila han sido fabricados por el INAOE (Puebla, México). Es un sistema colimador-cámara de ángulo fijo (68°) que utiliza redes de tipo VPH (del inglés *Volume-Phase Holographic*) de alta eficiencia. Estas redes en transmisión proporcionan eficiencias de entre el 80-90% en su longitud de onda central y pueden acoplarse a prismas para aumentar la resolución espectral. Sin el uso de prismas, un total de 6 redes LR (*Low-Resolution*: LR-U, LR-B, LR-V, LR-R,





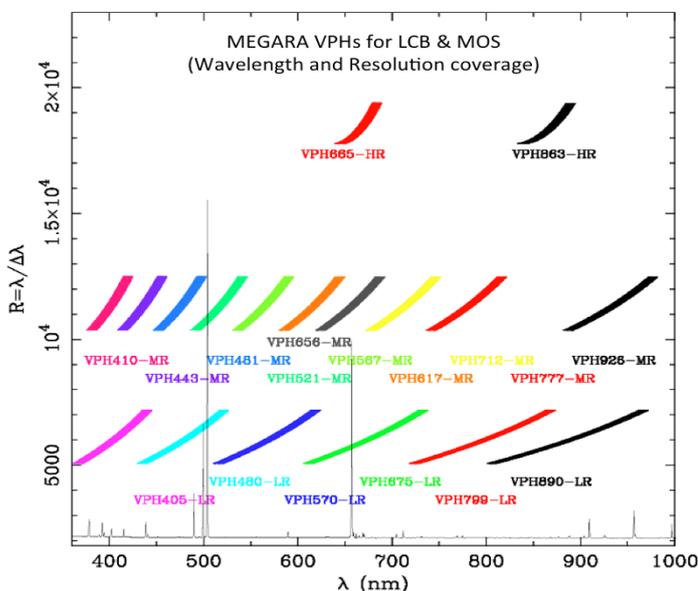
Comparación de las eficiencias totales (telescopio, fibras, óptica principal, VPHs, y CCD) de las diferentes configuraciones espectrales de MEGARA comparadas con las de diferentes instrumentos del VLT (Reproducida con permiso del Dr. Roland Bacon; CRAL).

LR-I y LR-Z) permiten cubrir todo el rango óptico con resoluciones espectrales $R \sim 6000$, es decir, 50 km s^{-1} en *Full-Width at Half-Maximum* o $\sim 20 \text{ km s}^{-1}$ en σ . Mediante el uso de prismas, las 10 redes MR (*Medium-Resolution*) cubren, de nuevo, todo el rango óptico con una resolución espectral equivalente a $\sigma \sim 11 \text{ km s}^{-1}$. Por último, MEGARA cuenta también con dos redes que proporcionan $R \sim 20,000$ ($\sigma \sim 7 \text{ km s}^{-1}$) y que cubren el rango en torno a las líneas $H\alpha + [\text{NII}] + [\text{SII}]$ ($6445\text{--}6837\text{\AA}$) y la zona del triplete infrarrojo del Calcio ($8372\text{--}8882\text{\AA}$), aunque el diseño del instrumento permite alcanzar estas resoluciones también a longitudes de onda más cortas. Estas 18 configuraciones espectrales se proyectan sobre un detector CCD modelo CCD231-84 fabricado por E2V de 4096×4112 pixels de 15 micras de tamaño enfriado a 150K en el interior de un criostato de Nitrógeno líquido fabricado por el INAOE.

CIENCIA CON MEGARA

Las características de MEGARA son fruto de un conjunto de requerimientos científicos definidos por un colectivo de más de 60 astrónomos que conforman el equipo científico del instrumento. Este equipo incluye investigadores trabajando en prácticamente todos las áreas de la astronomía, desde el estudio de poblaciones estelares en cúmulos estelares Galácticos hasta el estudio de las galaxias más distantes y que provienen en su mayoría de los países e instituciones participantes en GTC.

Estos objetivos científicos que definen las características de MEGARA se pueden dividir en dos grupos, aquellos que harán uso principalmente del modo de espectroscopía de campo integral (es decir, de la *IFU LCB*) y los que se centran en la explotación del sistema de posicionadores robóticos que conforman el *Fiber MOS*.



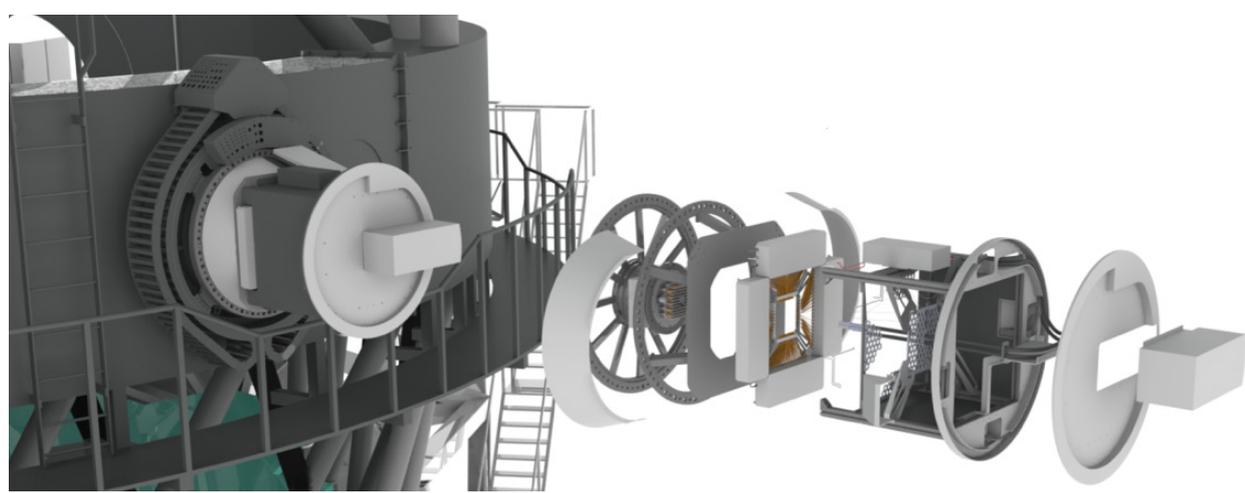
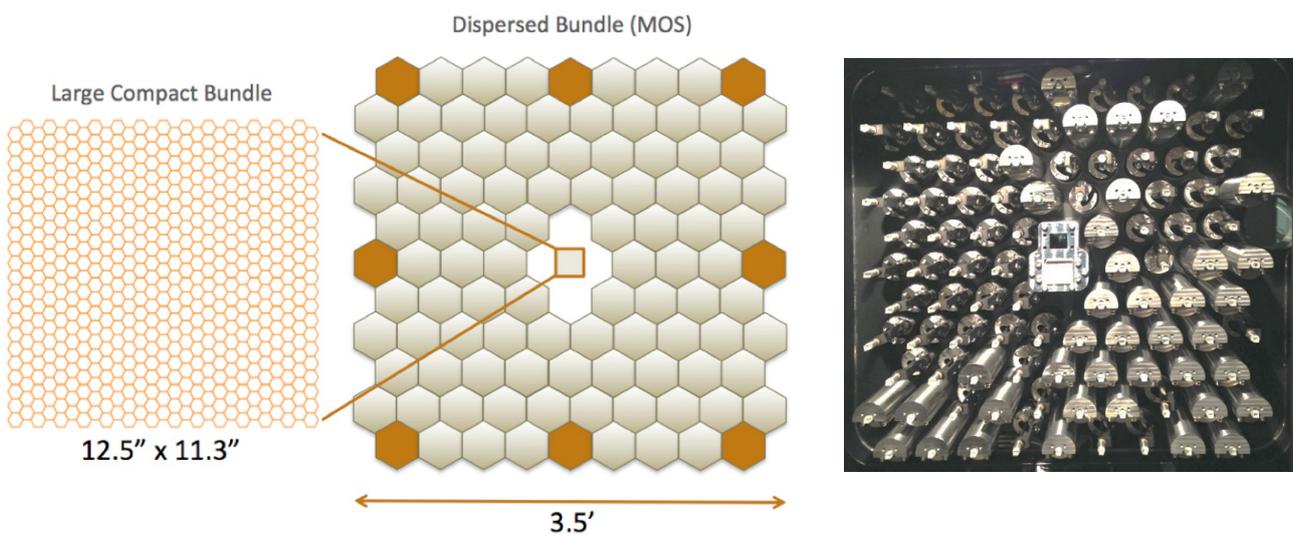
Comparación de la resolución espectral con la cobertura espectral de las 18 redes VPH de MEGARA.

Entre los primeros se encuentran el estudio de (1) nebulosas planetarias en nuestra Galaxia, (2) galaxias cercanas, y (3) la emisión de la líneas resonantes en el UV a alto desplazamiento al rojo (z) proveniente de LABs y de la *Cosmic Web*. Por otro lado, el uso del sistema *Fiber MOS* nos permitiría conocer mejor (1) el extremo más débil de la función de masa de cúmulos estelares Galácticos, (2) poblaciones estelares resueltas (estrellas masivas azules y estrellas TRGB) en galaxias del Grupo Local, (3) así como los campos cosmológicos más profundos, todos ellos con una combinación sin precedentes de sensibilidad y resolución espectral.

MEGADES: MEGARA GALAXY DISKS EVOLUTION SURVEY

Uno de los casos de mayor interés dentro del equipo científico de MEGARA se centra en el estudio detallado de los discos de galaxias espirales cercanas, tanto en lo referente a su evolución espectro-fotométrica y química como a su caracterización y evolución dinámicas. Este proyecto se denomina MEGADES, del acrónimo en inglés *MEgara GALaxy Disks Evolution Survey*. Para llevar a cabo este proyecto se analizarán por

un lado las abundancias químicas, las edades y el elipsoide de velocidad de estrellas individuales en el disco de M33. Para ello se observarán tanto estrellas masivas azules como estrellas del *Tip* de la fase *Red Giant Branch* (TRGB). Además, se comparará la emisión multi-longitud de onda de las poblaciones estelares no resueltas, su dinámica y abundancia química estelar y del gas ionizado con las predicciones de modelos de evolución de discos espirales para una muestra de casi un centenar de galaxias de disco extraída de las exploraciones S4G/DAGAL y CALIFA. Esta muestra permite explorar adecuadamente el espacio de parámetros de las propiedades de los discos de galaxias espirales en el Universo Local. La combinación de este conjunto de datos nos permitirá establecer la contribución de procesos in-situ y ex-situ (asociados a sucesos de acreción de satélites o a migración estelar) a la historia de formación estelar y de enriquecimiento químico efectivas de los discos de galaxias espirales, elemento clave para determinar el proceso de formación y crecimiento de estas galaxias, entre las que se encuentra nuestra propio Vía Láctea.



RENDIMIENTO Y DESEMPEÑO DE MEGARA

Actualmente (diciembre de 2016) MEGARA se encuentra en fase de pruebas (o fase *AIV*, del inglés *Assembly, Integration and Verification*) previas a la aceptación del instrumento en laboratorio, que tendrá lugar en febrero de 2017. Tras dicho hito, el instrumento será enviado a La Palma para su subida al Observatorio del Roque de los Muchachos el 31 de marzo de 2017.

A nivel del plano focal del instrumento, la unidad de campo integral está instalada así como la mayor parte de los posicionadores robóticos del sistema *MOS*. Ambos modos están bajo intensivas pruebas que incluyen ensayos de control de mecanismos, entre ellos el dispositivo del movimiento simultaneo de los 92 posicionadores del sistema *Fiber MOS*, y la obtención de imágenes *flat*, para la traza de los espectros de las 1267 fibras y para la corrección de la variación de sensibilidad pixel a pixel y de iluminación, y de arco, para la calibración en longitud de onda y la verificación de la calidad de imagen, resolución y cobertura espectral de cada una de sus 18 configuraciones espectrales (en cada modo) de MEGARA.

Las imágenes tomadas durante la fase de *AIV* muestran que el instrumento cumple las especificaciones y requerimientos bajos los cuales fue diseñado. En particular, las 6 redes de resolución baja (LR) cubren todo el rango entre 3650Å y 9630Å con valores de FWHM que proporcionan una resolución espectral media de $R \sim 6000$. Lo mismo sucede con las 10 redes de resolución intermedia (MR), con una calidad óptica equivalente a $R \sim 11,500$ y cobertura prácticamente completa entre 3900Å y 9700Å, y con las dos redes de más alta resolución

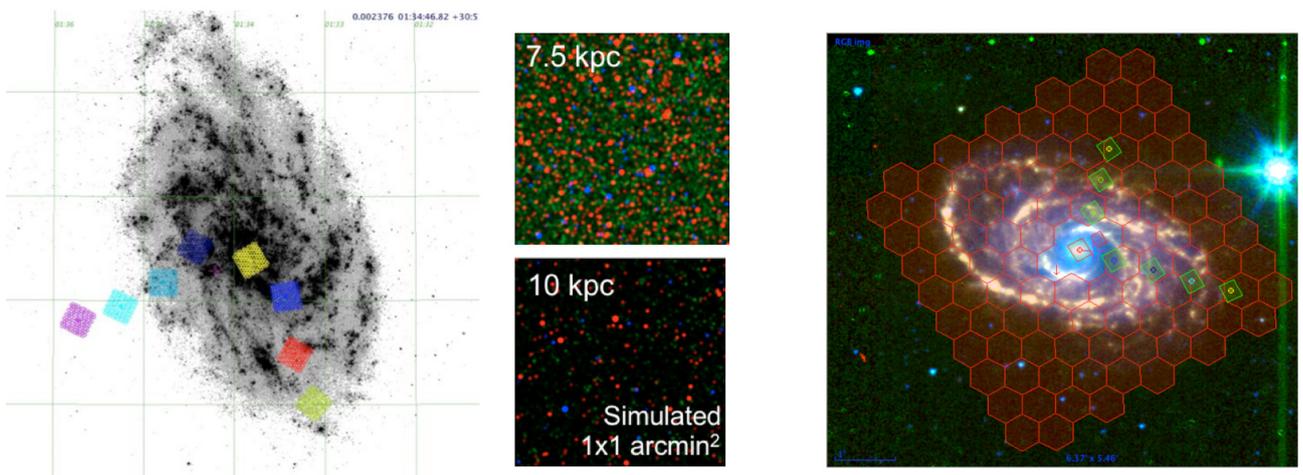
disponibles, HR-R en la zona de $H\alpha$ y HR-I en la zona del triplete del Calcio infrarrojo (CaT), y que permiten alcanzar $R \sim 20,000$. En términos de eficiencia, el conjunto de fibras ópticas, óptica principal del espectrógrafo, redes VPH y detector CCD de MEGARA proporcionan una eficiencia máxima del 40% con eficiencias cercanas al 30% en prácticamente todo el rango en longitud de onda incluso a $R = 20000$. Sólo en los extremos azul y rojo la eficiencia total baja del 20%. Estos valores no tienen precedentes en instrumentos de resolución espectral intermedia-alta en telescopios de la clase 8-10m y proporcionan a la comunidad GTC con una herramienta única capaz de explotar nichos científicos inexplorados hasta la fecha.

Los datos obtenidos durante la fase de *AIV* nos han permitido además poner a prueba y optimizar las herramientas del astrónomo, tanto aquellas referentes a la preparación de observaciones como para las necesarias para el procesado de los datos. Las herramientas que nuestro equipo pondrá a disposición de la comunidad incluyen el Calculador de Tiempo de Exposición (ETC, del inglés *Exposure Time Calculator*), la herramienta de configuración del *Fiber MOS* (FMAT, del inglés *Fiber MOS Assignment Tool*) y la Cadena de Procesado de Datos (DRP, del inglés *Data Reduction Pipeline*).

AGRADECIMIENTOS

El diseño, construcción y puesta en funcionamiento del instrumento MEGARA es fruto del trabajo (en muchos casos “*beyond duty*”) de un excelente equipo (a nivel técnico, científico y humano) de personas y de las instituciones y empresas detrás de cada una de ellas y ellos.

Izquierda: Imagen UV de la galaxia M33 con los apuntados del MOS de MEGARA previstos dentro del proyecto MEGADES. Centro: Simulación de una campo de 1'x1' a diferentes distancias galactocéntricas en M33. Derecha: Configuración del MOS de MEGARA para las observaciones de un objeto dentro de la muestra S4G.



El equipo MEGARA está compuesto por:

Investigador Principal: Armando Gil de Paz (UCM).

Consortio de MEGARA: Esperanza Carrasco Licea (representante INAOE), Jesús Gallego Maestro (repr. UCM), Jorge Iglesias Páramo (repr. IAA-CSIC), Raquel Cedazo (repr. UPM).

Equipo del instrumento MEGARA: Marisa García Vargas (Gestora, Fractal S.L.N.E.), África Castillo-Morales (UCM), Sergio Pascual Ramírez (UCM), Daniel Ferrusca (INAOE), Ana Pérez Calpena (Fractal), Ismael Martínez-Delgado (Fractal), Simon Tulloch (Fractal), Manuel Maldonado (Fractal), Ernesto Sánchez Blanco (Fractal), Miguel Velázquez (INAOE), Edgar Castillo-Domínguez (INAOE), Rafael Izazaga-Pérez (INAOE), Xabier Arrillaga (AVS), Bertrand Lefort (Fractal), José Antonio López-Orozco (UCM), Gonzalo Paez (CIO), Nicolás Cardiel López (UCM), Jaime Zamorano Calvo (UCM), Miriam Cisneros (INAOE), Emma Mujica (Fractal), Antonio Verdét (UCM), Carlos Tapia (UCM), Ainhoa Sánchez Penim (UCM), Isaac Morales (IAA-CSIC), José M. Vílchez Medina (IAA-CSIC), Pedro Gómez-Cambronero Álvarez (Fractal), Esteban González Guardia (UPM), José L. Avilés (INAOE), Eider González (AVS), Pablo Picazo (UCM), Juan Bonache (UCM), Javier Dormido (UCM), Segundo Esteban San Román (UCM), Ignacio Carrera (AVS), Miguel Ángel Carrera (AVS), Jesús M. de la Cruz García (UCM).

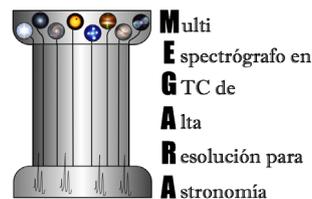
Equipo científico de MEGARA: A. Gil de Paz, E. Carrasco, J. Gallego, J. Iglesias-Páramo, R. Cedazo, M. L. García Vargas, J. L. Avilés, N. Cardiel, A. Castillo-Morales, P. Gómez-Cambronero, S. Pascual, J. M. Vílchez, J. Zamorano, A. L. Aguerri, D. Barrado y Na-

váscues, E. Bertone, A. Cava, J. Cenarro, M. Chávez, M. García-García, J. García-Rojas, J. Guichard, R. González-Delgado, R. Gúzman, A. Herrero, N. Hué-lamo, D. H. Hughes, J. Jiménez-Vicente, C. Kehrig, R. A. Marino, I. Márquez, J. Masegosa, Y. D. Mayya, J. Méndez-Abreu, M. Mollá, C. Muñoz-Tuñón, M. Peimbert, P.G. Pérez-González, E. Pérez Montero, M. Rodríguez, J. M. Rodríguez-Espinosa, L. Rodríguez-Merino, L. Rodríguez Muñoz, D. Rosa-González, J. Sánchez-Almeida, C. Sánchez Contreras, P. Sánchez-Blázquez, S. F. Sánchez, A. Sarajedini, S. Silich, S. Simón-Díaz, G. Tenorio-Tagle, E. Terlevich, R. Terlevich, S. Torres-Peimbert, I. Trujillo, Y. Tsamis, O. Vega.

El equipo de MEGARA quiere agradecer a GRANTE-CAN S.A., al MINECO y al CONACyT por la financiación recibida para poder completar este proyecto en fecha y en requerimientos.

Todo el equipo quiere aprovechar esta oportunidad para trasladar su más cálido agradecimiento a todas nuestras familias, que han sufrido y aguantado con estoica paciencia las horas, días y semanas de trabajo a deshoras dedicadas al proyecto, especialmente durante estos últimos años.

Este artículo está dedicado a Francisco Manuel Sánchez Moreno, investigador y representante de la UPM en el Consorcio de MEGARA hasta su trágico fallecimiento el 2 de agosto de 2015.



EXOMARS LLEGA A MARTE

Desde Octubre de 2016, unos nuevos ojos vigilan Marte. Se trata del orbitador Trace Gas Orbiter (TGO) de la misión ExoMars 2016, resultado de la colaboración entre la Agencia Espacial Europea ESA y la rusa Roscosmos. ExoMars 2016 consta de dos partes: el satélite TGO y el módulo de entrada, descenso y aterrizaje Schiaparelli. Al mismo tiempo que Schiaparelli se estrellaba contra la superficie de Marte, prolongando la “maldición” ruso-europea que aboca al fracaso todos sus intentos de estudiar Marte desde su superficie, TGO completaba con éxito su inserción en órbita.



Francisco Gonzalez Galindo
Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA)
ggalindo@iaa.es

El objetivo principal de TGO es medir con una precisión sin precedentes la composición de la atmósfera marciana, en particular los llamados gases traza. Estos gases, presentes en una proporción muy pequeña, proporcionan una valiosa información acerca de procesos químicos, dinámicos y de interacción atmósfera-subsuelo. Entre ellos se encuentra el metano. Desde su controvertida detección en 2004, la presencia de este gas, que en la Tierra se produce principalmente por procesos biológicos pero también por diversos procesos geológicos, se ha convertido en uno de los principales enigmas marcianos. Recientes medidas, realizadas tanto desde telescopios terrestres como por el rover de la NASA Curiosity, han revelado importantes variaciones temporales y espaciales de la abundancia de este gas, no explicables por los modelos químicos y que sugieren la presencia de fuentes activas. TGO resolverá el enigma del metano midiendo su abundancia y las de otros gases derivados de él de forma continua y con una muy alta precisión (1000 veces mejor que las medidas actuales). Esto permitirá dilucidar el/los procesos que están en el origen de este gas.

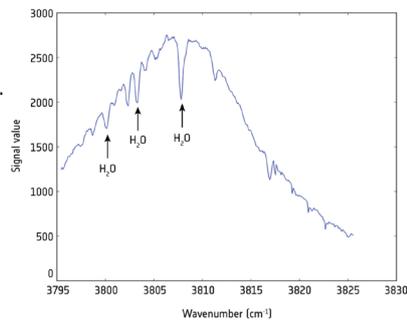
Para ello TGO se valdrá de dos de los cuatro instrumentos a bordo, NOMAD y ACS. Ambos están formados por una combinación de espectrómetros capaces de medir en un amplio rango de longitudes de onda, desde el ultravioleta al infrarrojo térmico. NOMAD y ACS utilizarán la técnica de ocultación solar: analizando cómo la luz solar es absorbida por la atmósfera marciana determinarán con gran precisión la composición atmosférica. También analizarán la luz solar reflejada por la superficie del planeta, lo cual permitirá realizar mapas de composición y determinar las fuentes de los distintos compuestos químicos. NOMAD y ACS acompañan a otros dos instrumentos: CaSSIS, una cámara estereográfica de alta resolución, que permitirá caracterizar los emplazamientos en superficie identificados como posibles fuentes de gases traza, y FREND, un detector de neutrones cuyo objetivo es detectar la presencia de hielo bajo la superficie del planeta. Hay que destacar que NOMAD tiene una importante contribución española: la electrónica de control se ha diseñado y construido en el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), y el diseño térmico y estructural se ha realizado en el Instituto Universitario de Microgravedad Ignacio da Riva de la Universidad Politécnica de

Arriba: primer espectro infrarrojo de la atmósfera marciana tomado por el instrumento NOMAD, mostrando la presencia de líneas de absorción de agua.

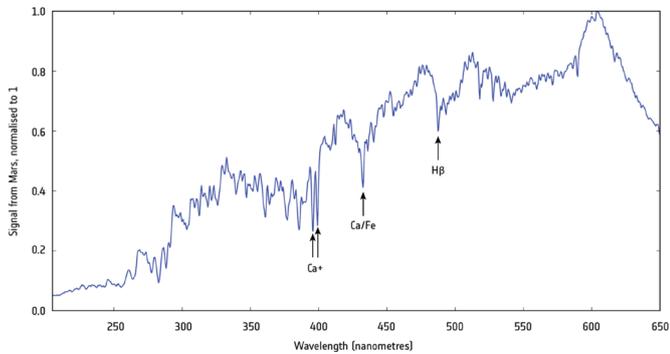
Abajo: primer espectro ultravioleta obtenido por NOMAD mostrando diversas líneas del espectro solar y absorciones atmosféricas.

Copyright: ESA/Roscosmos/ExoMars/NOMAD/BISA/IAA/INAF/OU

NOMAD infrared measurements (limb, nadir and occultation mode)
22 November 2016



NOMAD ultraviolet and visible measurements
22 November 2016



Madrid. El IAA-CSIC participa también en el equipo encargado de analizar sus resultados y lidera el proyecto UPWARDS, financiado por el programa H2020 y destinado al desarrollo de métodos novedosos de análisis para las medidas de TGO.

A final de Noviembre de 2016 los instrumentos de TGO han realizado sus primeras medidas en órbita marciana, destinadas a comprobar la salud de los instrumentos tras el vuelo interplanetario y el desacoplamiento de Schiaparelli, y a calibración. Estas primeras medidas han mostrado que todos los instrumentos funcionan nominalmente. A principios de 2017 TGO comenzará una fase de aerofrenado, disminuyendo su velocidad mediante el rozamiento con la tenue atmósfera alta marciana hasta alcanzar su órbita definitiva, circular de 400 km. Esta fase, durante la cual los instrumentos científicos permanecerán apagados, se prolongará aproximadamente un año. Tras ella, en el primer trimestre de 2018, comenzará la fase científica de la misión, y el metano marciano dejará paso a nuevas y fascinantes preguntas por responder.



Imagen del borde de un cráter cercano al ecuador, tomada por el instrumento CaSSIS del ExoMars 2016 TGO.
Copyright: ESA/Roscosmos/ExoMars/CaSSIS/UniBE

En 2014 la Junta Directiva de la SEA inició un trabajo de seguimiento detallado de los recursos humanos en astronomía en nuestro país, con el claro objetivo de comprobar el estado y la evolución del personal investigador en diferentes categorías profesionales trabajando en nuestra área. Fruto de dicho trabajo fue el primer estudio de recursos humanos en astronomía y astrofísica en España, presentado en la XI Reunión Científica de la SEA en Teruel y resumido en el Boletín de la SEA de verano de 2015.



Javier Gorgas
Presidente de la SEA
jgorgas@fis.ucm.es

En nombre de la Junta Directiva
de la Sociedad Española de Astronomía

Fiel a sus objetivos, 2 años después hemos actualizado la información sobre el personal trabajando en los centros españoles y hemos completado el segundo estudio de recursos humanos, trabajo que ha sido presentado en la XII Reunión Científica celebrada y que puede ser descargado de las [páginas de la Sociedad](#). En este breve artículo destacamos las principales conclusiones de dicho informe.

Al igual que en primer estudio, el informe recoge información de 50 centros diferentes, lo que constituye la práctica totalidad de los centros españoles en los que se hace investigación en astrofísica en España. Estos centros se clasifican en tres categorías: universidades, OPIs (Organismos Públicos de Investigación) y similares, y otros centros (en particular observatorios y centros de divulgación). La lista de centros se incluye en el artículo previo sobre el [primer informe](#). Para cada centro se dispone de la información desglosada en tres grandes categorías (plantilla, postdoctorales y predoctorales) y en un buen número de subcategorías para cada una de ellas, incluyendo un desglose por género.

En la Tabla 1 se muestra la distribución del personal investigador a fecha de junio de 2016 y su distribución en las tres grandes categorías citadas y en cada tipo de centros. El número de profesionales trabajando en el área de astronomía y astrofísica en España asciende a 787 personas (con un 56% en OPIs y similares y un 37% en universidades), de las cuales un 50% son personal en plantilla, es decir, funcionarios o con un contrato indefinido. Como ya se apreciaba en el primer informe, el porcentaje de personal en plantilla es mayor en las Universidades (62%) que en las OPIs (39%), donde el personal se reparte más uniformemente entre las tres categorías.

Cuando se comparan estos datos con los del primer informe, lo primero que salta a la vista es que, en tan solo 2 años, hemos sufrido una apreciable reducción en el personal trabajando en el área, pasando de 835 profesionales a 787. En la figura 1 se muestra la evolución temporal del personal, clasificado por categorías, desde que tenemos datos (año 2002) hasta el presente. El resultado principal es que la tendencia claramente positiva en los 10 primeros años, con una subida global del 84%, ha cambiado drásticamente de signo en los últimos años, y especialmente desde

	Plantilla	Postdocs	Predocs	TOT
Universidades	182	58	55	295 (37%)
OPI's	173	141	129	443 (56%)
Otros	36	11	2	49 (6%)
TOT	391 (50%)	210 (27%)	186 (23%)	787

Tabla 1. Distribución del personal en junio de 2016.

Evolución del personal

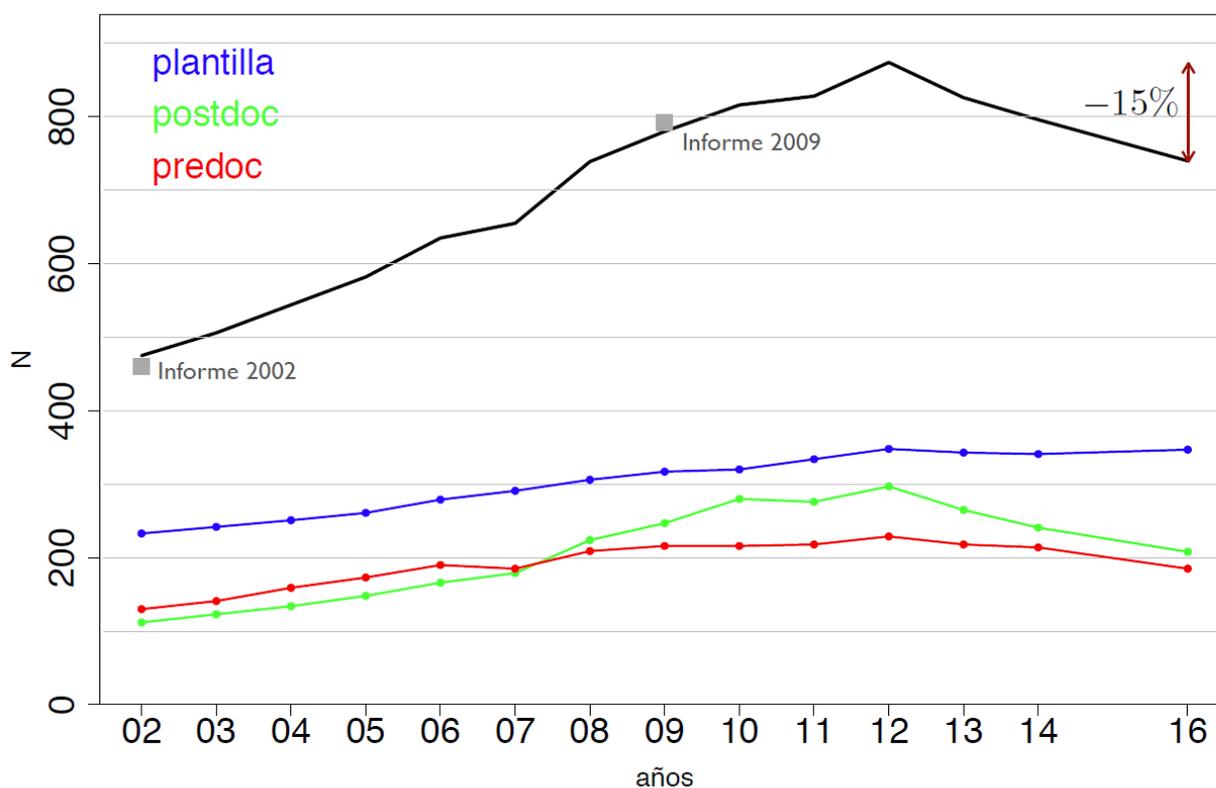


Figura 1: Evolución temporal del personal en las diferentes categorías.

Evolución del personal

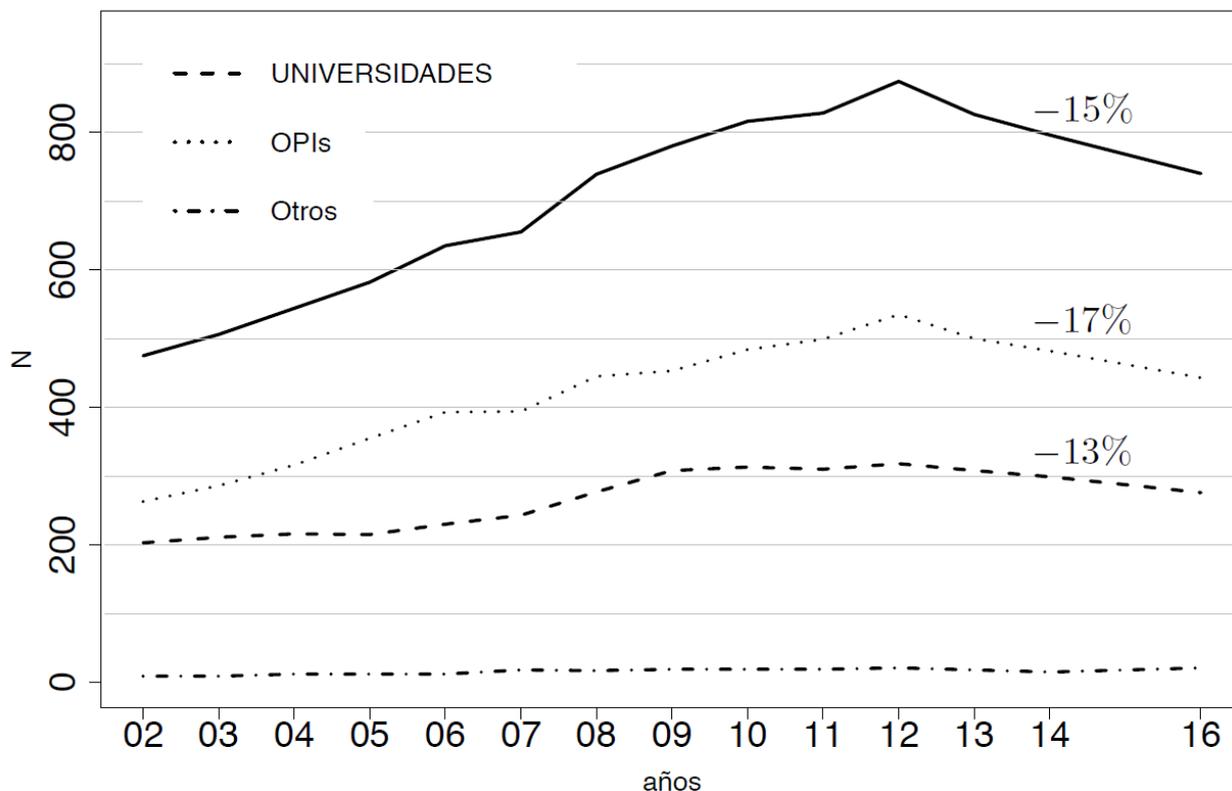
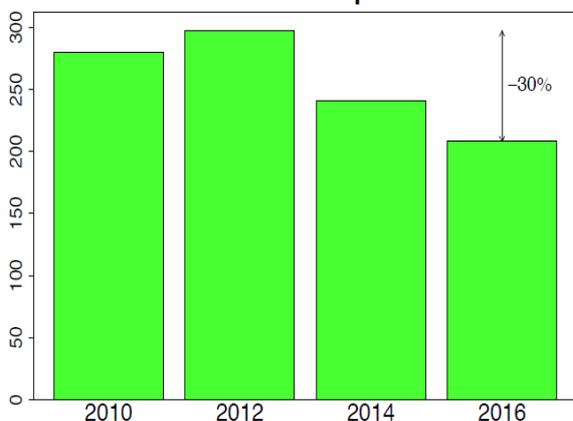


Figura 2: Evolución temporal del personal para los diferentes tipos de centros.

Evolución de los postdocs



Evolución de los predocs

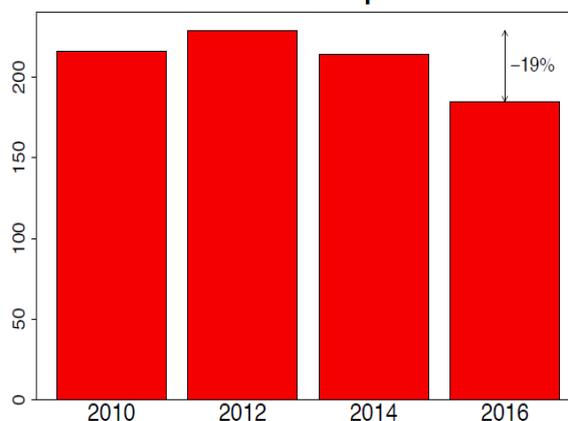


Figura 3: Evolución temporal del número de postdocs y predocs en los últimos seis años.

2012 hasta la fecha, con una disminución global del 15% en el número de profesionales en España en los últimos 4 años. En la figura 2 se muestra además como tanto la subida como la bajada han sido más acusadas para OPIs y similares que para universidades. En concreto, desde 2012 el número de investigadores ha disminuido en un 17% para los primeros y en un 13% para los segundos.

Algo muy preocupante, y que ya se manifiesta en la figura 1, es que, si bien las plantillas de personal permanente se han mantenido muy estables en los últimos 4 años (hay 1 plaza menos en 2016 que en 2012), la caída para postdocs y predocs ha sido muy severa. Esto se observa mejor en los diagramas de barras de la figura 3: en los últimos 4 años ha habido una disminución del 30% en contratos postdoctorales y de un 19% en contratos y becas predoctorales. La gravedad de la situación se hace más patente cuando hablamos en términos absolutos: en solo cuatro años, el colectivo de investigadores ha disminuido en 89 postdocs y 44 estudiantes de doctorado. Paradójicamente, esta involución en el número de jóvenes investigadores contrasta con un incremento en la participación de la astronomía española en grandes proyectos instrumentales internacionales y en la explotación de los grandes telescopios.

Nos parece alarmante que el hueco generacional que se está creando no solo vaya a suponer un fuerte freno en la actividad investigadora en astrofísica sino que pueda poner en peligro la participación española de alto nivel en las colaboraciones en proyectos y compromisos internacionales a medio y largo plazo.

La [versión completa del informe](#) incluye además un estudio de igualdad de género, estadísticas sobre las tesis en astronomía leídas en nuestro país cada año, y un nuevo estudio sobre el tiempo que permanecen en la investigación los doctores en astrofísica. En este sentido, los resultados indican que, en promedio, el 20% de los doctores en astrofísica abandonan la actividad investigadora antes de cinco años después de la tesis, y que este porcentaje aumenta hasta el 40% a los diez años. Existen además indicios de que este abandono de la actividad investigadora podría estar acelerándose en los últimos años.

La Junta Directiva de la SEA tiene la intención de mantener al día estas estadísticas, actualizándolas al menos cada dos años, con el fin de hacer un seguimiento detallado de la evolución de los recursos humanos en astrofísica en España que permita cuantificar problemas tan preocupantes como los encontrados en el informe de este año.

«Aunque las plantillas de personal permanente se han mantenido muy estables en los últimos cuatro años, ha habido una disminución del 30% en contratos postdoctorales y de un 19% en contratos y becas predoctorales.»

ASTRONOMÍA EN CIENCIA EN ACCIÓN

El principal objetivo de “Ciencia en Acción” consiste en acercar la ciencia y la tecnología, en sus diferentes aspectos, al gran público, así como encontrar ideas innovadoras que hagan la ciencia más atractiva para la ciudadanía y mostrar la importancia de la ciencia para el progreso de la sociedad y el bienestar de los ciudadanos. Lo más significativo para los participantes es la posibilidad de intercambiar información y contenidos entre todos ellos. Lo que más importa y motiva dentro de este encuentro es que ofrece la posibilidad de enseñar y aprender por parte de todos y para todos.



Rosa M. Ros
Directora de Ciencia en Acción.
Universidad Politécnica de Cataluña
rosamariaros27@gmail.com

Ciencia en Acción nació en el año 2000 gracias a una convocatoria del CERN, ESA y ESO con fondos de la Unión Europea que se dio en llamar “Physics on Stage”. En la actualidad la decimoséptima edición de este programa la organizan La Sociedad Española de Astronomía (SEA), la fundación Privada Cellex, La Fundación Lilly, el Instituto de Ciencias Matemáticas (ICMAT), la Real Sociedad Española de Química (RSEQ), la Real Sociedad Española de Física (RSEF), la Sociedad Geológica de España (SGE), la Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular (SEBBM), la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) con la colaboración de Ministerio de Economía y Competitividad y la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT)., Esta edición tuvo lugar los días 7, 8 y 9 de Octubre en la Escuela Politécnica Superior de Algeciras.

Dentro de Ciencia en Acción se formulan diferentes categorías con el objetivo de recoger todo tipo de iniciativas relacionadas con la educación de calidad y la comunicación social e la ciencia. Así pues hay modalidades de Demostraciones de Física (Premio RSEF) , Laboratorio de Matemáticas (Premio ICMAT), Laboratorio de Biología (Premio SEBBM), Laboratorio de Geología (Premio UCA), Demostraciones de Química (Premio Principia), Ciencia y Tecnología (Premio UPC), Sostenibilidad (Premio Albedo), Ciencia, Ingeniería y Valores (Premio CEPESA), Premio Biomedicina y Salud (Premio Fundación Lilly), Premio Física y Sociedad (Premio Catedra Acerinox), Materiales Didácticos de Ciencias Interactivos (Premio IBM), Materiales Didácticos de Ciencias No Interactivos (Premio Centros del Profesorado. Delegación Provincial de Educación de Cádiz), Trabajos de Divulgación Científica. Libros, revistas y redes sociales (Premio Colegio Montecalpe), Trabajos de Divulgación Científica. Prensa, Radio y Televisión (Premio Ayuntamiento de Pájara), Cortos Científicos (Premio Grupo S/M) y Puesta en Escena (Premio FOCUS).

Dentro del paraguas de Ciencia en Acción se desarrolla el concurso “Adopta una Estrella” que en esta edición celebra el decimoquinto aniversario de su implantación. Se destina a niños y jóvenes de primaria y secundaria. En las modalidades “Investiga en Astronomía” e “Investiga en Astrofísica” los participantes (tres alumnos y un profesor) deben elegir un objeto celeste y buscar amplia información acerca del mismo “cual inspectores investigando a tope”. El premio consiste en una visita a un centro de investigación o aun observatorio de acuerdo con los principales in-

tereses del trabajo desarrollado bajo la coordinación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) o de la Sociedad Española de Astronomía (SEA) que son respectivamente los mentores de cada una de las dos modalidades mencionadas.

En la modalidad "Habla de Astronomía" se debe presentar un resumen de todas las actividades desarrolladas para difundir la astronomía a lo largo del curso escolar. Los participantes pueden ser un grupo de alumnos coordinados por un profesor (puede tratarse de toda una clase o de un grupo mas reducido de alumnos) y el primer premio consiste en un telescopio para el centro ofrecido por IMVO.

Sin duda el principal objetivo de "Adopta un Estrella" consiste en acercar y despertar el interés por la ciencia entre los estudiantes. Todos los que tenemos experiencia en enseñanza de la astronomía sabemos que esta ciencia tiene y consigue despertar un gran interés en la sociedad y que la gente joven no se escapa de este atractivo. Las otras ciencias deben promoverse y conseguir despertar la motivación, pero en astronomía el interés y la motivación ya están asegurados antes de comenzar. Es por este motivo que sirve de piedra de toque o de catapultar y para lanzar otros contenidos científico que no suelen ser tan bien recibidos

En la modalidad Investiga en Astrofísica (Premio SEA), se llevo el primer premio por realizar un trabajo minucioso, resolviendo las ecuaciones de la física que describen el movimiento planetario y aplicándolas a los sistemas extrasolares múltiples, el trabajo "El planeta perdido" del Colegio Salesiano Santo Domingo Sabio de Úbeda (Jaén). Y se concedieron dos menciones de honor más a otro equipo del mismo centro de Ubeda y a uno de Madrid.

En la modalidad Investiga en Astronomía" (Premio, CSIC) se concedió el primer premio Ex Aequo a un trabajo sumamente original en el que se elaboró un modelo experimental para estudiar de forma amena la diferencia entre cráteres volcánicos y meteoríticos, combinando el trabajo bibliográfico con la experimentación directa al trabajo "Simulación de cráteres meteoríticos mediante explosiones controladas: hacia una modelización más real" del Colegio Huerta de la Cruz de Cádiz. Y también a un trabajo muy completo en donde niños y niñas abordan con mucha ilusión el estudio de los cometas y el origen de las estrellas fugaces, tanto con una recopilación bibliográfica como con sencillas experiencias y juegos que permiten realizar una eficaz divulgación científica en su entorno educativo al trabajo "Estrellita fugaz... Dime de dónde vienes y dónde irás, amigos conociendo los cometas" del Colegio La Aurora IED de Colombia. Como estos alumnos no pudieron

Primer premio de la modalidad Investiga en Astrofísica (Premio Sociedad Española de Astronomía). Esta fue la primera edición en que de abrió esta nueva modalidad con gran éxito por el numero y claridad de los trabajos presentados.



asistir a la entrega de permiso que tuvo lugar en Algeciras, su premio lo recibieron en el Planetario de Bogotá como se puede ver en la fotografía incluida en este artículo. Así mismo se concedieron otras 3 menciones de honor más a centros de Lleida, Burgos y Madrid.

En la modalidad Habla de Astronomía o Astrofísica” (Premio IMVO), el primer premio fue para un trabajo muy completo, interdisciplinar en el que implicaba a estudiantes de diferentes niveles educativos, contagiando de entusiasmo a su entorno familiar y social, titulado **“Cervantes, una estrella cuyo nombre nadie va a olvidar jamás”** del Colegio Salvador de Madariaga de Madrid. Y se concedieron cinco menciones de honor a centros de Granollers (Barcelona), Cádiz, Burgos, Murcia y Huelva.

“Ciencia en Acción” también se coordina con diversos programas europeos como son “Science on Stage” y “Catch a Star”, bajo el impulso de diversas

instituciones europeas, como son: CERN (European Organisation for Nuclear Research), ESA (European Space Agency), ESO (European Organisation for Astronomical Research in the Southern Hemisphere), EFDA (European Fusion Development Agreement), EMBL (European Molecular Biology Laboratory), ESRF (European Synchrotron Radiation Facility), European XFEL (European XFEL Free-Electron Laser Facility) y ILL (Institut Laue–Langevin) integradas dentro de EIROforum cuyo objetivo es fomentar en Europa la divulgación científica y el incremento de la calidad en la enseñanza de las ciencias.

Hay que destacar, la gran red de profesores que se ha creado a través del intercambio de ideas, experimentos, experiencias... en las diferentes ediciones de Ciencia en Acción y como colaboran unos con otros en sus diferentes proyectos, ferias, congresos,... para que la Ciencia llegue a todas partes. Para más detalles contactar con www.cienciaenaccion.org.

Primer premio ex-aequo de la modalidad Investiga en Astronomía (Premio Consejo Superior de Investigaciones Científicas). Equipo de estudiantes de primaria colombianos que recibieron el galardón en el Planetario de Bogotá donde les ofrecieron una visita muy especial.





Primer premio en la modalidad: Habla de Astronomía y Astrofísica (Premio IMVO).
Los ganadores con el jurado.

Primer premio en la modalidad: Habla de Astronomía y Astrofísica (Premio IMVO). Selfie con el Alcalde de Algeciras sobre el fondo con todos los asistentes a la entrega de galardones en la última edición de Ciencia en Acción.



Los pasados 28 y 29 de noviembre de 2016 se celebraron en Granada las II Jornadas de Divulgación Inclusiva de la Ciencia (<http://cienciainclusiva.iaa.es>), organizadas por el Instituto de Astrofísica de Andalucía en el marco de la asociación Ciencia sin Barreras y con la colaboración de la Estación Experimental del Zaidín, otro centro del CSIC en Granada dedicado a las Ciencias Agrarias. El objetivo de las jornadas era reunir a investigadores, divulgadores y docentes para compartir estrategias y metodologías a la hora de llegar a todos los colectivos, incluidos aquéllos más desfavorecidos y que, por sus limitaciones, no pueden acceder de manera satisfactoria a todos los contenidos.



Enrique Pérez Montero
Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA)
epm@iaa.es

La universalización en la divulgación de las ramas del conocimiento englobadas en la ciencia es aún difícil de alcanzar ya que la divulgación plena y la enseñanza de ciertas materias ha sido tradicionalmente y aún sigue siendo algo marginal entre diversos tipos de discapacitados, los cuales suelen ser orientados a carreras dentro del ámbito de las humanidades o especialidades muy concretas, como es el caso de la fisioterapia, entre los discapacitados visuales. Un síntoma de esta carencia se aprecia en el reducido número de alumnos, profesores e investigadores discapacitados en muchas áreas de conocimiento científico, muy por debajo del 5% que, por ley, debería ser asignado a este colectivo. De ahí la importancia de las jornadas celebradas en el IAA, ya que han ayudado a dar un paso adelante en la sensibilización de los docentes e investigadores sobre la necesidad de ampliar el abanico de metodologías para llegar a ser más inclusivas.

Uno de los principales inconvenientes que puede presentar un diseño de un plan docente a cualquier nivel educativo o de la estrategia de divulgación de un centro investigador científico es la especificidad en las necesidades de los distintos tipos de discapacitados que, tanto motores, sensoriales o intelectuales, pueden requerir de soluciones adaptadas a su manera de relacionarse con el entorno. Un ejemplo es la gran heterogeneidad entre los discapacitados visuales que, lejos de ser todos ciegos totales, presentan en su mayoría un resto visual que puede quedar limitado en su periferia, el centro del campo de visión, sensibilidad a la luz, los colores, agudeza visual, etc ... Eso se suma a que cada persona tiene unas habilidades previas y un conocimiento de la materia a estudiar muy variable. No obstante, esa especificidad no se traduce necesariamente en programas de enseñanza o divulgación diferenciados de los demás, lo cual encarecería y haría más inaccesible lo que se quiere divulgar. En su lugar es mucho más apropiado el empleo de estrategias inclusivas que ayudan a divulgar a todos los colectivos. La aplicación de estrategias diseñadas para discapacitados resulta también muy satisfactoria con los no discapacitados, que refuerzan el aprendizaje usando otros medios de enseñanza e y los implican de manera muy eficiente cuando los discapacitados están presentes. Estas metodologías inclusivas y no excluyentes se vienen aplicando en niveles educativos bajos y, en cierta medida, en algunos museos con bastante éxito, pero aún deben ser implementados en niveles educativos superiores y en casi todos los ámbitos de la divulgación científica llevada a cabo por instituciones y medios de comunicación.

En el caso concreto de la astronomía y la astrofísica puede dar la impresión de que su enseñanza y divulgación no puede ser universal por la especial preponderancia del uso de imágenes, animaciones, representaciones gráficas, etc. Que pueden excluir de la natural comprensión de la mayoría de los conceptos astronómicos a los colectivos de personas con una discapacidad visual. Por este motivo, durante el año 2009, año internacional de la Astronomía, se hizo un especial esfuerzo desde el Observatori Astronòmic de la Universitat de València en diseñar materiales adaptados que ayudaran a divulgar y mejorar la comprensión de conceptos astronómicos a través de materiales en relieve, en 3 dimensiones y transcripción de contenidos al lenguaje Braille. Más recientemente, en 2014, nace el proyecto Astronomía accesible en el Instituto de Astrofísica de Andalucía con el objetivo de profundizar en la enseñanza de la astronomía entre los discapacitados visuales. Entre los objetivos de este proyecto divulgativo también se cuentan la sensibilización de investigadores, divulgadores y profesores para realizar una labor más inclusiva y de la sociedad para demandar la misma, compartiendo metodologías y estrategias para encontrar soluciones específicas a cada tipo de discapacidad y a su heterogeneidad.

El proyecto Astronomía Accesible parte de una filosofía que puede ser considerada inclusiva en la enseñanza y divulgación de la astronomía. Por un lado se realizan descripciones completas y razonamientos detallados que no están basados en el empleo de imágenes o animaciones. Aunque muchas de las noticias y explicaciones suelen ser presentadas en los medios y artículos usando estas imágenes como un elemento de atracción para los lectores o alumnos, su uso debe ser siempre complementario y no imprescindible para una correcta comprensión de lo que se quiere explicar. En todo caso, el empleo de imágenes y animaciones es siempre conveniente aunque las actividades estén sólo dirigidas a discapacitados visuales, ya que éstos tampoco están completamente excluidos del empleo de información visual. El uso de imágenes de alto contraste y diversidad de tamaños siempre resulta un refuerzo para una aproximación multisensorial de la información ofrecida. Dado que hoy en día las nuevas tecnologías ofrecen soluciones muy sencillas y al alcance de todo el colectivo de discapacitados visuales para el acceso a la información escrita, este esfuerzo descriptivo no ha de ser necesariamente acompañado de una codificación destinada a los invidentes, como es el lenguaje Braille.

Imagen de taller-conferencia llevado a cabo con afiliados a la ONCE durante la Escuela de Verano de la Facultad de Turismo de Oviedo (Agosto de 2015).



Por otro lado, en las actividades del proyecto se pone de manifiesto el papel relativo del sentido de la vista en la adquisición de datos observacionales del Universo y en el razonamiento deductivo propio del método científico que se usa en la elaboración de teorías y descripciones de la naturaleza. Hoy en día la inmensa mayoría de los datos observacionales se obtienen de grandes telescopios en la Tierra y observatorios espaciales en órbita dotados de instrumentación muy sensible capaz de medir la radiación electromagnética en frecuencias del todo invisibles al ojo humano. Además, la mayor parte de la materia y energía que hay tiene una naturaleza totalmente ajena a la existencia de la luz y las propiedades que se conocen de ella no son debidas a su observación directa. Todo esto sumado a que el proceso de representación mental que el ser humano tiene de sí mismo y de su planeta en el Universo, pasando de un modelo geocéntrico hasta el actual, es fruto de la abstracción mental a partir de observaciones muy precisas y no de la deducción debida a la percepción visual directa del entorno. Es decir, que poseer un sentido de la vista sano y funcional no ayuda a una comprensión mejor de nuestro Universo. Eso también es claramente aplicable a las escalas microscópicas y a las leyes que lo rigen, muy alejadas de la lógica de lo que nos rodea y vemos.

Usando como base esta metodología de trabajo se iniciaron talleres y conferencias en distintos centros de la ONCE y se presentaron en la Reunión Científica de la Sociedad Española de Astronomía realizada en Teruel en septiembre de 2014. Durante 2015 la SEA financió las actividades del proyecto Astronomía Ac-

cesible para llevar esos mismos talleres a distintos centros de la ONCE por toda España y con el uso adicional de parte del material proporcionado por la Universidad de Valencia (semiesferas con la representación en relieve de las constelaciones del hemisferio Norte) y láminas adaptadas en relieve con texto en Braille y en alto contraste que representan conceptos espaciales sencillos (p.ej. la distancia relativa del sistema Tierra-Luna, los tamaños relativos de los planetas del Sistema Solar, el aspecto de la Vía Láctea y la posición del Sistema Solar en ella), así como una maqueta de la Luna en tres dimensiones. Durante el año 2016 el proyecto obtuvo financiación para continuar ofreciendo los talleres a distintos centros de la ONCE en toda España gracias a la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. Este proyecto fue obtenido en coordinación con el proyecto Agronomía Accesible, liderado por la Estación Experimental del Zaidín – CSIC para realizar talleres para invidentes basados en la divulgación y enseñanza de la botánica, biología vegetal, adaptaciones de las plantas, plantas aromáticas, etc y la interacción directa con las plantas. La realización de talleres en distintos centros de la ONCE se ha acompañado con la publicación de recursos adaptados, información de las actividades y difusión de artículos de divulgación escritos desde un punto de vista no basado en el empleo de imágenes aprovechando un entorno web accesible (<http://astroaccesible.iaa.es>).

El carácter inclusivo del proyecto Astronomía Accesible ha desembocado asimismo en la realización de numerosas actividades destinadas a distintos niveles

Imagen de taller con alumnos de primaria con discapacidad visual llevado a cabo en el IAA-CSIC en Abril de 2015.

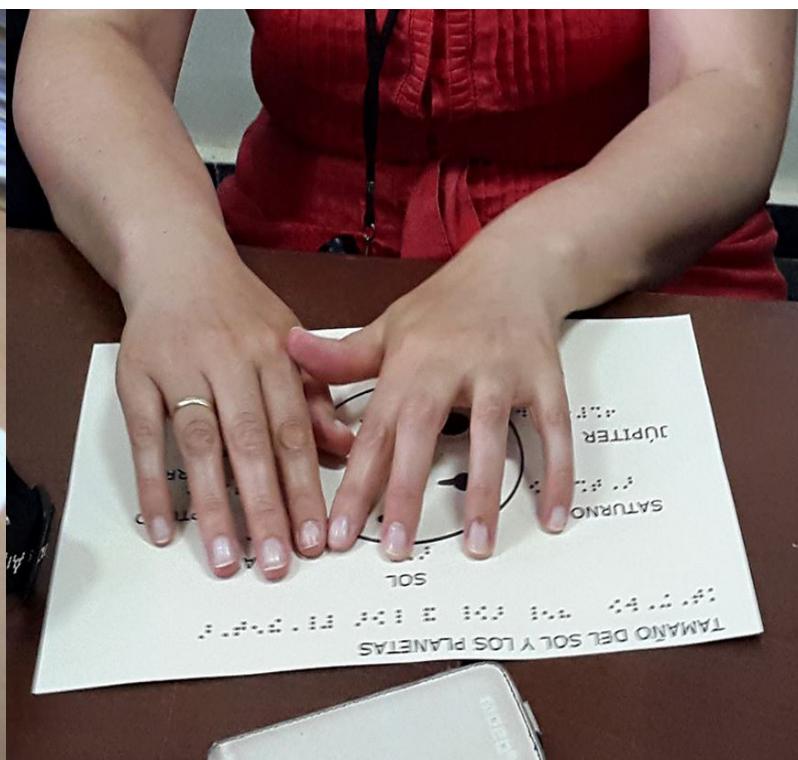


educativos implicando a alumnos discapacitados y no discapacitados y también a conferencias divulgativas destinadas a adultos no discapacitados. Se han realizado talleres para niños de primaria de la ONCE y se han visitado algunos de los Centros de Recursos Educativos de la ONCE con actividades dirigidas a alumnos de educación secundaria y Bachillerato. También se ha participado en la Noche de los Investigadores y en el Campus Inclusivo de la Universidad de Granada, destinado a la orientación en la educación superior para estudiantes de bachillerato con algún grado de discapacidad. Además se han visitado institutos de enseñanza secundaria sin ningún alumno discapacitado, aunque las explicaciones y los materiales usados han sido los mismos. Lo novedoso de la metodología y los materiales empleados se han presentado en congresos y reuniones dedicadas a la divulgación y se han compartido con otros divulgadores y docentes para su aplicación en la divulgación de otras materias de carácter científico. Cabe destacar la participación en las III Jornadas de Divulgación Innovadora (Zaragoza, Octubre 2015), las XXIII Jornadas Astronómicas del Planetari de Castellón (Marzo 2016) o el día de Puertas Abiertas del centro ESTEC de la Agencia Espacial Europea en Noordwijk (Holanda, Octubre de 2016). El carácter transversal e inclusivo de Astronomía Accesible se ha ampliado durante el año 2016 mediante una experiencia pionera para usar la literatura y mediante pasajes hablados y narraciones que pueden vincularse con algún aspecto de la investigación astrofísica (p. ej. "El corazón de las tinieblas", presentado con el Dr. Antxón Alberdi en la Feria del Libro de Granada en Abril de 2016).

La realización de las II Jornadas de Divulgación Inclusiva de la Ciencia en el Instituto de Astrofísica de Andalucía - CSIC supone un reconocimiento a la trayectoria de este centro en materia divulgativa y a su compromiso con la inclusión de los discapacitados en la difusión y enseñanza de la astronomía, puesto de manifiesto con el proyecto Astronomía Accesible. En todo caso las experiencias docentes y divulgativas planeadas y llevadas a cabo en distintas áreas de la ciencia y en distintos tramos educativos y ámbitos de la divulgación científica son aún modestos y es imprescindible un mayor compromiso de los gabinetes de divulgación y los diseños de los planes docentes de Universidades y centros de investigación si se aspira a cumplir con el objetivo de inclusión de los discapacitados en el ámbito científico. Asumir estrategias de enseñanza y divulgación inclusivas no sólo ayudaría a cumplir con ese objetivo sino que potenciaría la eficiencia de los esfuerzos actuales de enseñanza y divulgación orientados exclusivamente a personas sin ningún tipo de limitación motora, sensorial o intelectual.

Agradecimientos: El proyecto Astronomía Accesible (astroaccesible.iaa.es) no hubiera podido llevarse a cabo sin la participación del gabinete de divulgación del IAA-CSIC (Emilio García, Silbia López de Lacalle), otros miembros del IAA-CSIC (Ana Tamayo, Teresa Gallego) o del Observatori Astronòmic de la Universitat de València (Amelia Ortiz Gil) y el apoyo financiero de la Sociedad Española de Astronomía, la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología y el apoyo logístico e institucional de la Organización Nacional de Ciegos de España y la empresa Omologic, Homologación y Mercado CE, a través de Yolanda Sánchez Molina.

Láminas en relieve que representan conceptos sencillos y formas sobre distintos sistemas astronómicos.



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.

XAVIER BARCONS, DIRECTOR GENERAL DEL OBSERVATORIO EUROPEO AUSTRAL

El pasado 9 de diciembre, ESO hizo pública la designación de nuestro compañero Xavier Barcons, del Instituto de Física de Cantabria, como próximo Director General de esta institución. Entre los retos que le esperan está el de la construcción del mayor telescopio del mundo, el E-ELT. ¡Casi *na!*

Desde la redacción le enviamos nuestras más sinceras felicitaciones y los mejores deseos para el futuro.

ITZIAR ARETXAGA, DIRECTORA ADJUNTA DE LA ESCUELA INTERNACIONAL PARA JÓVENES ASTRÓNOMOS (ISYA)

Siguiendo con nuevos nombramientos, la IAU ha elegido a nuestra compañera Itziar Aretxaga, del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica de Puebla (México), como nueva directora adjunta de la Escuela Internacional para Jóvenes Astrónomos (ISYA). ¡Enhorabuena Itziar!

JAVIER CENARRO, NUEVO DIRECTOR DEL CEFCA

Y "last but not least" en la lista de nombramientos, nuestro compañero Javier Cenarro es el nuevo director del Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón (CEFCA). En su lista de retos futuros figura poner en marcha las observaciones del ambicioso proyecto J-PAS.

Javier sustituye a **Mariano Moles**, quien se ha jubilado recientemente y al que se le ha concedido el título de Profesor Honorario de la Universidad de Valencia, así que esperamos poder seguir disfrutando de su amplia experiencia y erudición.



PREMIO LITERARIO PARA ANNA BOLUDA

La reportera más dicharachera de nuestra Sociedad, nuestra querida Anna Boluda, ha ganado el segundo premio del XV Certamen de Narrativa Breve sobre mujeres y ciencia, organizado por el ayuntamiento de Valencia con el relato 'Tocar el cel amb les mans' (Tocar el cielo con las manos), sobre la divulgación para personas invidentes que realiza Amelia Ortiz Gil. Otro de sus relatos, 'La vida sense el Nobel' (La vida sin el Nobel), basado en la figura de Jocelyn Bell, quedó primer finalista.

UNA EDICIÓN MUY ASTRONÓMICA DE LOS PREMIOS PRISMAS DE LA CASA DE LAS CIENCIAS A LA DIVULGACIÓN

Y para rematar la sección de galardones, señalaremos que los Premios Prismas de 2016 han destacado por su reconocimiento a distintos trabajos realizados por miembros de nuestra Sociedad. La revista Astronomía, que dirige nuestro compañero **Ángel Gómez Roldán**, ha recibido el Premio Especial del Jurado. El premio al libro mejor editado ha sido para "Orígenes. El Universo, la vida, los humanos", escrito a seis manos por Carlos Briones (CAB), **Alberto Fernández-Soto** (IFCA) y José María Bermúdez de Castro (UCM). El premio para el mejor texto inédito ha ido a la obra "Fractales y Caos. La aventura de la complejidad" de **Vicent J. Martínez** y **Fernando J. Ballesteros**, ambos del Observatorio Astronómico de la Universidad de Valencia, y Silvestre Paredes (UPCT). Finalmente, el premio para el mejor trabajo en radio ha sido concedido a "Manipulación de la memoria", emitido en el programa "Radioscopio" de RTVA, una colaboración radiofónica entre **Emilio García** (IAA) y Susana Escudero (RTVA).

LAS MUJERES DE LA LUNA

Daniel R. Altschuler y Fernando J. Ballesteros

ISBN: 978-84-944435-4-1

Ed: Jot Down - Next Door

Si hacemos una encuesta a pie de calle preguntando por el nombre de un científico famoso, seguramente Albert Einstein será la persona elegida. El físico alemán, además de proponer una nueva teoría de la gravitación, fue tremendamente popular. Si especificamos que el nombre sea de una científica, Madame Curie será la elegida. Sin embargo el problema viene cuando se pregunta por el nombre de otras mujeres dedicadas a la ciencia.

La lista de hombres parece muy larga. La encuesta probablemente nos daría los nombres de Galileo, Newton o incluso Carl Sagan. Sin embargo, la historia de la ciencia parece mostrar que las mujeres dedicadas al estudio de la naturaleza son inexistentes.

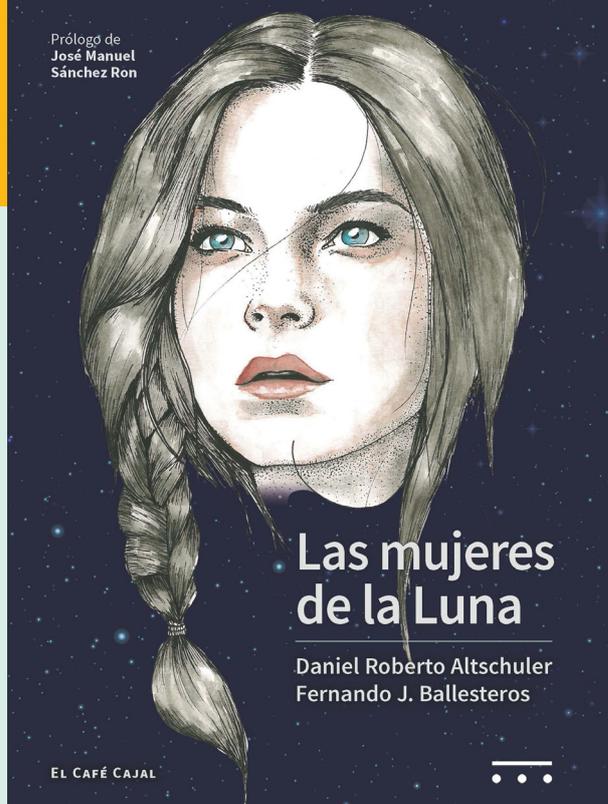
¿Estamos en lo cierto o simplemente están escondidas tras numerosos prejuicios y en la práctica son anónimas?

Sin embargo si escarbamos un poco en el devenir de la ciencia, veremos claramente que la mujer, a pesar de los prejuicios y prohibiciones, ha jugado un papel destacado en muchas ramas del conocimiento. En astronomía, por ejemplo, una mujer, Annie Jump Cannon, fue quien puso orden en el caos estelar. Otra, Henrietta Swan Leavitt, fue quien descubrió las estrellas cefeidas que permiten calcular las distancias a las galaxias y también fue una mujer, Joselyn Bell Burnell, quien observó por primera vez los púlsares, cadáveres estelares superdensos. También es una mujer, Vera Rubin, quien postuló la existencia de la materia oscura, de la que tan poco se sabe.

Con frecuencia, las mujeres se han dedicado a la ciencia teniendo a su lado un hombre, otro científico o su marido. En otras ocasiones han hecho ciencia incluso a pesar de su desaprobación. Y es que, tradicionalmente, el objetivo vital de una mujer era ser buena esposa, buena ama de casa y una buena madre.

Así, por ejemplo, si existe un lugar dónde se refleja esta clara discriminación del rol femenino es en la nomenclatura de los accidentes lunares. Desde el jesuita Giovanni Battista Riccioli en el siglo XVII hasta la selenógrafa Mary Adela Blagg en el XX los cráteres han recibido nombres de filósofos y científicos. Sin embargo, de las 1586 personas homenajeadas con un nombre de cráter, solamente 28 corresponden a mujeres. Esta poco sorprendente desproporción refleja la condición histórica de la mujer ante la ciencia. Pero, habría que hacerse también la pregunta. ¿Quiénes son estas mujeres que, pese a tenerlo todo en contra, han merecido un cráter en la Luna?

A esta pregunta trata de responder el libro *Mujeres de la Luna*, escrito por los astrónomos **Daniel Altschuler y Fernando Ballesteros**. En él se hace un recorrido exhaustivo por la vida de estas mujeres. Algunas son verdaderas gigantes intelectuales que triunfaron a pesar de tantos obs-

Prólogo de
José Manuel
Sánchez Ron

táculos. Otras son menos destacadas. Pero todas ellas contribuyeron de alguna forma al progreso de la ciencia.

De entre las más destacadas están Marie Sklodowska, conocida como Madame Curie, que fue merecedora de dos premios Nobel, o Lise Meitner, pionera de la física nuclear alemana y pacifista. La importancia de otras, como Caroline Herschel, hermana del descubridor de Urano, empieza a ser valorada. Algunas son menos conocidas, como la divulgadora de la ciencia Mary Fairfax Greig Somerville, o las mecenas Anne Sheepshanks y Catherine Wolfe Bruce. No podía faltar tampoco el grupo de mujeres calculistas del Observatorio de Harvard que con su paciencia y tesón hicieron espectaculares descubrimientos. El libro recuerda las vidas de las valientes astronautas que murieron en el espacio y finaliza con la biografía de Valentina Tereshkova, la primera mujer en salir de la Tierra y situarse en órbita.

Todas estas mujeres demostraron un intenso y fecundo amor a la ciencia, una firme actitud que las enfrentó a los tabús de su época. Por ello, si cabe, son más merecedoras todavía de nuestro reconocimiento. Si los científicos hombres como Tycho Brahe, Johannes Kepler o Edmund Halley hicieron avanzar los conocimientos astronómicos, mujeres como María Mitchell, o Henrietta Lewitt, también realizaron grandes aportaciones, llevando además a cuestas la discriminación por razón de su sexo. Ellas, con sueldos más bajos, ocupando plazas de ayudante, o habiendo estudiado en universidades femeninas consiguieron llegar a lo más alto.

Fueron mujeres fuertes, modernas y concienciadas de su lucha contra la desigualdad. Como escribió Mary Somerville en 1873: *La edad no ha mermado mi entusiasmo por la emancipación de mi género del irracional prejuicio en contra de una educación literaria y científica para las mujeres*.

Enric Marco
Dept. Astronomia i Astrofísica
Universitat de València

Búsqueda de nebulosas planetarias alrededor de estrellas subenanas calientes. Análisis y caracterización de estos sistemas peculiares

Autora: Alba Aller Egea (alba.aller@ifa.uv.cl)

Tesis doctoral dirigida por: Luis Felipe Miranda Palacios, Enrique Solano Márquez y Ana Ulla Miguel

Centro: Universidad de Vigo

Fecha de lectura: 27 de Octubre de 2015

Alrededor del 95% de todas las estrellas del Universo provienen de progenitores de masa baja e intermedia (entre aproximadamente 0.8 y 8 veces la masa de nuestro Sol). La mayoría de estas estrellas pasarán a través de la fase de nebulosa planetaria (NP) antes de acabar sus vidas como enanas blancas. Actualmente se conocen unas 3000 NPs en nuestra Galaxia (aunque se estima que podrían ser muchas más), las cuales presentan un gran abanico de morfologías y propiedades, que parecen estar estrechamente relacionadas con la evolución de sus estrellas centrales. Entre estas estrellas centrales encontramos una clase bastante peculiar: las estrellas subenanas calientes de tipo O (o sdOs por sus siglas en inglés), que han sido el objeto de esta tesis. Las sdOs son objetos azules, de baja masa, evolucionando hacia la fase de enfriamiento de las enanas blancas. Su origen continúa siendo tema de intenso debate y sus progenitores podrían ser, entre otros, estrellas post-rama asintótica de gigantes (post-AGB por sus siglas en inglés). Sin embargo, solo alrededor de un 3% de las sdOs que se conocen tienen NP a su alrededor. Así, investigar la asociación de sdOs con NPs es esencial para determinar qué fracción de sdOs podría tener un origen post-AGB.

Los primeros sistemas NP+sdO descubiertos datan de finales de los años 70 y principios de los 80. En esta tesis investigamos este campo prácticamente inexplorado desde entonces, empleando instrumentación moderna y telescopios de mayor tamaño. Nuestra contribución se centra en la búsqueda y análisis de sistemas NP+sdO y presentamos, por primera vez, un estudio conjunto de los sistemas que se conocen de este tipo. El objetivo principal es tratar de obtener características comunes que puedan trazar un mismo escenario de formación para estos sistemas.

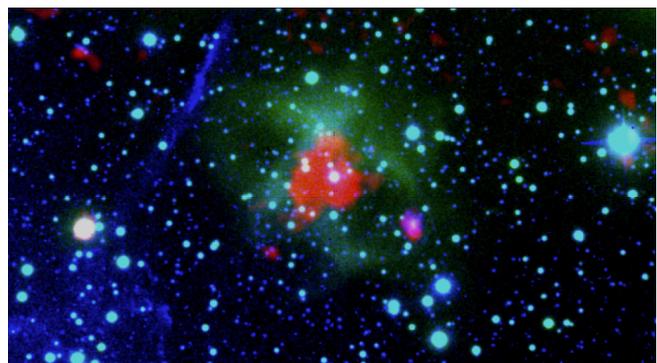
Así, llevamos a cabo una búsqueda observacional sistemática de nuevas NPs alrededor de una muestra amplia de sdOs en el rango óptico con el objetivo de determinar cuán frecuentes son estos sistemas. Esta búsqueda fue complementada con una inspección visual de las imágenes públicas del archivo del telescopio infrarrojo WISE para una muestra de 774 sdOs. Estas búsquedas dieron como resultado el descubrimiento de una nueva NP alrededor de la sdO 2M1931+4324. A partir de datos de la literatura, compilamos 18 sistemas NP+sdO, lo cual representa menos de un 1% de todas las NPs conocidas en nuestra Galaxia. Esta baja fracción podría estar sesgada por (1) la extrema debilidad de las NPs, (2) la falta de clasificación espectral de muchas estrellas centrales y/o (3) el hecho de que

las nebulosas se hubieran disipado en el medio interestelar antes de ser fotoionizadas por sus estrellas centrales, debido a la lenta evolución de sus posibles progenitores de baja masa.

Realizamos un análisis y caracterización detallados de cuatro de estos sistemas (2M1931+4324, Abell36, DeHt2 y RWT152), lo que nos permitió obtener información acerca de sus morfologías, cinemática interna, propiedades estelares y/o química. Poniendo en común el análisis de estos objetos con las propiedades del resto de sistemas NP+sdO, los resultados sugieren que dichos sistemas comparten algunas características comunes: son generalmente NPs evolucionadas, muestran morfologías complejas con un muy bajo brillo superficial y una alta fracción pertenecen (o podrían pertenecer) a sistemas binarios. Además, los espectros nebulares de algunas de ellas sugieren una posible deficiencia en elementos pesados.

Por otra parte, en esta tesis presentamos un procedimiento de análisis espectral de estrellas centrales peculiares. Se cree que estas estrellas pertenecen a sistemas binarios formados por una estrella fría (de tipo espectral A a K) y brillante, responsable del espectro de absorción observado, y una estrella caliente y débil responsable de la fotoionización de la nebulosa. La presencia de la compañera caliente es, a menudo, apenas perceptible en el espectro óptico, lo que dificulta el análisis de ambas componentes. El método desarrollado permite obtener simultáneamente los parámetros atmosféricos de ambas estrellas, lo que nos da información sobre el origen y el estado evolutivo actual del sistema. Hemos aplicado con éxito este procedimiento a BD+30°623, la estrella central de la NP NGC1514, confirmando además su naturaleza binaria a partir de las distancias obtenidas para cada componente.

Finalmente, también presentamos un nuevo catálogo actualizado de NPs conocidas en nuestra Galaxia, que ha sido construido con la ayuda de las herramientas del Observatorio Virtual. Este catálogo, que contiene alrededor de 2950 PNe, es una contribución fundamental al campo de las nebulosas planetarias ya que actualmente no se dispone de ninguna base de datos donde se pueda consultar toda la población conocida de estos objetos. Adicionalmente, también hemos diseñado un método de clasificación de estrellas azules de forma automática, en base a datos de archivo (como los movimientos propios y la fotometría) y sin necesidad de obtener espectros. Aunque los criterios seleccionados para dicha clasificación se aplicaron con éxito a la muestra de entrenamiento de estrellas de campo azules, encontramos dificultades para aplicar esta técnica a las estrellas centrales. Concluimos entonces que la obtención de espectros es crucial para determinar los tipos espectrales de las mismas.



Composición RGB de la nebulosa planetaria descubierta alrededor de la sdO 2M1931+4324. El color rojo corresponde a la imagen WISE 4 (22 μ m), el verde a H α y el azul a [OIII].

Identificación y caracterización de estrellas poco masivas y enanas marrones con el observatorio virtual

Autora: Miriam Aberásturi Vega
(maberasturi@sciops.esa.int)

Tesis doctoral dirigida por: Enrique Solano Márquez y Eduardo Martín Guerrero de Escalante
Centro: Universidad Complutense de Madrid
Fecha de lectura: 16 de Noviembre de 2015

Contexto

Dos tercios de las estrellas que se encuentran en nuestra vecindad solar ($d < 10$ pc) son enanas de tipo espectral M, las cuales también constituyen los objetos más abundantes de la Vía Láctea. Esta característica, junto con el hecho de que son objetos con radios y masas pequeños, hace que aumente la probabilidad de detectar planetas en zona de habitabilidad, haciendo de ellos objetos muy adecuados para proyectos de búsquedas de planetas extrasolares. Sin embargo, las enanas M tienen asociadas diferentes dificultades observacionales. Por un lado, son objetos fríos cuya máxima emisión electromagnética tiene lugar a longitudes de onda infrarroja y, por lo tanto, débiles en el óptico. Por otro lado, tanto la variabilidad fotométrica como la actividad cromosférica dificultan las detecciones de posibles exoplanetas por métodos de velocidad radial y de tránsito fotométrico. Por tanto, para poder construir una lista con los mejores candidatos para búsquedas de exoplanetas alrededor de enanas M, es necesario llevar a cabo previamente una caracterización detallada de las mismas.

Las enanas marrones son objetos autogravitantes que no tienen la suficiente masa para alcanzar la temperatura necesaria para llevar a cabo en su núcleo reacciones de fusión del hidrógeno de forma estable. Las enanas marrones representan, por tanto, la conexión entre las estrellas poco masivas y los planetas gigantes. Debido a sus bajas temperaturas, las enanas marrones emiten mayoritariamente su flujo en el infrarrojo medio, lo que hace de este rango del espectro electromagnético el adecuado para buscar este tipo de objetos.

El Observatorio Virtual (OV) es una iniciativa internacional diseñada para ayudar a la comunidad astronómica en la explotación de la información multi-rango que reside en los archivos de datos. Aprovechando las herramientas del OV, que permiten un análisis y un acceso fácil a gran cantidad de cartografiados de gran campo, el Observatorio Virtual Español está llevando a cabo una serie de proyectos centrados en el estudio de objetos subestelares. Éste es el marco en el que se inscribe el trabajo de esta tesis. Este trabajo aborda tres problemas en el marco de las estrellas poco masivas y enanas marrones: la búsqueda de candidatos a enanas marrones utilizando catálogos de grandes cartografiados, la búsqueda de enanas M cercanas y brillantes y su caracterización espectroscópica posterior, y un estudio de la binariedad de las enanas marrones T de subtipos intermedios y tardíos; los dos primeros temas de estudio están basados en la utilización de herramientas del Observatorio Virtual.

Objetivos y metodología

En el primer trabajo se realizó una búsqueda de enanas marrones con OV en la zona común del cielo de los catálogos de WISE, 2MASS y SDSS. Utilizando STILTS se impusieron las condiciones fotométricas y astrométricas que debían cumplir nuestros candidatos. Obtuvimos 138 fuentes que fueron inspeccionadas visual-

mente. Para los seis nuevos candidatos que pasaron la inspección visual se calcularon movimientos propios utilizando las posiciones y las diferentes épocas de observación de los catálogos citados anteriormente. Las temperaturas efectivas se estimaron utilizando VOSA mientras que los tipos espectrales y las distancias se obtuvieron a partir de diferentes calibraciones fotométricas. Con objeto de aumentar el número de enanas M que pudieran ser utilizadas para la identificación de nuevos exoplanetas, en la segunda publicación se realizó una búsqueda puramente fotométrica utilizando herramientas del OV sobre los catálogos Carlsberg Meridian Catalogue (CMC14) y 2MASS. Esta búsqueda se combinó con un seguimiento espectroscópico de baja resolución utilizando IDS en el telescopio Isaac Newton en La Palma y con un estudio fotométrico y astrométrico. En el tercer artículo se intentó refinar las propiedades sobre la multiplicidad de enanas T estudiando la muestra más grande observada hasta ahora con imágenes de alta resolución angular. Llevamos a cabo el estudio en dos programas paralelos utilizando la Wide Field Camera 3 (WFC3) instalada en el Telescopio Espacial Hubble (HST). Se utilizó una técnica de sustracción PSF para revelar la posible presencia de cualquier compañero cercano a las fuentes de nuestra muestra. Se llevaron a cabo simulaciones de Monte Carlo para estimar la capacidad de WFC3 para detectar sistemas binarios en términos de separación angular y diferencia de magnitud. Las simulaciones también se utilizaron para determinar la fracción de sistemas binarios que se habrían detectado alrededor de cada fuente en base a diferentes distribuciones de separaciones, relaciones de masa y orientaciones de los sistemas.

Resultados

La principal conclusión de esta tesis es que el Observatorio Virtual ha demostrado ser una excelente metodología de investigación en el campo de las estrellas poco masivas y enanas marrones. En particular, ha permitido una gestión eficiente de las consultas a los diferentes catálogos y archivos, así como la estimación de los parámetros físicos a través de sus herramientas.

En la primera publicación se presenta la identificación de 31 enanas marrones (25 conocidas y 6 candidatos) en el área común del cielo de WISE, 2MASS y SDSS. Estos números representan una cantidad significativa de fuentes teniendo en cuenta que 2MASS ha sido ampliamente utilizado para las búsquedas de enanas ultrafrías, y muestra claramente cómo nuevos cartografiados y el uso de herramientas del Observatorio Virtual pueden ayudar a explotar de manera eficiente cartografiados más antiguos. La solidez de nuestra metodología de búsqueda se demostró con la confirmación espectroscópica de nuestros candidatos, lo que la convierte en una técnica ideal para descubrir de manera eficiente no solamente enanas marrones sino también otros objetos exóticos o difíciles de detectar.

En la segunda publicación, se muestra el potencial del Observatorio Virtual en la búsqueda puramente fotométrica de nuevas enanas cercanas y brillantes de tipo espectral M que quedaron fuera de otros trabajos anteriores basados principalmente en movimientos propios. Descubrimos 24 nuevas enanas M de potencial interés para las búsquedas de exoplanetas (7 a menos de 20 pc). 12 de esos candidatos han sido incluidos en el catálogo de entrada del proyecto CARMENES. También identificamos tres estrellas jóvenes poco masivas (tipos espectrales M4-M5) en la región de formación estelar de Taurus-Auriga y un sistema binario con amplia separación (110 UA).

En la tercera publicación se infiere un límite superior para la tasa de binariedad de tipos espectrales $>T5$ de $< 16 - < 25$ % dependiendo de la distribución de masas y separaciones subyacente. Esta tasa de binariedad es coherente con las estimaciones anteriores. En este trabajo también se concluye que la WFC3 es más sensible a la detección de compañeros ultrafríos que otros instrumentos del HST como NICMOS o WFPC2, pero su peor resolución angular lo hace inadecuado para detectar sistemas binarios de enanas marrones con separaciones pequeñas.

Radio cuásares a alto desplazamiento al rojo en cartografiados de gran área

Autor: Diego Tuccillo

(diego.tuccillo@obsppm.fr)

Tesis doctoral dirigida por:

José Ignacio González Serrano

Centro: Universidad de Cantabria

Fecha de lectura: 4 de Diciembre de 2015

Los cuásares (QSOs) son fuentes extragalácticas compactas, originadas por material de acreción que cae a un agujero negro supermasivo (SMBH) con una masa $> 10^6 M_{\odot}$. Forman parte de la familia de los núcleos activos galácticos (AGN) y se encuentran entre los objetos más brillantes del cielo en todas las longitudes de onda en las que han sido observados. Alrededor del 8–13% de la población conocida de cuásares son potentes emisores en radio y, por tanto, se clasifican como radio-intensos (*radio-loud*, RL), mientras que a la fracción restante se le denomina radio-silenciosos (*radio-quiet*, RQ). El motivo por el que sólo una minoría de los cuásares muestra una fuerte emisión en radio y cuál es la conexión física entre estas dos clases de objetos no cuenta aún con una explicación convincente. La población de cuásares radio-intensos a alto desplazamiento al rojo, $z > 3.5$, es una población bastante reducida y no permite llevar a cabo estudios estadísticos exhaustivos ni comparaciones entre poblaciones radio-intensas y radio-silenciosas en el universo temprano, donde podría ser posible encontrar pruebas sobre la conexión entre actividad radio y óptica en los cuásares. Además, realizar una estimación rigurosa de la población de cuásares RL a alto desplazamiento al rojo permitiría comparaciones con modelos de formación de QSOs y de la formación y evolución de las galaxias y de grandes estructuras en el universo temprano.

Esta tesis doctoral está centrada en la selección y estudio de los RL cuásares a alto desplazamiento al rojo a $z > 3.6$. Se combinaron técnicas modernas de minería de datos y algoritmos de aprendizaje automático para explotar los datos multi-longitud de onda procedentes de cartografiados de gran área en el óptico (*Sloan Digital Sky Survey*, SDSS), en el cercano y medio infrarrojo (*UKIRT Infrared Deep Sky Survey* o UKIDSS; *Wide-Field Infrared Survey Explorer* o WISE) y en el radio (*Faint Images of the Radio Sky at Twenty-Centimeters* o FIRST).

Los puntos negros muestran la función de luminosidad (LF, luminosity function) que ha sido derivada para $z \sim 3.8$, para RL QSOs con $\text{Log}_{10}(P_{1.4\text{GHz}}/W/\text{Hz}) > 25.7$. Los puntos rojos muestran la LF calculada por McGreer et al. (2009), para RL QSOs con parámetro de radio-loudness $R^* > 70$, y los puntos azules, la LF calculada por Richards et al. (2006) para la población completa de QSOs. Las pendientes de mejor ajuste son $\beta = -2.3$ para nuestra LF (línea negra); $\beta = -2.2$ para la de McGreer et al. (2009, línea roja); $\beta = -2.4$ para Richards et al. (2006, línea azul). Para nuestra LF obtenemos $\beta = -2.4$ después de excluir los dos puntos referentes a las magnitudes más débiles (línea a trazos).

En particular, presentamos los resultados de nuestra selección original de RL QSOs con $3.6 \leq z \leq 4.4$, basada en un algoritmo de red neuronal. Realizamos seguimiento espectroscópico de los 15 candidatos a RL QSOs obtenidos mediante nuestra metodología de selección y demostramos que nuestra red neuronal puede seleccionar QSOs de alto desplazamiento al rojo de cartografiados radio-ópticos, con un 97% de completitud y un 60% de eficiencia. Comparando nuestra metodología con el algoritmo de selección de SDSS, concluimos que, nuestra metodología detecta el $\sim 97\%$ de los QSOs con alto z , mientras que SDSS detecta sólo el $\sim 85\%$ de ellos.

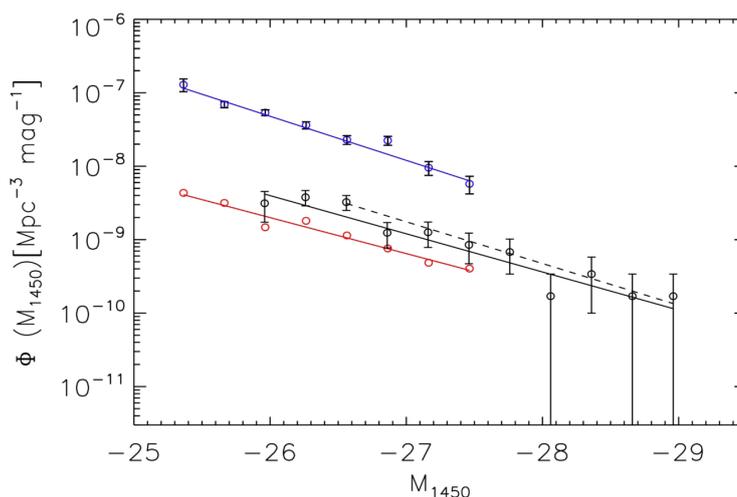
Utilizando nuestras nuevas identificaciones, hemos llevado a cabo la determinación más precisa de la función de luminosidad óptica para RL QSOs en este rango de *redshift* conocida hasta el momento. De hecho, la muestra de cuásares radio-intensos con $3.6 \leq z \leq 4.4$ y $M_{1450} < -27$ está compuesta de 72 QSOs conocidos, sin embargo esta muestra reducida ha sido aumentada a 87 objetos con nuestros métodos de selección. Encontramos consistencia de resultados entre cuásares RL y RQ, que sugiere una evolución similar para ambas poblaciones en este rango de desplazamiento al rojo. Nuestros resultados pueden también sugerir un aplanamiento de la pendiente *bright-end* de $z \sim 2$ a $z \sim 4$, exclusivamente para la población radio-intensa. Si esto se confirmase, implicaría una evolución de la densidad de los agujeros negros supermasivos asociada a QSOs radio-intensos, de modo que éstos serían más abundantes en $z \sim 4$.

En esta tesis hemos también ampliado el número conocido de RL *Broad Absorption Line* (BAL) QSOs con alto z entre $3.6 \leq z \leq 4.8$, incrementando desde 13 hasta 22 objetos. Observamos los objetos más luminosos de esta muestra en varias frecuencias en radio (en el EVLA *radio-array* y en el telescopio 100m de Effelsberg), junto con una muestra de comparación de RL QSOs no-BAL en el mismo intervalo de desplazamiento al rojo. Con estos datos, pusimos a prueba los dos escenarios principales que han sido propuestos para explicar la existencia de estos objetos: el "escenario de orientación" y el "escenario de evolución".

Presentamos un catálogo de fuentes detectadas en el radio (FIRST) y en el infrarrojo (UKIDSS) pero no detectadas en el óptico (SDSS), y una lista de candidatos a cuásares enrojecidos. Finalmente presentamos los resultados preliminares de nuestra nueva investigación acerca de la selección de candidatos RL cuásares con $z > 4.7$ empleando los datos en radio (FIRST), en el óptico (SDSS DR10) y en infrarrojo (UKIDSS *Large area Survey* DR10, WISE, VHS).

Tesis disponible en:

<https://www.educacion.gob.es/teseo/mostrarRef.do?ref=1190799>



Búsqueda de supervientos de gas neutro en galaxias luminosas cercanas con fuerte formación estelar

Autora: Sara Cazzoli (sara@iaa.es)

Tesis doctoral dirigida por: Santiago Arribas y Roberto Maiolino

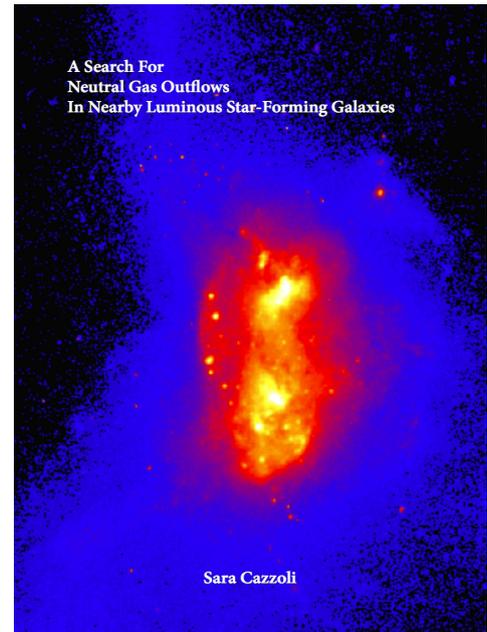
Centro: Universidad Autónoma de Madrid

Fecha de lectura: 27 de Mayo de 2016

En el presente trabajo, se ha analizado una muestra de 38 galaxias luminosas y ultraluminosas en el infrarrojo (LIRGs y ULIRGs, por sus siglas en inglés) local a $z < 0.09$, observada con las unidades de campo integral de los instrumentos VLT/MIMOS y VLT/SINFONI. De este modo, se ha podido ampliar el censo de *outflows* (a veces traducido como “supervientos”) de gas neutro espacialmente resueltos en (U)LIRGs locales, cubriendo el rango de luminosidad menos estudiado, correspondiente a las LIRGs. En este contexto, el estudio simultáneo en estos objetos de los rangos óptico e infrarrojo cercano permite dar un paso significativo hacia la comprensión de las propiedades de estos supervientos, como su geometría, así como su influencia en la galaxia anfitriona mediante los procesos de regulación de la formación estelar y/o la actividad del agujero negro central.

Primero, se ha estudiado la presencia de supervientos en diferentes fases del medio interestelar en un prototipo de LIRG, IRAS-F11506-3851 (Cazzoli et al. 2014: A&A, 569, A14). Se han obtenido la morfología y la cinemática bidimensional de las componentes neutras e ionizadas del gas, así como de la componente estelar. Para ello, se han utilizado los datos de espectroscopía de campo integral a diferentes longitudes de onda y como trazadores el doblete de absorción del NaD, la línea de emisión H α (óptico), y las bandas de absorción del CO (infrarrojo cercano). Los campos de velocidad del gas ionizado y de las estrellas están dominados por rotación. La fase neutra del gas, trazada con el NaD, presenta una cinemática más compleja, dominada por dos componentes. Por un lado, se observa un disco grueso irregular que rota significativamente más despacio que el gas ionizado y las estrellas. Por otro lado, se encuentra una componente asociada a un superviento de gas neutro, originado en el núcleo y perpendicular al disco de la galaxia, que expulsa una cantidad significativa de gas de las regiones centrales, con una tasa 1.4 veces mayor que la tasa de formación estelar. Estos resultados sugieren que la formación estelar está siendo suprimida por la acción del superviento. No obstante, la masa relativamente alta de gas molecular que se observa en las regiones centrales de la galaxia hace pensar que episodios de formación estelar puedan repetirse.

Junto con el estudio detallado de IRAS-F11506-3851, se han analizado las propiedades del gas neutro en toda la muestra estudiando las posibles relaciones entre las propiedades de los supervientos y las características globales de la galaxia anfitriona (Cazzoli et al. 2016: A&A, 590, A15). En una pequeña fracción de fuentes (11 objetos), encontramos evidencias de discos en rotación, mientras que en más de la mitad de los casos (22 objetos), el campo de velocidad del gas neutro aparece dominado por movimientos no circulares con características propias de vientos con estructura cónica. Las tasas con las



Portada de la tesis.

que la masa es expulsada en los vientos son típicamente entre 0.2 y 0.4 veces la correspondiente a la tasa de formación estelar, lo que indica que, en general, la pérdida de masa es pequeña como para poder frenar de forma significativa la formación estelar. En la mayoría de los casos, la velocidad del gas en los vientos no es suficiente como para escapar del potencial gravitatorio de la galaxia y, por tanto, su mayor parte terminará cayendo de nuevo al disco galáctico. La comparación entre la energía del viento y la energía cinética de los brotes de formación estelar asociados a las supernovas indican que únicamente estos brotes de formación estelar tienen suficiente energía como para producir los supervientos en prácticamente todas las (U)LIRGs. En únicamente dos casos se encuentra que el efecto del AGN es, en principio, significativo. Por último, se ha investigado la posible presencia de formación estelar en el superviento de la ULIRG IRAS-F05189-3851 a través del estudio de un conjunto de líneas de emisión en el infrarrojo cercano ([FeII], Pa α , H21-0 S(1) y Br γ). La descomposición en múltiples componentes de las líneas de emisión infrarrojas ha revelado la presencia de una componente ancha y extensa, asociada a supervientos. Mediante diagramas de diagnóstico, ha sido posible discriminar la fuente dominante de ionización de cada una de las componentes cinemáticas empleadas para modelar las líneas de emisión. Encontramos que el mecanismo de excitación en ambas componentes, ancha y estrecha, se corresponde con fotoionización debido al AGN. Esto excluye los procesos de ionización como los debidos a estrellas jóvenes ionizantes, que son los esperados en caso de regulación positiva debido a formación estelar. Nuestras medidas indican que o bien esta galaxia presenta un déficit de emisión de [FeII] o bien un exceso de emisión en la línea de H2. Este resultado será estudiado con mayor profundidad en el futuro, junto a un estudio detallado sobre la posible presencia de formación estelar en supervientos en una muestra de cinco ULIRGs locales (Cazzoli et al., en preparación).

Cúmulos jóvenes masivos en el infrarrojo como sondas galácticas

Autor: Diego de la Fuente Guillén
(delafuente@cab.inta-csic.es)

Tesis doctoral dirigida por: Francisco Najarro
Centro: Centro de Astrobiología (CSIC/INTA)
/ Universidad Autónoma de Madrid

Fecha de lectura: 9 de Septiembre de 2016

Los cúmulos jóvenes masivos (YMCs) espacialmente resueltos disfrutan de un singular conjunto de propiedades físicas, evolutivas y observacionales que los convierten en laboratorios astrofísicos privilegiados. Al albergar estrellas muy luminosas, estos objetos pueden detectarse y estudiarse espectroscópicamente en regiones distantes y oscurecidas de la Vía Láctea, aunque solo en el infrarrojo debido a la fuerte extinción interestelar. Los grandes sondeos públicos infrarrojos de los últimos años, junto con su posterior seguimiento espectroscópico, están permitiendo extender el censo de YMCs a la mayor parte del disco Galáctico. En esta tesis, caracterizamos nuevos YMCs Galácticos en el infrarrojo e investigamos su versatilidad como laboratorios astrofísicos, especialmente en lo que respecta a su uso como sondas de medición Galácticas. Nos referimos con el término sonda de medición a aquel objeto que nos permite medir una propiedad concreta en una localización conocida. Se seleccionaron cinco candidatos a YMC a través de la fuerte emisión en la línea Paschen- α típica de estrellas masivas calientes con vientos intensos, observada en banda estrecha con el instrumento NICMOS/HST. Otros cuatro candidatos de sondeos públicos recientes se seleccionaron mediante métodos más clásicos (concentración espacial, colores y magnitudes). Se tomaron espectros de todos los candidatos en bandas H y K con los espectrómetros ISAAC/MLT y SofI/NTT del ESO. Redujimos los espectros con un datoducto de IDL creado por nosotros mismos.

Los cinco candidatos seleccionados mediante banda estrecha son caracterizados totalmente a través de los siguientes pasos: identificación de líneas, medición de velocidades radiales, clasificación espectral, diagrama color-magnitud, discusión de membresía, extinción, distancia espectrofotométrica, diagrama H-R y ajuste de isocronas, estimación de edad e integración de la IMF para obtener la masa total. Evaluamos la consistencia de las medidas de distancia y velocidad radial mediante la curva de rotación de la Galaxia, y comparamos los resultados con los objetos de la región de formación estelar circundante y con la estructura espiral de la Vía Láctea (véase Figura). Los resultados de las caracterizaciones permiten confirmar estos cinco objetos como YMCs con edades entre 2 y 7 Myr, siendo además la primera vez que se caracterizan espectroscópicamente dos de ellos (Mercer 70 y Mercer 81). En comparación con lo anteriormente publicado, incrementamos sustancialmente las distancias y masas de los YMCs Mercer 20 y Mercer 30 gracias a que logramos resolver sus partes más densas, y a la casi completa cobertura espectroscópica de la población post-secuencia principal.

Además, presentamos descripciones preliminares de los cuatro candidatos a cúmulo seleccionados con métodos clásicos, resultando que solo uno, VV CL067, parece ser un YMC. La comparación entre los resultados de ambas muestras acredita la impresionante efectividad (100%) del método de Paschen- α para detectar YMCs respecto de las técnicas clásicas.

Por otra parte, investigamos la aplicabilidad del estudio de YMCs a otras áreas de la astrofísica mediante los 3 siguientes estudios concretos que involucran diferentes escalas espaciales:

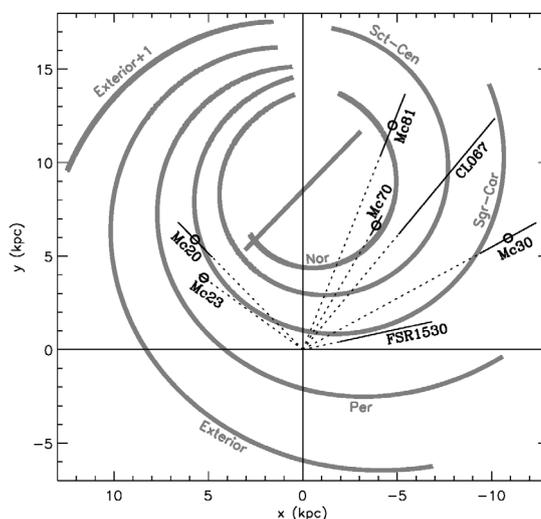
1) Dos de los emisores intensos en Paschen- α resultan ser estrellas FS CMA, un raro subtipo de objetos B[e] que se distinguen por su poca luminosidad y por estar rodeados por discos compactos de polvo caliente de origen desconocido. Nuestro descubrimiento constituye la primera detección de estrellas FS CMA en poblaciones coetáneas, permitiendo hallar por primera vez las edades de este tipo de objetos. Descartamos gracias a ello la hipótesis de que sean objetos binarios post-AGB y formulamos una nueva hipótesis consistente en productos de fusiones de binarias. También diseñamos un nuevo método de búsqueda de estrellas FS CMA en YMCs basado en fotometría de banda estrecha.

2) Utilizamos el YMC Mercer 30 para sondear las fuentes estelares de ionización de la nebulosa del Pez Dragón, el complejo de formación estelar gigante al que pertenece este cúmulo. Obtenemos las contribuciones al flujo ionizante de Mercer 30 y otras poblaciones de estrellas masivas existentes en el complejo (otros cúmulos, estrellas de campo), siendo su suma mayor al 73% de los fotones ionizantes necesarios para alimentar la nebulosa. Ello nos permite refutar la supuesta presencia en la misma región de la asociación OB más luminosa de la Vía Láctea, tal como habían afirmado recientemente otros autores.

3) Investigamos el potencial de los YMCs conocidos hasta el momento para elaborar un mapa bidimensional (radial-azimutal) de abundancias metálicas actuales que abarque una fracción significativa de la superficie del disco Galáctico. Las localizaciones de los YMCs estudiados en esta tesis (ver Figura) son cruciales para proporcionar una cobertura espacialmente homogénea. El análisis de abundancias se está llevando a cabo mediante ajustes de los espectros a modelos CMFGEN. Este trabajo aún está en curso, pero ya ha sido completado para Mercer 30 y, de forma preliminar, para Mercer 81. Estos resultados parciales, combinados con otros trabajos previos para YMCs del Centro Galáctico, ya permiten distinguir un cierto gradiente radial de metalicidad.

Tesis disponible en:

<https://cloud.cab.inta-csic.es/index.php/s/T3iWdVyc80ELs0C>



Localización respecto de la estructura espiral de la Vía Láctea de cada uno de los cúmulos jóvenes caracterizados completamente (Mercer 20/23/30/70/81) o descritos preliminarmente (FSR 1530, VV CL067) en esta tesis. El Sol se sitúa en el origen de coordenadas.

CARMENES-UCM: preparación científica, multi- plicidad, actividad cromosfé- rica y cinemática

Autora: Miriam Cortés Contreras

(micortes@ucm.es)

Tesis doctoral dirigida por: José Antonio

Caballero y David Montes

Centro: Universidad Complutense de Madrid

Fecha de lectura: 7 de Noviembre de 2016

Las estrellas tipo M son las más numerosas de la Galaxia. Debido a que son poco masivas, son objetivos óptimos para la caza de exoplanetas con el método Doppler, que saca provecho del elevado cociente entre la masa del planeta y la masa de la estrella.

Esta tesis se ha desarrollado en el marco del proyecto CARMENES, bajo el auspicio del Consorcio homónimo. El instrumento CARMENES, un espectrógrafo de alta resolución con un canal visible y otro infrarrojo, está situado en el telescopio de 3.5 m en el Observatorio de Calar Alto (Almería, España). Su propósito principal es la detección de exo-Tierras en la zona de habitabilidad de las enanas M. Operativo desde enero de 2016, observará una selección de 300 estrellas M durante los próximos tres años.

Para una selección adecuada, he construido Carmencita, un catálogo de ~2200 enanas M. Contiene docenas de parámetros, incluyendo astrometría precisa, fotometría, información sobre multiplicidad e indicadores de actividad, entre otros. Estos parámetros han sido recopilados principalmente de la literatura, pero también se han derivado a partir de nuevas observaciones espectroscópicas y fotométricas por parte del Consorcio.

Para una correcta caracterización de las estrellas del catálogo, he derivado distancias espectro-fotométricas para casi 900 enanas M y medido movimientos propios para más de 500, corrigiendo y mejorando determinaciones previas. He clasificado cerca de 1600 enanas entre las distintas poblaciones galácticas y grupos jóvenes de movimiento a partir de sus velocidades galactocéntricas, lo que nos ha permitido delimitar sus edades. He estudiado la actividad en enanas M a partir de la pseudo-anchura equivalente de $H\alpha$, la emisión en rayos X y la velocidad y el periodo de rotación, y he observado un incremento en la fracción de estrellas activas hacia tipos espectrales tardíos, así como la relación ya conocida entre actividad y rotación, en la que estrellas más activas tienden a ser rápidas rotadoras. He presentado además una lista con las 50 estrellas más activas de Carmencita en base a los datos disponibles.

Hemos llevado a cabo un estudio de multiplicidad haciendo uso de imágenes tomadas con los instrumentos TCP y CAMELOT del telescopio IAC80 (baja resolución) y FastCam del Telescopio Carlos Sánchez (alta resolución) en el Observatorio del Teide. Hemos confirmado la binariedad de 52 sistemas con al menos una enana M y descartado otros dos, encontrando 10 sistemas con periodos menores de 1000 a y variaciones orbitales significativas. Con la técnica de *lucky imaging*, hemos

detectado 80 compañeras de corta separación, de las cuales 30 son nuevas y 10 tienen periodos menores de 50 a. En el intervalo de separaciones angulares entre 0.2 y 5 *arcsec* (1.4-65.6 au), la fracción de multiplicidad es de $19.5 \pm 2.3\%$ en una muestra corregida de *bias*, consistente con las fracciones derivadas en otros trabajos a separaciones similares. Además, la contribución de binarias y sistemas múltiples de la literatura a otros rangos de separaciones angulares incrementa esta fracción hasta, al menos, el 36%.

Para completar la identificación de sistemas en Carmencita, he llevado a cabo una búsqueda de compañeros de movimiento propio usando los catálogos de movimiento propio PPMXL, UrHip y APOP. He encontrado 13 posibles compañeras con separaciones entre 30 y 430 *arcsec* (640 y 9600 au). Cinco compañeras tienen masas en el límite o por debajo de la quema de hidrógeno. Tres de ellas tienen además las energías de ligaduras más bajas y son candidatas a los grupos de beta Pictoris y Ursa Major o al disco joven de la Galaxia.

La distribución acumulada de separaciones físicas proyectadas de los sistemas con primarias M en Carmencita sigue una ley de potencias de acuerdo con la ley de Öpik en el intervalo entre 1 au y 3160 au. Hasta el momento, este es el primer estudio de estas características llevado a cabo en enanas M.

El número elevado de estrellas bien caracterizadas proporciona unos resultados de calidad que son, en general, consistentes con lo obtenido en trabajos anteriores, y que han sido útiles para la selección de la muestra de CARMENES. Por otro lado, el catálogo Carmencita será un recurso público de gran potencial que servirá también para una mejor caracterización de estas estrellas frías y poco masivas.

En base a los resultados obtenidos, sería interesante llevar a cabo un análisis de sistemas múltiples con primarias M de distintas edades (jóvenes y viejas) para estudiar, por ejemplo, la dependencia de la frecuencia y los parámetros orbitales con la edad, con el objetivo de estudiar la formación y evolución de estrellas poco masivas y arrojar luz sobre la formación y habitabilidad de los planetas que las orbitan. Para ello, es necesario identificar las estrellas jóvenes y delimitar sus edades correctamente. El estudio cinemático llevado a cabo en este trabajo se podría completar con una búsqueda de estrellas jóvenes y activas en Carmencita a partir de los espectros tomados con CARMENES, midiendo velocidades radiales y líneas de $H\alpha$ y/o derivando periodos rotacionales. En particular, sería necesario hacer un seguimiento de los pares con menores periodos para determinar sus parámetros orbitales y masas dinámicas, y caracterizar espectroscópicamente y fotométricamente los pares a mayores separaciones, especialmente aquellos con menores masas y energías de ligadura.

Tesis disponible en <http://carmenes.caha.es>

Agregación de galaxias: un Proceso Puntual

Autor: Lluís Hurtado Gil
(lluis.hurtadogil@ceu.es)

Tesis doctoral dirigida por: Vicent Josep Martínez Garcia y Pablo Arnalte Mur

Centro: Universitat de València

Fecha de lectura: 23 de Junio de 2016

En esta tesis doctoral nos adentramos en el análisis de la distribución de galaxias a gran escala a través del uso de técnicas de Procesos Puntuales. Esta rama de la estadística entiende las configuraciones de puntos en el espacio como una variable aleatoria, es decir, como una realización de un proceso estocástico. Dentro de esta teoría de análisis de datos hemos usado tres aproximaciones distintas: los estadísticos de resumen (*summary statistics*), la minería de datos y la modelización de fenómenos. Los resultados muestran que los procesos puntuales son una herramienta excelente para descubrir las propiedades de la distribución de galaxias así como para modelizar sus patrones.

Los datos usados tienen orígenes diversos, incluyendo simulaciones de la distribución de galaxias (LasDamas) y de materia oscura (MultiDark) así como cartografiados de galaxias procedentes de diferentes proyectos observacionales. De entre los últimos cabe destacar especialmente el cartografiado ALHAMBRA, un catálogo de gran profundidad realizado con técnicas fotométricas. Trabajar con datos de ALHAMBRA ha supuesto la necesidad de adaptar técnicas convencionales del análisis de la distribución de galaxias, tales como la función de correlación de dos puntos, al uso de datos no espectroscópicos. Esto servirá a su vez como herramienta para el análisis de los datos que proporcionará el cartografiado J-PAS.

Con los datos de ALHAMBRA hemos podido analizar la distribución de las galaxias a escalas (separación entre pares de galaxias) no medidas hasta la fecha. Estos resultados confirman un incremento en la correlación de las galaxias en los centros de los grupos y cúmulos de galaxias (las distancias de separación estudiadas varían entre 0.03 y 10 Mpc/h). El cambio en la variación de la pendiente de la función de correlación proyectada (w_p) está localizado alrededor de 0.2 Mpc/h, mostrándose como un codo en la correspondiente gráfica (ver figura). Este estadístico se ha estudiado en detalle analizando la muestra de ALHAMBRA en distintas bandas de redshift de ancho 0.15 desde $z=0.35$ a $z=1.1$. Puede apreciarse cierta evolución en la pendiente mencionada, siendo mayor a *redshifts* más altos, lo que acentúa el cambio de comportamiento a escalas mayores y menores que 0.2 Mpc/h. En promedio, la pendiente de la función de correlación proyectada a escalas menores que este valor es de 2.2, mientras que a separaciones mayores es el típico valor 1.8.

La abundante fotometría de ALHAMBRA nos permite además analizar el comportamiento de nuestras poblaciones considerando segregación espectral, separando las galaxias de

alta formación estelar de las que no la tienen. Los resultados extienden los comportamientos conocidos, con las galaxias envejecidas, o más rojizas, mostrando mayores niveles de agregación en el interior de los cúmulos, mientras que las que forman estrellas, o más azuladas, son dominantes a distancias mayores. Además, se ha podido comprobar que el cambio de pendiente mencionado corresponde casi exclusivamente a las galaxias azules, mientras que la función de correlación de las galaxias rojas tiene una única pendiente en todo el rango de escalas estudiado.

Un segundo ejercicio de estadística descriptiva en el marco de los procesos puntuales es la distribución del recuento de celdas (*Counts-in-Cells*), una técnica sencilla pero poderosa para describir la distribución de galaxias. Usando datos del SDSS hemos ajustado la distribución resultante con cuatro distribuciones: la distribución de Cuasi-Equilibrio Gravitacional (GQED), la Binomial Negativa, la Log Normal y la distribución Weibull. Nuestra conclusión es que la Binomial Negativa es la más efectiva, aunque en posteriores trabajos analizamos la posibilidad que una distribución Log Normal modificada mediante un parámetro de *galaxy bias* pueda resultar más efectiva.

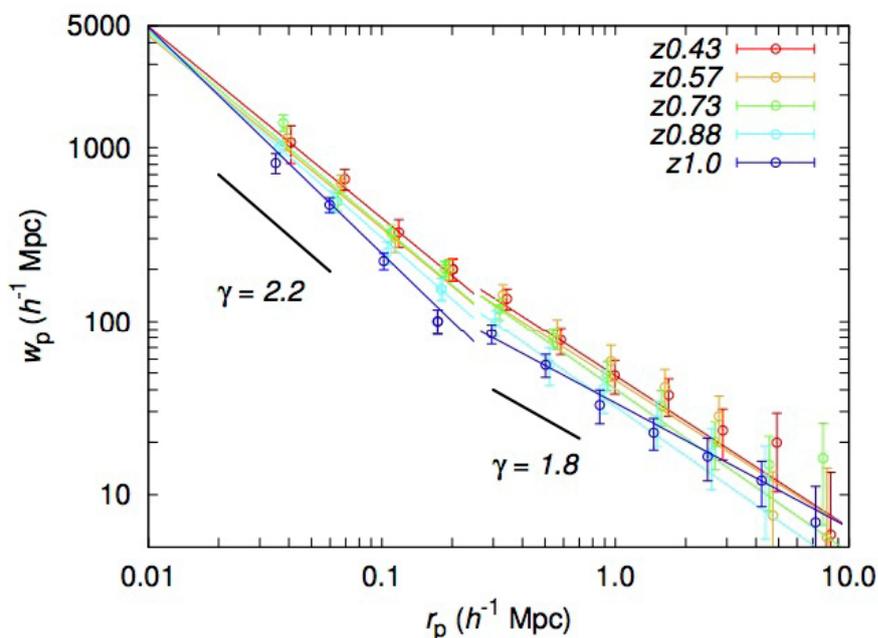
Pero el análisis de procesos puntuales ofrece herramientas innovadoras y muy potentes que nos permiten estudiar la distribución de galaxias con gran profundidad. Más allá de los ejemplos anteriores de estadística descriptiva, la minería de datos nos permite identificar y estudiar subconjuntos concretos de la población que responden a unas propiedades comunes, tales como la pertenencias a una misma estructura. Uno de los algoritmos desarrollados con éxito en este trabajo es el de Modelos de Mezcla (*Mixture models*), modelos que identifican y caracterizan las diferentes estructuras presentes mediante perfiles de halos de materia oscura (e.g. perfil de Einasto). Usando datos de la simulación MultiDark somos capaces de localizar los halos presentes en la muestra y estimar correctamente sus parámetros. Estos modelos basan parte de su efectividad para clasificar la presencia de un punto o partícula en establecer probabilidades de pertenencia a las diversas estructuras o componentes. Los algoritmos de minería de datos ganan en efectividad cuando incorporamos modelos paramétricos, menos dependientes del ruido o estructuras espurias presentes en nuestros datos.

Siguiendo con el uso de modelos para la distribución de galaxias hemos recurrido en esta tesis al uso de modelos de interacción de puntos de Gibbs. Estos modelos probabilísticos describen la distribución de galaxias dependiendo de la distancias entre pares. En el caso de modelos de agregación isotrópica, como los usados en esta tesis, la presencia de pares cercanos incrementa la intensidad del proceso, creando un patrón que asemeja al encontrado en los cartografiados de galaxias. Esta intensidad se construye a partir de diversos perfiles que pretenden simular la agregación de galaxias en una distancia determinada. El más básico de ellos es el modelo de Geyer, que define un perfil plano en el que las galaxias están agregadas a intensidades superiores a las de la distribución homogénea de Poisson que encontramos a escalas mayores (donde no hay correlación entre pares). El modelo de Fiksel es un perfil continuo con una pendiente exponencial, que define unas amplitudes de agrupamiento mayores a escalas menores. Finalmente, el modelo de ley de potencias define también

un perfil continuo con un polo a distancia cero. Estos modelos son igualmente paramétricos, con unas cantidades que caracterizan el nivel de intensidad presente en la muestra y su grado de interacción entre puntos. El ajuste de estas cantidades a partir de una población de puntos se ha realizado mediante la técnica de pseudo-verosimilitud, una aproximación de la verosimilitud que toma información tanto de la presencia de puntos en determinadas coordenadas como de su ausencia en el resto. Estos modelos se han ajustado sobre poblaciones extraídas del SDSS y de la simulación LasDamas. Los resultados obtenidos muestran la naturaleza agregada de las galaxias de estas muestras, con una ligera evolución con mayores valores de agregación para *redshifts* menores. Además de este resultado esperado, el modelo nos permite construir un mapa de densidades sobre el volumen observado, que puede ser utilizado para detectar estructuras o para reconstruir zonas ocultas.

Más allá de la continuación de estos trabajos y sus técnicas de análisis de datos en nuevos cartografiados (J-PAS), nuestra intención es continuar con el desarrollo de los modelos de Gibbs. Los futuros pasos incluyen el uso de nuevos métodos de estimación de parámetros, más robustos y fiables. Además, será necesario elaborar nuevos modelos que reproduzcan más fielmente el perfil y el comportamiento gregario de los cúmulos de galaxias.

Función de correlación proyectada con datos de ALHAMBRA. Los colores indican el redshift medio de cada muestra analizada. Los dos haces de curvas son leyes de potencia ajustadas antes y después de los 0.25 Mpc/h y muestran la evolución de la doble pendiente de la función.





Atardecer azul en Marte,
tomado por la sonda Spirit
desde el cráter Gusev.
Créditos: NASA.



**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