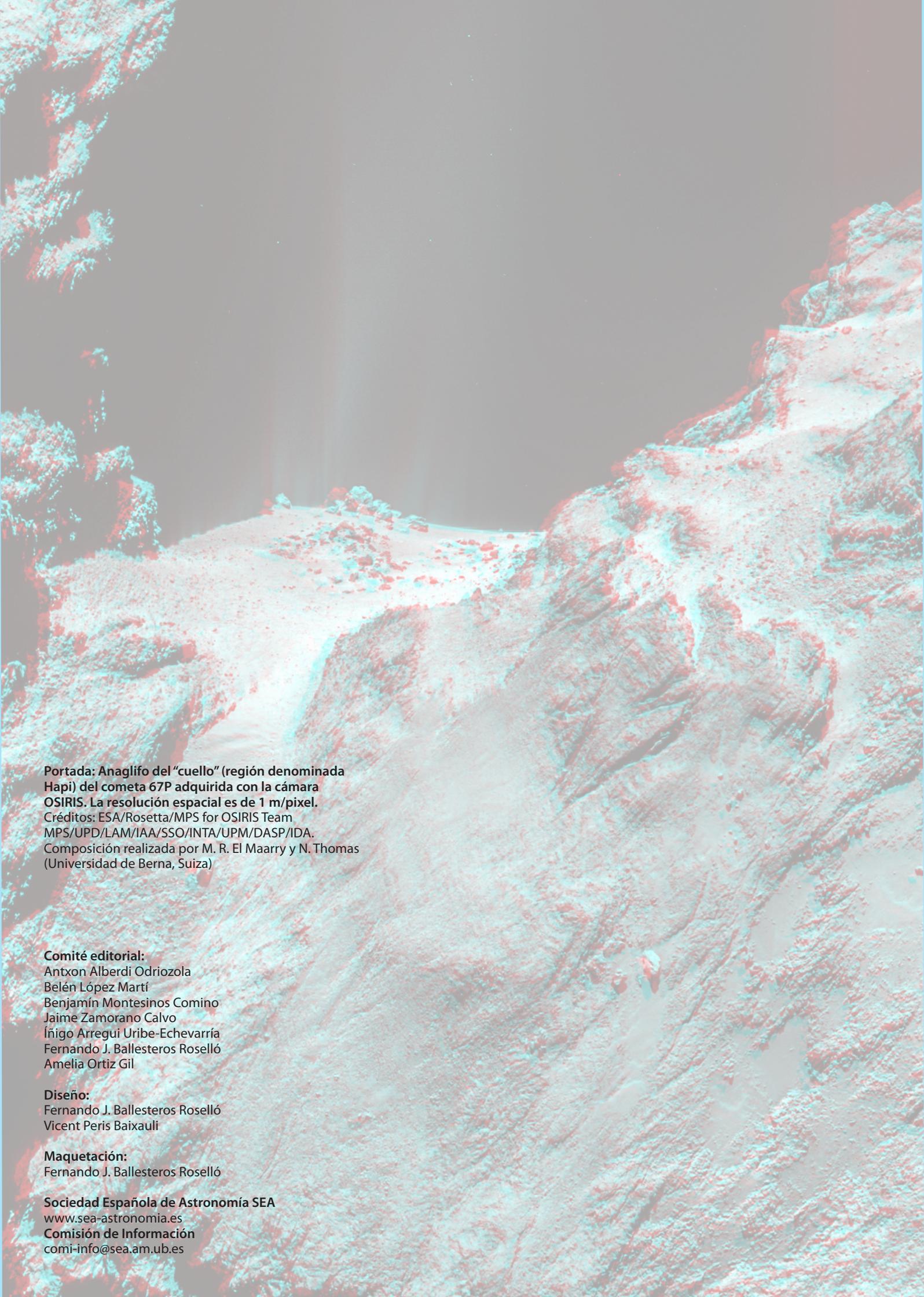




# SEA

Sociedad Española de Astronomía



**Portada: Anaglifo del “cuello” (región denominada Hapi) del cometa 67P adquirida con la cámara OSIRIS. La resolución espacial es de 1 m/pixel.**  
Créditos: ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team  
MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA.  
Composición realizada por M. R. El Maarry y N. Thomas  
(Universidad de Berna, Suiza)

**Comité editorial:**

Antxon Alberdi Odriozola  
Belén López Martí  
Benjamín Montesinos Comino  
Jaime Zamorano Calvo  
Íñigo Arregui Uribe-Echevarría  
Fernando J. Ballesteros Roselló  
Amelia Ortiz Gil

**Diseño:**

Fernando J. Ballesteros Roselló  
Vicent Peris Baixauli

**Maquetación:**

Fernando J. Ballesteros Roselló

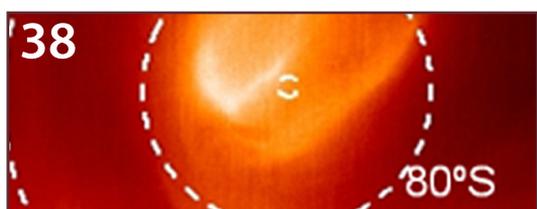
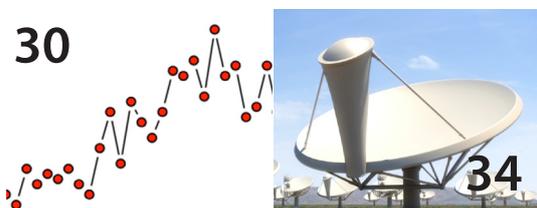
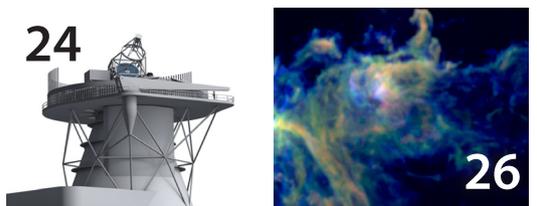
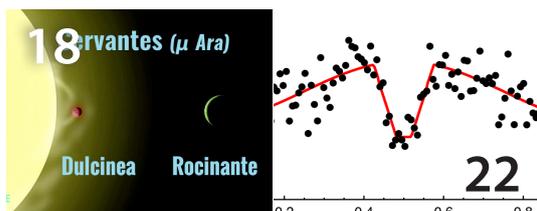
**Sociedad Española de Astronomía SEA**

[www.sea-astronomia.es](http://www.sea-astronomia.es)

**Comisión de Información**

[comi-info@sea.am.ub.es](mailto:comi-info@sea.am.ub.es)

# CONTENIDOS



- 5 Editorial
- 6 Creando paradigmas: Rosetta
- 18 Cervantes y sus personajes propuestos como nombres de una estrella y sus planetas
- 22 Planetas extremos, o como dar la vuelta a tu estrella en menos de un día
- 24 Diseño de un espectrógrafo de campo integral para el Telescopio Solar Europeo
- 26 Fotoquímica interestelar
- 30 Estudio de recursos humanos en astronomía y astrofísica en España
- 34 The Spanish Square Kilometre Array White Book
- 36 Ecos de (la) Sociedad
- 37 Libros
- 38 Tesis doctorales
- 46 Javier Gorosabel, in memoriam

Recreación artística de un planeta en  
órbita alrededor de la estrella  $\mu$  Arae.  
¿Futuros Cervantes y Dulcinea?  
Artista: O. Dielsen



# EDITORIAL

El presente Boletín es el primero tras la renovación de la Junta directiva de la SEA,. Es el momento de agradecer a los miembros salientes todo el trabajo realizado a lo largo de los últimos años. El Boletín mantiene para este número el equipo editorial anterior, con mi incorporación como nuevo Editor. Sin duda alguna, este ejemplar se beneficia de toda la estructura ya montada por mi antecesor Vicent Martínez y su equipo más próximo de edición. Gracias a todos ellos.

En este número se presentan los últimos resultados de Rossetta. Se muestran imágenes con un detalle exquisito sobre la morfología de los cometas. Gracias a la nitidez de las imágenes (del orden de 1 metro por pixel) puede vislumbrarse la complejidad de su superficie, así como su actividad en forma de chorros colimados de gas y polvo. Incluso Philae ha despertado justo a tiempo para la publicación de este Boletín, aunque sus datos -obviamente- no se han podido analizar todavía.

Hay varios artículos que muestran la actividad intensa de los astrónomos más jóvenes. Los ganadores de los "Premios SEA" a la mejor tesis doctoral, tanto en la vertiente científica como instrumental, nos describen su trabajo científico: el estudio de planetas en tránsito con periodos orbitales cortos a través de técnicas de Fourier (Roberto Sanchís Ojeda) y el diseño de un espectrógrafo de campo integral, de alta resolución, espacial y espectral, con capacidad multi-rendija y multi-longitud de onda para el Telescopio Solar Europeo (Ariadna Calcines). El Boletín incluye también un artículo de Javier Goicoechea sobre fotoquímica interestelar, con observaciones tomadas con ALMA e IRAM-NOEMA. Este trabajo ha merecido el premio conjunto de las sociedades española y francesa de Astronomía al mejor proyecto conjunto de colaboración franco-española en Astronomía.

Nos hacemos eco de la publicación del Libro Blanco español del "Square Kilometer Array (SKA)", libro en el que se muestra el interés global de la comunidad astronómica española por participar como miembro de pleno derecho del SKA, mostrando la capacidad científica de nuestros grupos de investigación para obtener el máximo rendimiento científico del telescopio.

El Boletín incluye también la propuesta de la SEA de participar en la iniciativa de la IAU para dar nombres populares a algunos de los planetas extrasolares y sus estrellas anfitrionas. La SEA ha propuesto nombrar al sistema  $\mu$  ARAe, bautizando la estrella con el nombre de Cervantes y los planetas como Quijote , Rocinante , Sancho y Dulcinea. Publicamos también un estudio sobre los recursos humanos en Astronomía y su evolución temporal en los últimos años, obtenido a partir de la base de datos SEAMOS.

En el momento de hacerse público este Boletín, estaremos inmersos en la celebración de la EWASS-2015. Ha constituido un éxito impresionante de participantes (más de 1100 astrónomos), con 11 simposios y 23 sesiones especiales desarrollándose en paralelo. Es una gran ventana para la Astronomía española. Desde aquí deseamos a los asistentes una reunión científica provechosa. Y a todos, un feliz verano.

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

¿Cómo se formó el Sistema Solar? ¿Cuál es el origen del agua terrestre? ¿Y el de la vida en la Tierra? La comprensión de la formación de nuestro Sistema Solar se diluye en un marasmo de hipótesis para describir cómo se pudieron originar los planetas, sus satélites, los asteroides y cometas e incluso el propio Sol.



**Luisa M. Lara**

Instituto de Astrofísica de Andalucía (CSIC)  
*lara@iaa.es*

**Pedro J. Gutierrez**

Instituto de Astrofísica de Andalucía (CSIC)  
*pedroj@iaa.es*

**Rafael Rodrigo**

Centro de Astrobiología (CSIC-INTA)  
*r.rodrido@cab.inta-csic.es*

## LA IMPORTANCIA DE LOS COMETAS

Inestabilidades gravitacionales, turbulencias, fuerzas electromagnéticas, protosol, protoplanetas, planetesimales y explosiones de supernovas son algunos de los conceptos que se invocan para intentar describir cómo llegamos hasta nuestros días. Como decimos, todo son hipótesis, tentadoras, pero hipótesis.

A mediados de los años 50 del pasado siglo, Fred Whipple planteó una idea para describir la naturaleza de los cometas. Según su planteamiento, estos objetos eran esencialmente un cuerpo sólido, con un tamaño del orden de los kilómetros y estaban constituidos por una mezcla de hielos, principalmente agua, y polvo. Esta hipótesis, que fue contrastada en 1986, cuando se obtuvieron las imágenes del núcleo del cometa Halley por la nave Giotto (ESA), ponía en valor a estos objetos del Sistema Solar. Si tenían hielo, debían haber estado a temperaturas muy bajas, y si eran relativamente pequeños, no debían haber sufrido procesos geológicos importantes. Estas circunstancias definen a los cometas como los objetos menos evolucionados de nuestro entorno y, por tanto, su estudio nos podría proporcionar información sobre cómo se originó y formó nuestro Sistema Solar. Hoy sabemos que parte de los cometas se debieron formar en la región entre Júpiter y Saturno, de donde fueron dispersados a los confines del Sistema Solar, formando la conocida como nube de Oort. Esta nube es una envoltura esférica que rodea nuestro sistema planetario y en la que residen millones de cometas, esperando que alguna perturbación los envíe hacia la parte más interna. Otra parte de los cometas se formó en la región más allá de Neptuno, donde residen hasta que, de nuevo por alguna perturbación, cambian sus órbitas y se acercan al Sol. Tanto si proceden de la nube de Oort como de la región transneptuniana, los cometas han permanecido durante la mayor parte de sus vidas alejados de la principal fuente de energía de nuestro entorno. Ese hecho apoya la idea de que los cometas son los objetos menos evolucionados del Sistema Solar.

Pero la importancia de los cometas puede ir más allá de la de ser portadores de información sobre el origen de nuestro Sistema Solar. Actualmente tampoco tenemos una explicación definitiva para la presencia de agua en nuestro planeta y tampoco para la vida. Es razonable pensar que dada la cercanía de la Tierra al Sol y a los intensos procesos que pudo sufrir durante su formación, el agua que hoy tenemos pueda proceder del exterior. ¿Son los cometas, cuyo principal elemento volátil es el hielo de agua, los que trajeron el agua a la Tierra? Una duda similar se plantea con el origen de la propia vida. Por un lado, se piensa que

nuestra atmósfera primitiva estaba constituida principalmente por nitrógeno, agua y dióxido de carbono, compuestos a partir de los cuales es difícil que se formen moléculas orgánicas complejas. Por otro, sabemos que entre los constituyentes cometarios hay compuestos orgánicos complejos. Por ejemplo, se ha podido detectar la presencia de benceno, naftaleno o fenantreno y, recientemente se ha podido encontrar el aminoácido glicina en las muestras de polvo cometario que trajo la nave Stardust (NASA) del entorno del cometa Wild-2. Estos compuestos hablan en favor de la hipótesis que planteó el español Juan Oró en los años 60 del pasado siglo: es razonable pensar que las moléculas orgánicas, o las precursoras de la vida, fueron transportadas desde la parte más externa del Sistema Solar hasta la interna.

Como vemos, los cometas pueden ayudarnos a responder a las tres preguntas que nos planteábamos al comienzo. De esas tres preguntas, quizás pronto podamos responder a la primera pero, antes, debemos saber cómo se formaron los cometas.

#### **LA FORMACIÓN COMETARIA.**

Hay tres aspectos de la naturaleza cometaria que debemos conocer para estar en disposición de construir un modelo para la formación de los cometas. Estos aspectos se pueden resumir en tres preguntas: ¿Cuál es la composición cometaria, incluyendo los constituyentes minoritarios? ¿Cómo se desarrolla la actividad cometaria? y ¿Cuál es la estructura interna de los núcleos cometarios?

Actualmente sabemos que los cometas son un conglomerado de hielos (material que llamaremos volátil) y polvo (material que, genéricamente, llamaremos refractario). Con respecto a los hielos, el agua es el componente mayoritario seguido por el monóxido y el dióxido de carbono. Con respecto al material refractario, éste está constituido principalmente por silicatos y materiales orgánicos. Junto a estos constituyentes mayoritarios hay todo un enjambre de constituyentes minoritarios, como metanol, ácido fórmico o el azufre, que son los auténticos trazadores de la historia química cometaria. Se

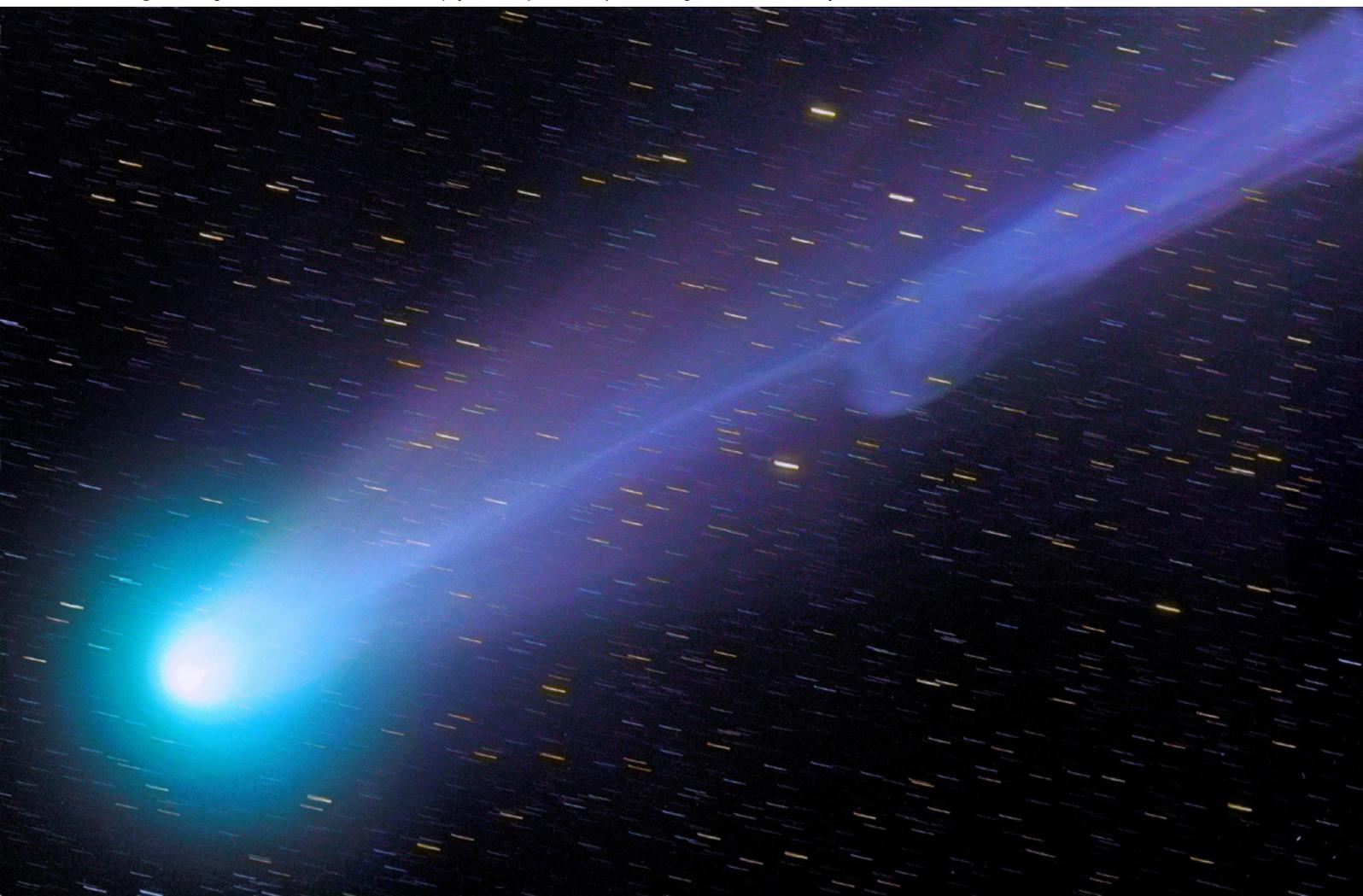
«La importancia de los cometas puede ir más allá de la de ser portadores de información sobre el origen de nuestro Sistema Solar. Actualmente tampoco tenemos una explicación definitiva para la presencia de agua en nuestro planeta y tampoco para la vida.»

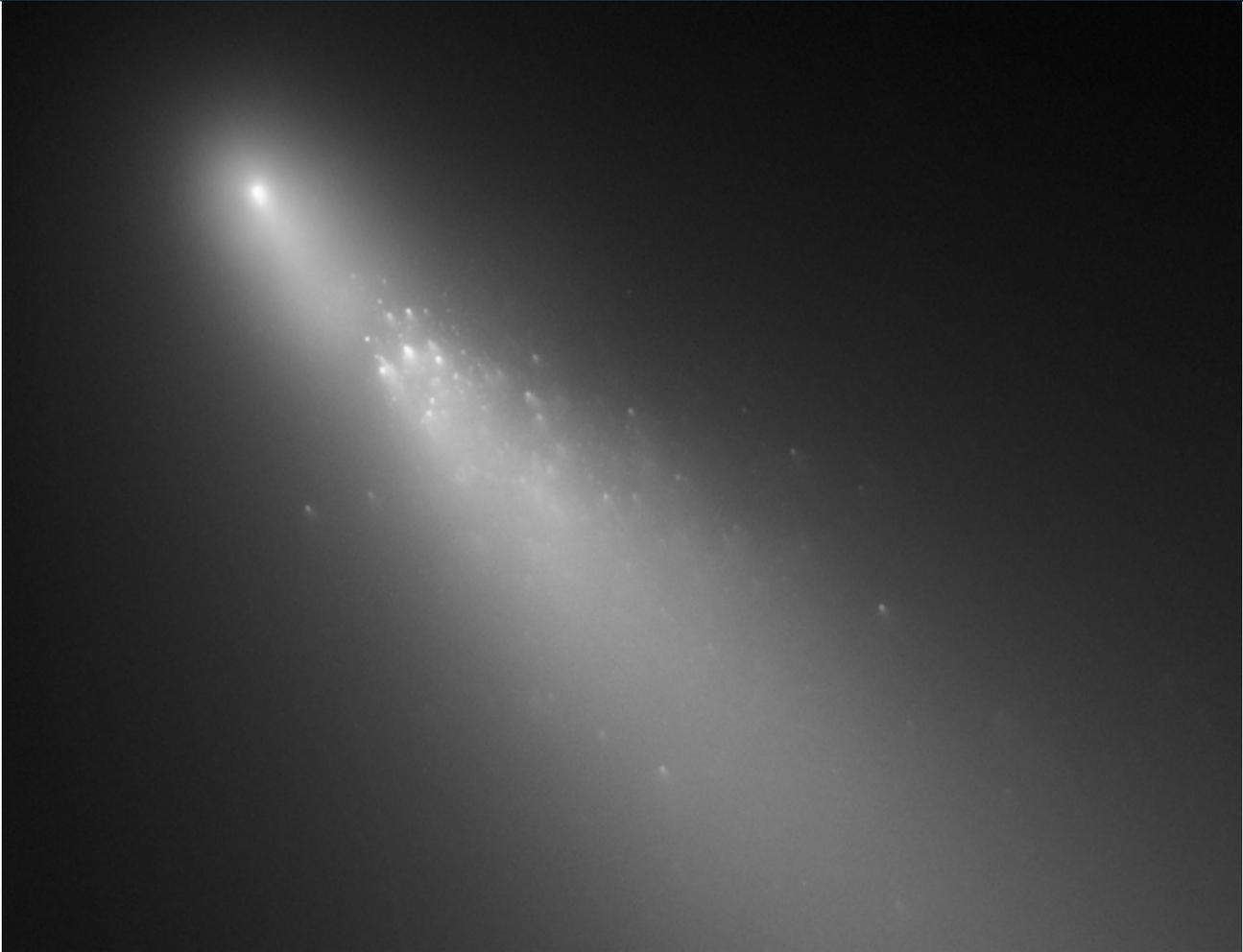
sospecha que puede haber entre 100 y 200 de esos compuestos minoritarios y su importancia reside en el hecho de que nos pueden ofrecer una información muy valiosa sobre la formación cometaria. Un típico ejemplo lo constituye la molécula de azufre, compuesto muy volátil que se ha detectado sólo en unos pocos cometas. Al ser tan volátil, la detección de azufre sugiere que los núcleos cometarios se han formado a temperaturas muy bajas, inferiores a los  $-200^{\circ}\text{C}$ , y que, al menos en partes de su interior, todavía permanecen a esas temperaturas. Este hecho se apoya también en la detección y análisis de otras moléculas minoritarias volátiles como el metano o el amoníaco. El principal problema que encontramos en confirmar esta idea es que, al tratarse de compuestos minoritarios, sólo son detectables desde Tierra en cometas muy brillantes, como el Hale-Bopp o si pasan relativamente cerca de nuestro planeta. Por ello, todavía son pocos los cometas que nos ofrecen esos indicios. Además, ocurre que si bien el material volátil cometario, a falta de más datos, parece sugerir una temperatura de formación muy baja, el análisis del material refractario sugiere

lo contrario. Los silicatos encontrados en cometas son cristalinos, lo que requiere una temperatura de formación muy elevada. Estas ideas sugieren que el polvo cometario ha tenido cierto grado de procesamiento durante la formación del Sistema Solar mientras que, por el contrario, los hielos se han preservado. Todos estos indicios se basan, principalmente, en observaciones desde Tierra y, por tanto, de las comas y colas cometarias. ¿cuál es la relación entre el material que vemos en las colas y el presente en los núcleos cometarios? Para responder tenemos que visitar un núcleo y analizar in situ su material.

Mientras ese conglomerado de hielos y polvo permanece alejado del sol se dice que el cometa está inactivo. La energía que les llega del sol no es suficiente para provocar que los hielos sublimen. Sin embargo, cuando se acercan al sol, los núcleos empiezan a calentarse y se empieza a desarrollar la actividad: los hielos se transforman en gas y éste arrastra consigo las partículas de polvo cometario. Se desarrollan entonces la coma, que envuelve al núcleo, y las espectaculares colas (ver Fig. 1),

**Fig 1.** Imagen del cometa C/1996 B2 (Hyakutake) tomada por M. Jager, E. Kolmhofer y H. Raab el 25 de Marzo del 1996 a las 01:00 UT.





**Fig 2.** Ruptura del fragmento B del cometa 73P/Schwassmann-Wachmann visto por el telescopio espacial Hubble (HST) el 20 de Abril del 2006. Créditos: NASA, ESA, H. Weaver (APL/JHU), M. Mutchier and Z. Levay (STSci)

formándose la imagen que todos tenemos de los cometas. Si estudiamos la evolución de la actividad cometaria encontramos un hecho sorprendente. La sublimación de componentes volátiles en cometas parece ocurrir de manera casi simultánea, cuando empieza a sublimar el agua. Este hecho es sorprendente porque sabemos que, por ejemplo, el monóxido de carbono es mucho más volátil que el agua. En el espacio, el primero debería sublimar cuando el núcleo alcanza una temperatura alrededor de los  $-200^{\circ}\text{C}$  mientras que el agua lo hace, aproximadamente, cuando el núcleo se encuentra a unos  $-120^{\circ}\text{C}$ . ¿Por qué ocurre esto? ¿Están los componentes más volátiles que el agua encerrados de alguna manera dentro de ella? En definitiva, ¿cómo se desarrolla la actividad? Para responder a esta pregunta necesitaríamos conocer, por ejemplo, cuál es la temperatura del núcleo cuando este está activo. El problema con las observaciones desde Tierra es que cuando el cometa empieza a desarrollar la actividad y podemos tener información de los compuestos que subliman, el núcleo deja de ser accesible al ocultarse tras la

coma. Para conocer cómo se desarrolla la actividad sería necesario observar el núcleo mientras los hielos subliman. De nuevo, habría que ir allí.

Con respecto a su estructura, sabemos que deben ser frágiles, se ha visto que un gran número de cometas sufren fracturas sin causa aparente (ver Fig. 2). Una magnitud que es necesario conocer para dilucidar la estructura interna cometaria es la densidad. Actualmente sólo disponemos de estimaciones indirectas de esta magnitud, indicando que la densidad de los núcleos cometarios debe ser inferior a la del hielo de agua. Al ser menor que la del hielo de agua (y por tanto menor que la del polvo), los cometas deben ser muy porosos. La cuestión a dilucidar es si los cometas son porosos a escala micrométrica o, si por el contrario, se trata de macroporosidad. El primer caso sugeriría un escenario de formación en el que granos helados de polvo colisionan a velocidades muy bajas, creciendo hasta formar un cuerpo del tamaño del núcleo cometario. Esta hipótesis de trabajo consideraría a los cometas como unos cuerpos

muy longevos, de primera generación en la vida del Sistema Solar. El segundo caso, el de la macroporosidad, definiría a los núcleos como un aglomerado de trozos, con tamaños del orden de los 100 m o mayores, que dejarían grandes vacíos en su interior. Esta estructura sugeriría que los cometas se han formado por reaccumulación de trozos de cuerpos helados padre que se fracturan tras colisionar. En este escenario, los cometas pertenecerían a una segunda generación de cuerpos en la evolución del Sistema Solar. Desgraciadamente, no es posible obtener desde la Tierra una estimación directa de la densidad de los núcleos cometarios o estudiar su estructura interna. Una vez más, teníamos que ir allí.

### LA MISIÓN ROSETTA

Dada la importancia de las preguntas que los cometas pueden ayudar a responder, estos cuerpos han sido, en las últimas décadas, objetivo preferente de la exploración con misiones espaciales. Como hemos sugerido, desde el punto de vista científico, esas misiones espaciales se justifican, esencialmente, con dos objetivos. Por un lado, la calidad de los datos tomados in-situ nos permite contrastar hipótesis y verificar modelos con los que interpretar los datos que se toman desde Tierra. Por otro, las misiones nos permiten acceder a información que no podríamos obtener de otro modo.

Hasta la fecha son 9 las naves espaciales que han sido construidas para explorar cometas: ICE (NASA/ESRO), Giotto(ESA), Vega 1 (URSS), Vega 2 (URSS), Suikei (Japón), Sakigake (Japón), Deep Space 1 (NASA), Stardust (NASA) y Deep Impact (NASA), sin contar con la fallida Contour (NASA) y 6 los cometas estudiados (Giacobini-Zinner, Halley, Borrelly, Wild-2, Tempel 1 y Hartley-2). Aunque el avance en el conocimiento de la naturaleza de los cometas fue importante gracias a estas misiones, aún quedan preguntas que las pasadas misiones espaciales no podían responder ya que estaban diseñadas para proporcionarnos una instantánea del fenómeno cometario. Para responder a esas preguntas necesitábamos una misión diferente: esa es la misión Rosetta.

Durante 11 años, los que transcurrieron desde la aprobación de la misión Rosetta en 1993 hasta su lanzamiento en el 2004, instituciones científicas y técnicas, universidades y empresas aunaron sus esfuerzos en diseñar, verificar y construir todos los instrumentos que permitirán estudiar el núcleo y la coma de un cometa con un nivel de detalle sin precedentes en la historia de la exploración espacial. La misión Rosetta consta de un módulo orbitador de 2.8

m x 2.1 m x 2.0 m y 3000 kg de peso total que aloja 11 instrumentos científicos y un experimento que hace uso de la antena de transmisión de datos del orbital a Tierra. La carga útil científica suma solo 165 kg. Además, Rosetta llevaba un módulo de aterrizaje Philae con 9 instrumentos especialmente diseñados para caracterizar la superficie e interior del núcleo cometario, así como para estudiar los procesos físico-químicos que ocurren en los primeros metros de la atmósfera cometaria.

Cuatro de los once instrumentos a bordo del módulo orbitador están diseñados para observar el núcleo cometario y las comas de gas y polvo en longitudes de onda que comprenden desde el ultravioleta hasta las microondas pasando por el infrarrojo y el visible. Cada intervalo espectral proporciona información sobre diferentes características físico-químicas del cometa como un todo. Aunque el valor científico de la misión lo proporciona el conjunto global de todos los datos aportados, sin lugar a dudas el aspecto más atractivo lo constituye la visión del núcleo y de las comas (gas y polvo) que la cámara OSIRIS, el “ojo científico” de la nave Rosetta, nos está aportando. OSIRIS es resultado de un importante esfuerzo de cinco países europeos: Francia, Italia, Alemania, Suecia y España. OSIRIS consta de dos cámaras, una llamada NAC (Narrow Angle Camera) con un campo de visión de 2 x 2 grados (aproximadamente), lo que en el argot fotográfico se puede considerar como un super-macro (el núcleo se podrá ver con una resolución espacial del orden del centímetro por pixel a una distancia de 1 km entre Rosetta y el núcleo cometario); y otra llamada WAC (Wide Angle Camera) con un campo de visión unas 5 veces superior al de NAC (y por tanto menor resolución espacial), que lo podemos asemejar a un gran angular. Ambas cámaras están dotadas de filtros para estudiar el cometa en su globalidad, pero se puede considerar que NAC está más orientada a escudriñar el núcleo cometario y la evolución del mismo a medida que el cometa desarrolla su actividad, mientras que WAC se focaliza más en estudiar la componente gaseosa (OH, CN, NH<sub>2</sub>, NH, OI, CS, Na) de la coma cometaria que resulta de la fotodisociación y de los procesos químicos de moléculas producidas originalmente desde la superficie o sub-superficie del núcleo cometario, o del procesado del polvo cometario. El Instituto de Astrofísica de Andalucía –IAA– (perteneciente a la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas) ha sido responsable del diseño y fabricación de la tarjeta que controla los mecanismos de OSIRIS, es decir, de las ruedas de filtros y de las tapas frontales de los “objetivos” de

Imagen del cometa 67P adquirida con la cámara OSIRIS.  
Créditos: ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team  
MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA



las cámaras NAC y WAC. Otra institución española, el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), se responsabilizó del diseño y fabricación de las ruedas de filtros tanto de NAC como de WAC, y de la fuente de alimentación de OSIRIS, mientras que el Instituto de Microgravedad "Ignacio da Riva" (IDR) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) realizó el estudio estructural y térmico de OSIRIS.

La distribución en número, masa, momento y velocidad de las partículas de polvo en la coma y cola cometaria corresponden determinarlas a otro instrumento con contribución española: GIADA. En este caso, el IAA ha diseñado y desarrollado toda la electrónica principal del instrumento así como el software de control del mismo. Este instrumento tiene un funcionamiento muy complejo a la vez que ingenioso e



innovador ya que intervienen unas cortinas de luz láser y un conjunto de microbalanzas para determinar las características del polvo cometario anteriormente mencionadas. Para completar el estudio del polvo cometario, el instrumento MIDAS aportará datos para conocer el tamaño, volumen y forma de los granos de polvo, mientras que COSIMA, analizará la composición orgánica o inorgánica de los mismos.

Rosetta se lanzó al espacio el 2 de Marzo del 2004 a bordo del cohete Ariane 5 G+, ha viajado a más de 880 millones de km, para lo que hizo uso de tres asistencias gravitatorias por la Tierra y una por Marte, ha sobrevolado dos asteroides (Steins y Lutecia) obteniendo resultados científicos sobre los mismos, y ha pasado treinta y un mes en hibernación en el espacio a distancias superiores a la órbita de Júpiter. El día 20 de Enero 2014, desde ESOC se lanzó a Rosetta la orden de despertar de su largo letargo, lo cual ocurrió con éxito.

Inmediatamente después comenzaron a realizarse las pruebas de funcionamiento de los distintos instrumentos. Todos estaban en perfectas condiciones para comenzar lo que se conoce como “misión en fase nominal” que termina oficialmente en Diciembre 2015. La extensión de la misión hasta finales de septiembre de 2016 es prácticamente ya un hecho con lo que podremos conocer cómo un cometa desarrolla su actividad a medida que se acerca al Sol y cómo ésta decrece a medida que se aleja, procesos que no son ni mucho menos simétricos.

Algunos de los instrumentos, como OSIRIS, empezaron poco después de las pruebas de verificación a tomar datos científicos. Los datos de OSIRIS eran necesarios por dos motivos. En primer lugar para determinar con exactitud la posición y órbita del cometa 67P (perteneciente a lo que se conoce como “cometas de la familia de Júpiter”, i.e., con afelio en torno a 5 UA y plano orbital de baja inclinación con respecto a la eclíptica) para que Rosetta pudiese acercarse a él en el momento y con la velocidad adecuados. En

segundo lugar para poder determinar con precisión los parámetros rotacionales, la forma y el nivel de actividad del cometa para poder planificar adecuadamente el aterrizaje de Philae. Así, a finales de Marzo del 2014 ya disponíamos de una gran cantidad de información. Se pudo determinar que el cometa 67P gira en torno a sí mismo con un período de rotación de 12.46 (12h25m34s) horas y que, a baja resolución, tenía una forma parecida a un balón de rugby de aproximadamente 5x3 km. El análisis de estructuras en su coma de polvo indicaba la existencia de zonas activas en el ecuador y a -45 y +60 grados de latitud. A finales de Abril 2014, OSIRIS adquirió imágenes del cometa 67P cuando éste estaba a aproximadamente 4 UA del Sol, detectando una coma de polvo de unos 1300 km envolviendo al núcleo. Análisis de datos previos y posteriores a esas fechas nos permiten concluir que 67P sufrió un estallido repentino de actividad, algo habitual y observado en muchos cometas pero que no se había detectado en las múltiples campañas de observación a las que este cometa ha sido sometido desde su elección como objetivo de la misión Rosetta. Esto nos indica que no existe mejor método científico que observar lo que ocurre a nuestro alrededor, y ahora, sin lugar a dudas, “estamos en el lugar adecuado en el momento adecuado” para conocer más sobre el origen, formación y evolución del Sistema Solar como un todo, y sobre aspectos cruciales en el planeta que habitamos.

Rosetta continuó acercándose al 67P y a principios de Julio, cuando se encontraba a 37000 km, la resolución de OSIRIS nos permitía ya intuir la singular forma de su núcleo, la que fue bautizada como el “patito de goma”. Tan sólo 1 mes después, a 1000 km, la forma del núcleo del 67P se nos revelaba en toda su complejidad. Globalmente, 67P tiene una apariencia bilobulada, como constituido por dos cuerpos, bautizados como “cabeza” y “cuerpo” unidos por el “cuello”. El análisis de las imágenes nos mostró que entonces, a 4 UA, la mayor parte de la actividad, la producción de gas y polvo, parecía proceder del “cuello”.

**Fig 3.** Imagen del “cuello” (región denominada Hapi) del cometa 67P adquirida con la cámara OSIRIS. Resolución espacial es de 1 m/pixel. En la portada de la revista se muestra el anaglifo correspondiente.

La superficie del cometa 67P muestra una extraordinaria complejidad a todos los niveles (ver Fig. 3) que se extrapola a cómo la envuelta de gas y polvo presenta estructuras en forma de chorros (ver Fig. 4). Tanto lo que vemos a nivel superficial como en la coma interna de hasta unos 5 de km probablemente sea el resultado de una mezcla de diferentes y complejos procesos físicos. En la superficie encontramos zonas que están cubiertas completamente por polvo, probablemente granos que, empujados por el gas, no han podido escapar al campo gravitatorio del cometa. En algunas de estas zonas se puede advertir la presencia de estructuras similares a las dunas, como si se originasen por fuertes vientos. Otras zonas del cometa, completamente libres de polvo, se muestran con una apariencia rocosa, estructural, que bien podrían mostrarnos el “esqueleto” del cometa 67P. A pesar de esa estructura rocosa sabemos que el material del 67P es frágil. Una característica dominante en la superficie del 67P es la presencia de fracturas, en todas las escalas, desde pequeñas grietas hasta una gran fisura que recorre el cuello y a estructuras similares a las fallas en la “cabeza” del núcleo. Estas fracturas probablemente son el resultado de distintos procesos, incluyendo tensiones térmicas dadas las grandes variaciones de temperatura a las que está sometido el núcleo y, posiblemente, tensiones estructurales entre la “cabeza” y el “cuerpo”.

La fragilidad del cometa también se justifica en una de las medidas más importantes de las obtenidas hasta la fecha, la de su densidad y, por tanto, porosidad. OSIRIS ha desempeñado un papel determinante en la caracterización del núcleo del cometa 67P no sólo con el objetivo científico de extraer información relevante sobre ese cometa sino también para proporcionar información necesaria para la planificación y desarrollo del aterrizaje del módulo Philae. Así, uno de los objetivos prioritarios de OSIRIS era poder determinar, mediante reconstrucción 3D a partir de las imágenes que tomase, la forma, y por tanto el volumen, del núcleo del cometa 67P. Hay que decir que todavía no disponemos de la forma completa del

núcleo del cometa. Ello es porque hay una región, parte del hemisferio sur, que, por la orientación del eje de rotación, todavía no ha recibido la luz solar y no se tienen imágenes que se puedan utilizar para reconstruir la forma total. Aún así, ya sí disponemos de una forma bastante aproximada, con resoluciones del orden del metro (y en algunas regiones inferiores) en la zona que ha sido iluminada, más del 80%. La obtención del modelo digital nos ha permitido determinar que el volumen del 67P es, aproximadamente, 20 km<sup>3</sup>. Para medir la masa y el campo gravitatorio del núcleo cometario (y por lo tanto para extraer información sobre su estructura interna) se hace uso de la propia antena de transmisión de datos de Rosetta. La frecuencia a la cual transmite esos datos se ve modificada (efecto Doppler) por la presencia de cierta masa (la del núcleo cometario) que genera un campo gravitatorio. Así se ha podido determinar que la masa del 67P es, aproximadamente, 10<sup>13</sup>Kg que, combinada con el volumen anterior, nos da una densidad de, aproximadamente, 500 Kg/m<sup>3</sup>. Esta es la primera vez en la historia que se determina, de manera directa, la densidad de un núcleo cometario, magnitud imprescindible para estudiar los procesos que tuvieron lugar durante su formación y, por tanto, durante las primeras etapas de formación del sistema solar. Esa densidad resulta ser la mitad de la del hielo de agua, el componente volátil principal. Eso nos confirma, como mencionábamos anteriormente, que el cuerpo debe ser poroso. Pero aún podemos conocer más. Combinando la información de OSIRIS, que nos proporciona el contexto de las partículas de polvo presentes en la coma, con los datos que está proporcionando el otro instrumento con participación española, GIADA, hemos podido determinar que la razón polvo-gas en la coma es, aproximadamente, 4, es decir, sólo el 25% en masa del material en la coma es gas. Teniendo en cuenta esos valores podemos estimar, suponiendo que la cantidad relativa de polvo en la coma es la misma que en el núcleo, la porosidad del núcleo y ésta resulta ser entre un 70 y un 80%. El núcleo del cometa 67P está prácticamente vacío.

**Fig 4.** Imagen del cometa 67P adquirida con la cámara OSIRIS en dónde se puede ver tanto la complejidad de su superficie como de la actividad en forma de chorros colimados de gas y polvo.  
Créditos: ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team.  
MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA

Como hemos comentado, otros de los motivos por los que era necesario reconstruir un modelo 3D de la forma del 67P era para planificar correctamente el aterrizaje del módulo Philae. Utilizando la forma reconstruida con OSIRIS finalmente se eligió un sitio, tanto por su interés científico como por la seguridad que implicaba, situado en la "cabeza" del 67P. El 12 de Noviembre se soltó el módulo, dirigiéndose a una velocidad de 1 m/s hacia el sitio elegido. Hay que decir que la maniobra de desprendimiento de Philae y el vuelo ha-

cia la superficie del núcleo de 67P fueron un absoluto éxito, por primera vez (¡otra primera vez!) en la historia se había aterrizado en la superficie de un cometa. Sin embargo, también hay que decir que un desafortunado fallo en los arpones de anclaje de Philae a la superficie dio lugar a varios rebotes del módulo de forma tal que su posición final no permitió durante siete meses la recarga de sus baterías al no haber sido éstas iluminadas por el Sol. Ha habido que esperar hasta el 13 de junio para que Philae, probablemente activo duran-



te algún tiempo previo a esta fecha, pudiera comunicarse con la nave Rosetta y ésta con la Tierra. Hasta su hibernación sólo se pudo llevar a cabo la misión nominal, observaciones de los instrumentos durante 62 horas, pero dado este feliz despertar la misión Rosetta entra en una nueva fase en la que se ha de optimizar las órbitas de la nave para recibir todos los datos que Philae ha adquirido y continuará adquiriendo. Los datos de los instrumentos de Philae obtenidos en Noviembre, por su complejidad, todavía están siendo analizados, mientras que los nuevos están aún por llegarnos. Entre ellos hay que estar atentos a los de CONCERT, el instrumento que haciendo pasar ondas de radio a través del núcleo, recogidas por la sonda, nos permitirá conocer más sobre la estructura interna del 67P, concretamente si la gran porosidad que antes mencionábamos es microporosidad, del tamaño de los granos de polvo que se observan, o por contrario si se trata de macroporosidad, grandes vacíos en el interior del núcleo, lo que nos proporcionaría enormes pistas sobre la formación de este cometa. Los instrumentos de Philae también nos han dejado otros datos importantes como el tamaño de los granos de polvo que están sobre la superficie (del orden del milímetro) o que zonas de la superficie son de extraordinaria dureza, pese a su fragilidad. El martillo que integraba el instrumento MUPUS acabó por fallar sin llegar a perforar la superficie del cometa. Las medidas de este instrumento combinadas con las del propio sonido que hizo el módulo al aterrizar (medido con el instrumento SESAME) sugieren que unos centímetros debajo del manto de polvo visible en las imágenes de OSIRIS hay hielo compacto, muy duro. Otras de las medidas esperadas, en relación a una de las preguntas con las que abrimos este artículo, son las de COSAC, que ha "olido" la superficie buscando moléculas orgánicas. Las ha encontrado pero es necesario esperar al análisis completo para saber de qué tipo.

Además de Philae, OSIRIS y GIADA, los demás instrumentos también están proporcionando una gran cantidad de información que necesita tiempo para ser procesada y, sobre todo, para ponerla en contexto y poder extraer información relevante para conocer más sobre los procesos de formación del 67P. Así, por ejemplo, VIRTIS nos está proporcionando la temperatura superficial del núcleo y nos ha permitido saber que, en escalas de varios metros, no hay hielo puro sobre la superficie. Este dato se ve confirmado por otro de los instrumentos, ALICE. MIRO y ROSINA nos están permitiendo estimar las producciones de los distintos compuestos, lo que nos permitirá avanzar en el concepto de actividad cometaria al aplicar los correspondientes modelos termofísicos.

También en relación a una de las preguntas con las que comenzábamos este artículo, uno de los datos más esperados de la exploración del 67P era la medida de la cantidad de deuterio presente en su núcleo, trabajo que sería llevado a cabo por ROSINA. El objetivo, cómo no, era ver si había relación entre el agua de ese cometa y el agua terrestre. Aquí, antes de mencionar el dato obtenido, quizás habría que describir la situación previa sobre el origen del agua terrestre. Actualmente no existen dudas sobre el carácter exógeno del agua terrestre. El problema radica en saber de dónde procede. Durante mucho tiempo se pensó que podría proceder de los cometas puesto que son los cuerpos menores del sistema solar que tienen hielo entre sus componentes. Sin embargo, las (pocas) medidas de la razón D/H realizadas en cometas, todos procedentes de la nube de Oort, indicaban que éstos estaban enriquecidos con respecto a la razón terrestre. A la vez ocurría que las medidas en meteoritos de tipo condrita de origen asteroidal mostraban una razón D/H similar a la terrestre. Estos dos hechos apuntaban a que el origen del agua terrestre era asteroidal y no cometario. Sin embargo desde el 2011 se ha medido la razón D/H en dos cometas cuyo origen está, presumiblemente, en la región transneptuniana. Estos dos cometas tienen exactamente la razón D/H de nuestros océanos, menor que la de los cometas de la nube de Oort. Estas determinaciones recientes recuperaban el posible papel de los cometas en el origen del agua terrestre. Datos proporcionados por ROSINA y la naturaleza de 67P, presumiblemente un cometa de la región transneptuniana, nos han vuelto a complicar la cuestión. ROSINA ha podido determinar que la razón D/H del 67P es la más alta de las medidas en cuerpos menores, aproximadamente 3 veces superior a la terrestre. No existe, por tanto, relación entre el agua del 67P y la de la Tierra. Sin embargo, esto nos deja una pieza del puzzle que es necesario encajar. Aunque aún no hay estadística suficiente, los datos sugieren que entre los cometas de la región transneptuniana hay una gran dispersión de razones D/H, desde valores terrestres hasta valores 3 veces superiores ¿cómo se llevó a cabo la formación del sistema solar para encontrar esa dispersión en la razón D/H en, presumiblemente, la misma región de formación? A la complejidad de este panorama se suma el descubrimiento del  $N_2$  en la coma de gas que rodea al núcleo de 67P. Esta molécula contiene la mayor cantidad de nitrógeno presente en la nebulosa protosolar, y existe en los planetas gigantes, Plutón y Tritón. Sin embargo, nunca se había detectado en cometas. El descubrimiento en la coma de 67P, con un cociente  $N_2/CO$  muy por debajo del protoso-

lar indica que los granos cometarios se formaron a temperaturas inferiores a 30 K. Esto, unido al valor del D/H, parece indicar que 67P procede del cinturón de Kuiper. Por otra parte, los cometas pudieron aportar el N<sub>2</sub> de la Tierra, pero ese cociente N<sub>2</sub>/CO descarta que el origen sea de cometas pertenecientes a la familia de Júpiter.

Todos los instrumentos de ROSETTA nos están proporcionando información que es muy valiosa por sí misma. Sin embargo es en la puesta en común donde se espera poder avanzar realmente en la comprensión de la naturaleza del 67P y responder a la primera pregunta que nos hacíamos al comenzar el artículo: ¿Cómo se formó el Sistema Solar? Pero antes ¿cómo se formó el cometa 67P?. A partir de las imágenes de OSIRIS parece evidente que el 67P está formado por dos cuerpos diferentes que, en algún momento de su historia, colisionaron permaneciendo juntos. Sin embargo esta afirmación tiene implicaciones que es necesario justificar. Sabemos, por ROSINA y MIRO, que hay gases muy volátiles relativamente cerca de la superficie ¿Cómo se produjo esa colisión para preservar esos componentes volátiles en esa localización?. Si hubo colisión debió ser a velocidades muy bajas (inferior a la decena de m/s). Sin embargo eso no sería esperable según la

distribución de masa y velocidades aceptadas en la región de formación del 67P. ¿Se trata de un único cuerpo que ha evolucionado de esa forma por actividad? ¿Hay que rediseñar la estructura, masa y dinámica, de la parte externa del Sistema Solar?

ROSETTA, plagada de muchas primeras veces, está siendo un rotundo éxito desde el punto de vista tecnológico. El enorme y largo esfuerzo de diseño y construcción de la misión encuentra su recompensa en saber que estamos orbitando un núcleo cometario por primera vez en la historia de la exploración espacial y que, no contentos con eso, también hemos aterrizado allí. Desde el punto de vista científico, lo será. Esa parte de la historia sólo acaba de comenzar y no sabemos cuántas generaciones de científicos se entusiasmarán, como nosotros, con los datos que Rosetta nos está dando día a día.

Co-Investigadores españoles en Rosetta son: en el IAA-CSIC Pedro J. Gutiérrez, Luisa M. Lara, José Juan López-Moreno, Fernando Moreno, Julio Rodríguez; en el Centro de Astrobiología (CSIC-INTA) Rafael Rodrigo; en el INTA Maria Dolores Sabau; y en el IDR de la UPM Angel Sanz.

«En algunas zonas se puede advertir la presencia de estructuras similares a las dunas, como si se originasen por fuertes vientos. Otras zonas del cometa, completamente libres de polvo, se muestran con una apariencia rocosa, que bien podrían mostrarnos el "esqueleto" del cometa 67P. »

# CERVANTES Y SUS PERSONAJES PROPUESTOS

NameExoWorlds, un concurso mundial de la IAU para asignar nombres a exoplanetas y a sus estrellas anfitrionas.

Por primera vez, y en respuesta al interés creciente del público en participar en los descubrimientos astronómicos, la Unión Astronómica Internacional (IAU) ha organizado un concurso mundial para dar nombres populares a un conjunto seleccionado de exoplanetas y a sus estrellas anfitrionas.

Los nombres propuestos serán presentados por agrupaciones y organizaciones sin ánimo de lucro interesadas en Astronomía, y los votos se emitirán por personas de todo el mundo a través de la página web *NameExoWorlds*<sup>1</sup> donde se puede consultar toda la normativa y plazos. Esta plataforma ha sido desarrollada por la IAU en asociación con *Zooniverse*<sup>2</sup>. La intención es que millones de personas en cualquier sitio del globo puedan tomar parte en la votación.

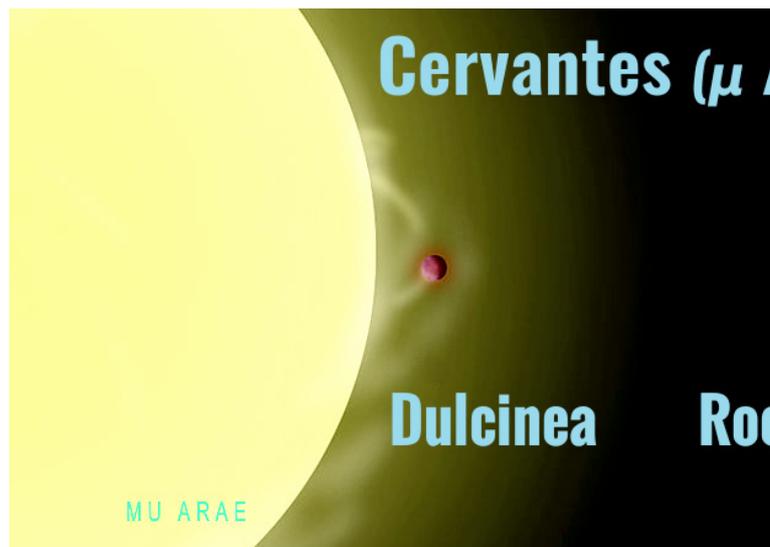
Los nombres ganadores no sustituirán a las denominaciones científicas, que ya existen para todos los exoplanetas y sus estrellas, pero serán sancionados por la IAU como nombres adoptados, y se harán públicos como tales, dando el debido crédito a las organizaciones que los propusieron. Esos nombres podrán ser utilizados libremente en todo el mundo, junto con, o en lugar de la denominación científica inicial. Se espera que los nombres ganadores de la treintena de sistemas propuestos reflejen la diversidad de las culturas en todos los continentes.



Benjamín Montesinos  
Centro de Astrobiología (CSIC-INTA)  
*bmm@cab.inta-csic.es*

Javier Armentia  
Planetario de Pamplona  
*javier.armentia@gmail.com*

En nombre del equipo  
responsable de la propuesta



# COMO NOMBRES DE UNA ESTRELLA Y SUS PLANETAS

La nomenclatura de objetos celestes se ha venido realizando durante milenios, mucho antes de que existiera un sistema científico de asignación de nombres. Incluso hoy en día, casi todas las civilizaciones y culturas utilizan nombres populares para nombrar las estrellas y los planetas que se observan a simple vista, así como su distribución aparente en el cielo (constelaciones, asterismos, etc).

Cuando la IAU se creó en 1919, los astrónomos profesionales delegaron en ella la tarea de dar nombres científicos oficiales a los objetos celestes. Paralelamente, a lo largo de su historia, la IAU ha apoyado la contribución del público en general a la asignación de nombres de objetos del Sistema Solar, como asteroides y cometas.

El 14 de agosto de 2013, la IAU publicó la declaración "*Public Naming of Planets and Planetary Satellites*" ("Nomenclatura Pública de Planetas y Satélites Planetarios"), que esbozó un primer conjunto de reglas que permitieran al público involucrarse en la asignación de nombres para los exoplanetas. La IAU, a través de su "*Public Naming of Planets and Planetary Satellites Working Group*" ("Grupo de trabajo para la Nomenclatura Pública de Planetas y Satélites Planetarios") ha desarrollado un proyecto para potenciar esta iniciativa en colaboración con Zooniverse, uno de los lugares de internet que alberga los proyectos de ciencia ciudadana más populares y con mayor éxito.

El concurso *NameExoWorlds* tiene como objetivo hacer partícipe a la comunidad en el proceso por el cual nombres propuestos y escogidos por el público serán asignados a una amplia muestra -bien estudiada y confirmada- de exoplanetas y sus correspondientes estrellas. El proceso de votación *NameExoWorlds* se concibe como un reto y un concurso global, intercultural, educativo, y ambicioso, tanto para la asociación IAU-Zooniverse, como para el público.

Desde que se hizo público el concurso, la Sociedad Española de Astronomía (SEA) se interesó en participar, motivada por el hecho de que los nombres de los exoplanetas y su estrella correspondiente reflejen y expandan riquezas culturales autóctonas, y por la escasez de referencias de la cultura hispánica en la nomenclatura de objetos celestes.

Durante la Reunión Científica celebrada en Teruel en septiembre del año pasado comenzó a fraguarse la idea de participar en el proceso de nomenclatura de uno de los sistemas planetarios propuestos por la IAU. Una propuesta muy atractiva, que es la que en estos momentos estamos intentando llevar hacia adelante, es la de tomar un sistema planetario múltiple, en concreto  $\mu$  Arae con sus cuatro exoplanetas conocidos, y bautizar la estrella con el nombre de *Cervantes* y los planetas como *Quijote*, *Rocinante*, *Sancho* y *Dulcinea*. Este es el texto propuesto a la IAU para apoyar nuestra idea:

Propuesta española para el sistema  $\mu$  Arae

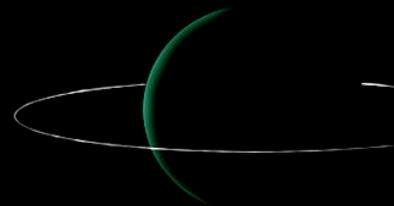
Ara)



Rocinante



Quijote



Sancho

*“En algún lugar en la constelación Ara, en torno a una estrella sin un nombre propio, sólo conocida por la letra  $\mu$ , cuatro planetas trazan sus trayectorias. Alrededor de un autor de fama universal, también giran sus cuatro personajes principales. Nos proponemos elevar a Cervantes a la condición del galáctico Apolo, dando su nombre a la estrella central del sistema, mientras que Don Quijote (Quijote), Rocinante, Sancho y Dulcinea se transfiguran en su escolta planetaria. Quijote ( $\mu$  Arae b), el protagonista, en una órbita algo excéntrica, como corresponde a su carácter, junto a su fiel compañero Rocinante ( $\mu$  Arae d), en el centro de la escena. El bueno de Sancho ( $\mu$  Arae e), el ingenioso escudero, moviéndose lentamente por las ínsulas exteriores del sistema. La Dulcinea encantada ( $\mu$  Arae c), tan difícil de contemplar para Don Quijote en su verdadera forma, cerca del corazón del escritor.*

*La importancia de Miguel de Cervantes en la cultura universal no puede ignorarse. Su obra principal, el Quijote, considerada la primera novela moderna de la literatura mundial y uno de los libros más influyentes en todo el canon literario, ha sido considerada en numerosas ocasiones como la mejor obra de ficción jamás escrita. Sin embargo, mientras que Shakespeare ya tiene nombres de sus personajes como satélites de Urano, Cervantes ha sido hasta ahora excluido de las esferas cósmicas. Con esta propuesta, apoyada por el prestigioso Instituto Cervantes, y llegando justo a tiempo para celebrar el 400 aniversario de la publicación de la segunda parte de la novela, reclamamos para el famoso caballero de la Mancha, sus compañeros y su creador el lugar que se merecen entre las estrellas.”*

Debido a la normativa, la SEA no es una institución elegible para realizar una propuesta, de modo que el Planetario de Pamplona, con Javier Armentia al frente, es quien oficialmente la ha enviado.

Se ha creado una página web dedicada<sup>3</sup>, donde se puede seguir la evolución de esta iniciativa. Desde aquí os animamos a difundir nuestra propuesta y a votar, muy probablemente desde finales de junio y durante el mes de julio. Sería fantástico poder homenajear a Cervantes y su gran obra en los cielos.

#### NOTAS

<sup>1</sup> <http://www.nameexoworlds.org>

<sup>2</sup> <https://www.zooniverse.org>

<sup>3</sup> <http://www.estrellacervantes.es>



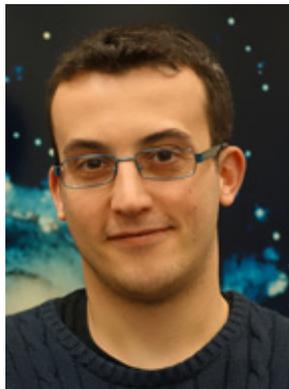
# Name



# ExoWorlds

# PLANETAS EXTREMOS, O COMO DAR LA VUELTA

No hay duda de que vivimos en un momento excepcional para todos los que nos preguntamos a menudo como podría ser la vida fuera de nuestro planeta. No solo hemos mandado sondas a casi todos los planetas de nuestro sistema solar, sino que además tenemos al Curiosity dándose paseos por la superficie de Marte. Pero sin duda, es también un momento increíble por la cantidad de exoplanetas, o planetas fuera de nuestro sistema solar, que se han descubierto, y que se cuentan ya por miles. Entre ellos siempre se destacan aquellos planetas que se encuentran a distancia de la estrella que permita la presencia de agua líquida en su superficie, puesto que se presume que la probabilidad de encontrar vida en ellos es mucho más alta.



**Roberto Sanchís Ojeda**  
NASA Sagan Fellow en UC Berkeley  
[sanchisojeda@berkeley.edu](mailto:sanchisojeda@berkeley.edu)

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

En mi tesis doctoral, me decidí por irme justo en la dirección opuesta, y estudié planetas en los que cuesta creer que pudiera haber ni el más mínimo resquicio de vida, ya que sus superficies alcanzan temperaturas de miles de grados centígrados. Primero, había que encontrar los planetas, y para ello me centré en buscar planetas que transitan sus estrellas, usando los datos del telescopio Kepler. Y es que Kepler, que pasó cuatro años obteniendo imágenes de más de 150,000 estrellas cada media hora, tiene una precisión tan alta que nos permite descubrir planetas incluso más pequeños que la Tierra. Este punto es particularmente importante, porque como describo en mi tesis, la gran mayoría de los planetas con periodos orbitales más cortos que un día son bastante pequeños, y se necesita un telescopio como Kepler para encontrarlos.

Buscar planetas con periodos orbitales tan cortos no es tan sencillo como parece, puesto que al transitar tan frecuentemente la estrella, estos planetas pasan una gran parte de su órbita pasando por delante de la estrella, lo cual complica el uso de las herramientas que se usan comúnmente para buscar planetas. En la tesis, desarrollé el uso de una nueva (pero bastante vieja) herramienta para buscar planetas, las transformadas de Fourier. Y es que al completar cada órbita en tan poco tiempo, estos planetas han llegado a completar miles de órbitas mientras Kepler los observaba. Los tránsitos de los planetas pasan a ser como cualquier otra señal de alta frecuencia, con una descomposición de Fourier muy particular, lo cual me permitió identificar decenas de planetas con periodos orbitales cortos usando los datos de Kepler.

Hemos aprendido muchísimas cosas de este estudio. La primera de ellas es que los planetas con periodos cortos son muy convenientes, ya que al estar tan cerca de su estrella, las interacciones gravitatorias son más intensas, lo que a su vez hace que la velocidad radial de la estrella aumente considerablemente. Esto nos permitió medir la masa del planeta más interesante que descubrí como parte de la tesis, Kepler-78b. Con un periodo orbital de 8.5 horas, el planeta orbita una estrella un poco más fría que el Sol y bastante más joven. El planeta tiene un radio medio que es solo un 20% más grande que el de la Tierra. Gracias a la dedicación de grandes recursos por parte del telescopio Keck y el TNG, con el instrumento HARPS-N, ahora sabemos que la masa del planeta es un 70% superior a la masa de la Tierra.

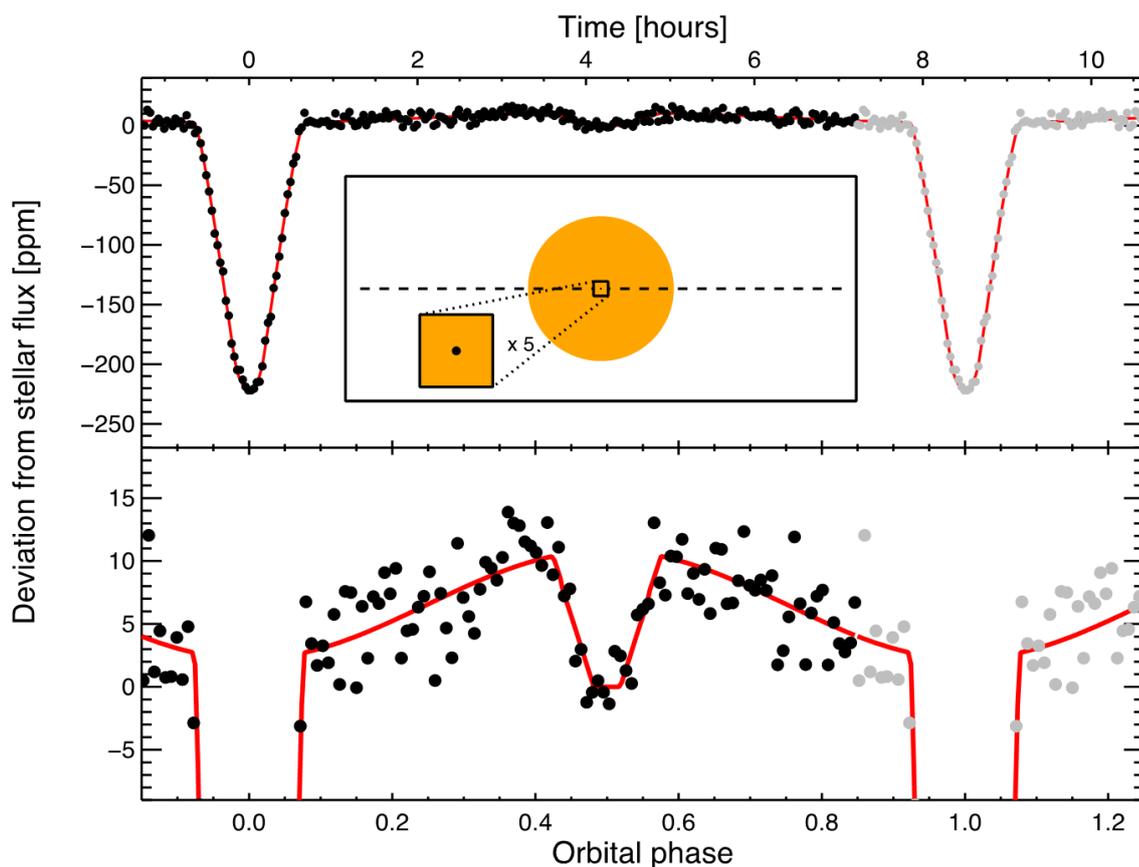
# A TU ESTRELLA EN MENOS DE UN DÍA

Su composición es por tanto bastante parecida a la de la Tierra, y Kepler-78b todavía continúa siendo el planeta más pequeño fuera del sistema solar para el que tenemos una medida de la masa y el radio.

Además del descubrimiento de Kepler-78b, en la tesis describo las propiedades de otros 20 nuevos candidatos a planeta con periodos orbitales por debajo de un día. En combinación con todos los que el equipo Kepler había descubierto en este rango de periodos orbitales, en total tenemos una lista de 106 candidatos a planeta, con los cuales se pueden hacer muchos estudios interesantes. Por ejemplo, en la tesis describo cómo calcular el número total de estrellas con este tipo de planetas, y doy una esti-

mación de que una de cada 200 estrellas del tipo G o K tienen un planeta así. También demuestro que la gran mayoría tienen tamaños por debajo del doble del tamaño de la Tierra, lo cual se interpreta como que estos planetas son todos rocosos y sin apenas gas en sus superficies, lo cual puede ser el producto de la intensa radiación que reciben de sus estrellas.

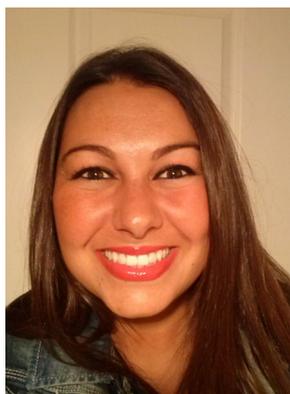
En la tesis además trato otro problema bastante interesante, el de entender la formación de sistemas planetarios mediante la medida del ángulo entre la órbita del planeta y el eje de rotación de la estrella. Así que si este tema te interesa, o te interesan los planetas extremos como Kepler-78b, no dudes en consultar mi tesis.



Curva de luz del planeta Kepler-78b (Sanchis-Ojeda et al. 2013). Los puntos negros representan los datos obtenidos con el telescopio Kepler, combinando más de 3000 órbitas en una sola curva. Los puntos grises son una repetición de la misma curva. El panel central representa el sistema planetario, con el minúsculo punto representando a escala el planeta Kepler-78b, cuyo tamaño es solo un 20% más grande que el de la Tierra, y la línea discontinua representando su órbita, cuyo radio es solo tres veces el radio de la estrella. Finalmente, el panel inferior muestra la clara detección de un déficit de luz cuando el planeta pasa detrás de la estrella. El planeta está reflejando una cantidad de luz bastante alta, y eso se traduce en la detección del eclipse secundario.

# DISEÑO DE UN ESPECTRÓGRAFO DE CAMPO

En la era de los telescopios de gran apertura la Física Solar está desarrollando un gran esfuerzo para diseñar telescopios e instrumentos de vanguardia que permitan observar el Sol con alta resolución y dar respuesta a los fenómenos que aún hoy pueden ser considerados una incógnita.



Ariadna Calcines Rosario  
Instituto de Astrofísica de Canarias  
[azcr@iac.es](mailto:azcr@iac.es)

Premio a la mejor tesis doctoral  
de 2015 en Instrumentación,  
Computación y Desarrollo Tecnológico  
en Astronomía y Astrofísica

Europa y, especialmente España como líder del proyecto, han propuesto el diseño del telescopio solar más grande del mundo, el Telescopio Solar Europeo (EST) de 4 metros de diámetro, provisto de una gran variedad de instrumentos de última generación que pueden operar de manera simultánea. Uno de estos instrumentos es el presentado en esta tesis doctoral: un espectrógrafo de campo integral, de alta resolución, espacial (0,1 segundos de arco) y espectral ( $R \approx 300.000$ ), con capacidad multi-rendija (8 rendijas de 0,05 segundos de arco de ancho por 200 segundos de arco de largo) y multi-longitud de onda (8 longitudes de onda simultáneas comprendidas en el rango espectral entre 3.900 y 23.000 Å). El campo de visión es de 80 segundos de arco cuadrados, aunque puede observarse un campo de 2 minutos por 2 minutos en observaciones sucesivas utilizando un sistema de barrido bidimensional. El telescopio ofrece un haz cuya relación focal es F/50, la IFU realiza la conversión de F/50 a F/40, el espectrógrafo está precedido de un predispersor, ambos F/40, y en el plano focal imagen cada longitud de onda cuenta con un sistema de reimaginación transformando la relación focal F/40 en F/10.3 para las longitudes de onda de visible y F/20.6 para las de infrarrojo. Cada longitud de onda se observará en un detector 4k x 4k con píxeles cuadrados de 10  $\mu\text{m}$  para visible y 20  $\mu\text{m}$  para infrarrojo. Este instrumento ha sido diseñado contemplando la posibilidad de acoplar previamente un polarímetro, ofreciendo dos modos de observación, puramente espectroscópico o espectro-polarimétrico. El instrumento en sí es un sistema telecéntrico con calidad óptica limitada por difracción.

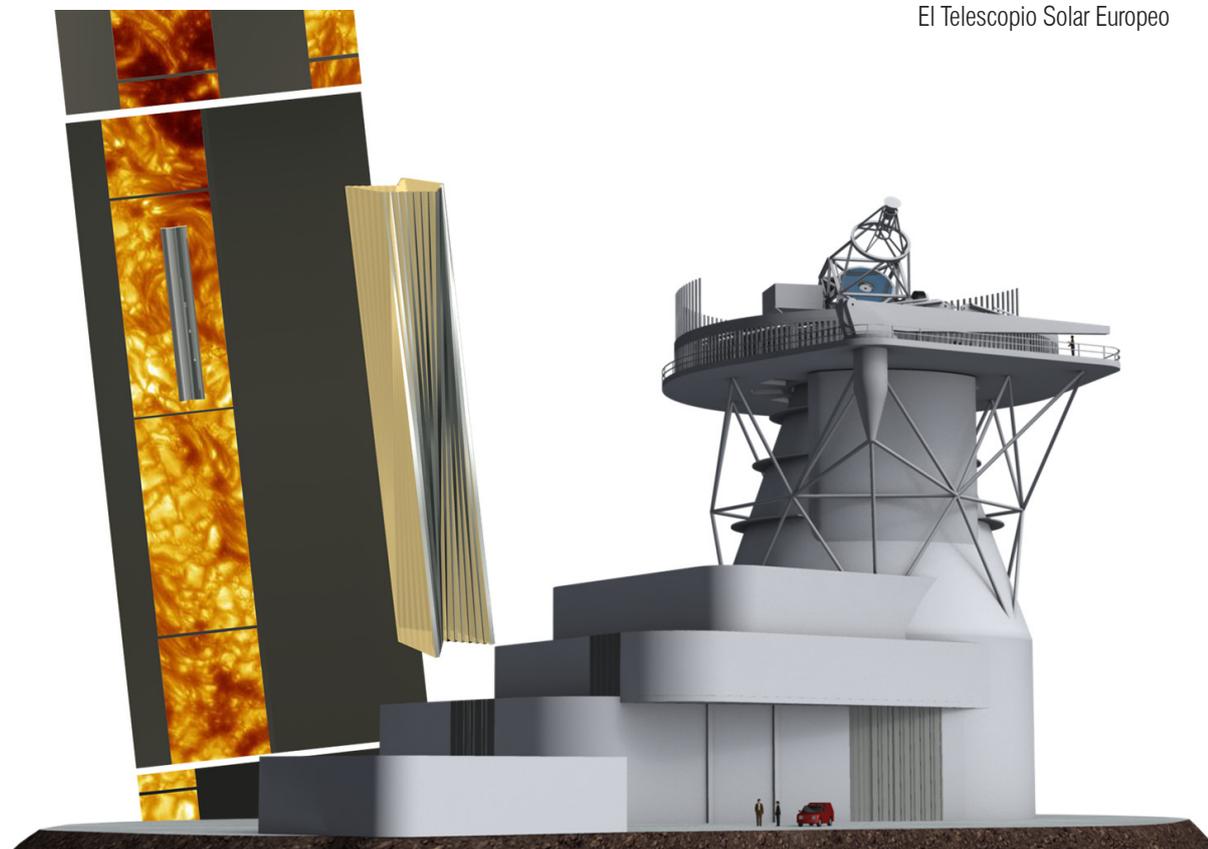
## IMAGE SLICERS PARA FÍSICA SOLAR

La mayor innovación de esta tesis doctoral es el diseño de un nuevo concepto de *image slicer* llamado MuSICa (Multi-Slit Image slicer based on collimator-Camera). MuSICa es un sistema telecéntrico que reorganiza un campo bidimensional de 80 segundos de arco cuadrados en 8 rendijas de 0,05 segundos de arco de ancho por 200 segundos de arco de largo utilizando tres *arrays* de espejos (*slicer mirrors*, espejos colimadores y espejos de cámara), ofreciendo una calidad óptica al límite de difracción. Como característica, los *slicer mirrors* tienen un ancho de 50  $\mu\text{m}$  garantizando un muestreo de 0,05 segundos de arco por píxel y son espejos planos. Los espejos colimadores y cámaras son esféricos, dis-

# INTEGRAL PARA EL TELESCOPIO SOLAR EUROPEO

tribuidos en dos columnas para minimizar la altura sobre el eje óptico y por tanto las posibles aberraciones y presentan correspondencias cruzadas, obteniendo la superposición de todas las imágenes de pupila entre ambos *arrays*. En esta posición se coloca una máscara para evitar la contribución de luz difusa. La espectroscopía de campo integral (IFS), también conocida como espectroscopía 3D, es una técnica que está siendo implementada en los ma-

yores telescopios nocturnos en los últimos años. Su aplicación a Física Solar es totalmente innovadora y, a raíz del diseño realizado para EST, esta técnica, así como el concepto de MuSiCa, se ha aplicado a otros telescopios, como GREGOR, para el cual se ha realizado el diseño de un prototipo para EST, incluido en esta tesis. Otros telescopios interesados en la implementación de MuSiCa son SUVIT, a bordo de la misión espacial Solar-C y DKIST.



El Telescopio Solar Europeo

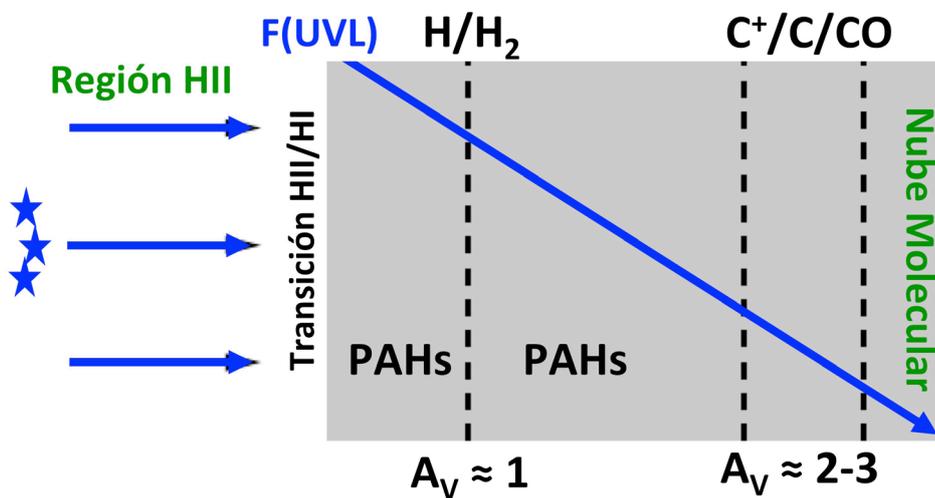
El proyecto "*Fotoquímica interestelar en la Cabeza de Caballo y en la Barra de Orión: pasado, presente y futuro*", liderado por Javier R. Goicoechea (ICMM-CSIC) y Jérôme Pety (IRAM), ha sido galardonado con el premio al mejor proyecto conjunto de colaboración franco-española en Astronomía de 2015, otorgado por la Sociedad Española de Astronomía y por la Sociedad Francesa de Astronomía y Astrofísica.

Este proyecto se centra en el estudio de las nubes del medio interestelar iluminadas por campos de radiación ultravioleta (UV) procedente de estrellas masivas cercanas. Objetos tan espectaculares como la nebulosa de la Cabeza de Caballo o la Barra de Orión albergan una gran cantidad de interesantes procesos físico-químicos que determinan la interacción entre el gas y polvo con la radiación UV. Los estudios realizados por nuestro equipo, utilizando grandes radiotelescopios como ALMA e IRAM-NOEMA, están siendo una referencia para comprender las propiedades del medio interestelar iluminado por radiación UV.

El término *Región de Foto-Disociación* ("PDR" en el argot) engloba genéricamente a cualquier entorno en el que las propiedades físicas y químicas del gas y polvo estén reguladas por la presencia de fotones UV con energías entre 13.6 y 6 eV (longitudes de onda entre  $\sim 912$  y  $2000\text{\AA}$ ). Estos fotones UV "lejanos" (UVL) no ionizan el hidrógeno atómico (como ocurre en regiones HII) pero sí pueden fotodisociar (romper) moléculas e ionizar moléculas y átomos con potenciales de ionización menores que 13.6 eV (carbono, azufre, silicio...). Estas regiones son, por tanto, predominantemente "neutras" y en ellas tiene lugar la transición crítica entre el gas atómico y el gas molecular a medida que la cantidad de polvo (la extinción) aumenta, y el flujo de radiación UVL disminuye hacia el interior de la nube ( $\text{H} \rightarrow \text{H}_2$ ,  $\text{C}^+ \rightarrow \text{C} \rightarrow \text{CO}$ , etc., véase la figura 1).



Javier R. Goicoechea  
ICMM-CSIC  
[jr.goicoechea@icmm.csic.es](mailto:jr.goicoechea@icmm.csic.es)

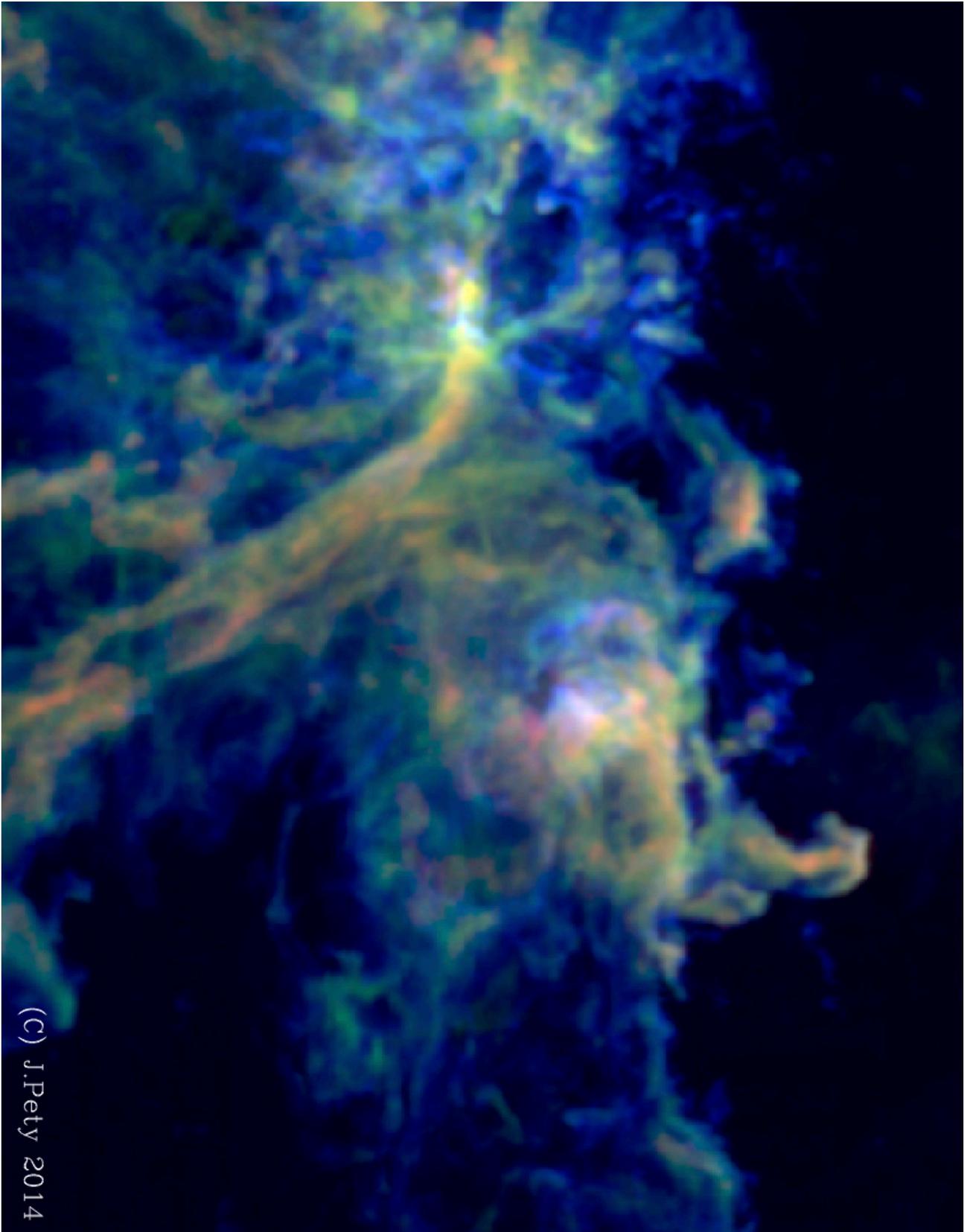


**Fig 1.** Diagrama de una PDR iluminada por un campo UV. Cuando la energía de los fotones UV disminuye por debajo de 13.6 eV (en el frente de ionización HII/HI), el hidrógeno pasa a estar en forma neutra y solo los elementos como el carbono permanecen ionizados. A medida que la extinción por el polvo atenúa el flujo de fotones UVL, comienza la transición al gas molecular. En el interior de la nube,  $A_V > 3$ , casi todo el hidrógeno está en forma molecular y casi todo el carbono en forma de CO.

Algunas de las características observacionales más comunes de una PDR son la emisión en bandas de hidrocarburos poli-cíclicos aromáticos (PAHs), la emisión en la línea de estructura fina del carbono ionizado [CII]158 $\mu$ m (el refrigerador más importante del gas interestelar neutro), la emisión reprocesada del polvo en el infrarrojo lejano y la presencia de iones moleculares que no se observan en otros entornos y que reflejan la fotoquímica subyacente en el gas irradiado (CH<sup>+</sup>, SH<sup>+</sup>, CO<sup>+</sup>, HOC<sup>+</sup>, CF<sup>+</sup>, C<sub>3</sub>H<sup>+</sup>, etc.).

El estudio observacional y teórico de PDRs comenzó hace más de 3 décadas en un afán por caracterizar el borde (la "piel") de nubes moleculares cercanas a estrellas masivas, así como su relación e interacción con las regiones HII que usualmente las rodean. El avance en la comprensión de los procesos físico-químicos dominantes ha permitido ampliar el estudio

de PDRs a cualquier entorno de gas esencialmente molecular iluminado por radiación UVL. Esto incluye a las nubes más difusas del medio interestelar (PDRs de muy baja densidad), las envolturas circumstelares alrededor de nebulosas planetarias (PDRs de alto campo de radiación), los discos protoplanetarios irradiados (los "proplyds") o las galaxias con brotes intensos de formación estelar. A pesar de que las escalas espaciales y dinámicas en estos objetos son muy diferentes, los procesos termodinámicos y químicos son similares (calentamiento del gas por colisiones con foto-electrones eyectados de la superficie de granos y de PAHs, enfriamiento del gas por emisión de líneas atómicas de estructura fina, fotodisociación de moléculas, reacciones químicas entre átomos e hidrógeno molecular, etc.) y en general solo dependen de la intensidad del campo UVL, la densidad del gas y las propiedades del polvo.



(c) J.Pety 2014

En un contexto más amplio, las PDRs representan una elevada fracción del gas neutro interestelar de cualquier galaxia, quizás hasta un 90% (básicamente todo el gas y polvo en nubes interestelares hasta  $A_V \sim 7$ , punto a partir de cual el campo UVL es casi despreciable). Además, la emisión procedente de PDRs ([CII], PAHs, polvo caliente, etc.) se utiliza para calcular la tasa de formación estelar y para investigar la interacción entre estrellas masivas y sus nubes moleculares progenitoras, siendo la fotoevaporación un mecanismo crucial que determina la vida media de estas nubes y limita la formación de nuevas generaciones de estrellas.

Desde hace varios años nuestro grupo utiliza los radiotelescopios más poderosos y los modelos termofoto-químicos más sofisticados para comprender en profundidad estas regiones. Por un lado realizando grandes cartografiados con telescopios de antena única de regiones de formación estelar cercanas a estrellas o cúmulos masivos (Orión A, Orión B, véase la Figura 2). Y por otro, utilizando interferómetros para observar pequeños campos con altísima resolución espacial (algunos cientos de Unidades Astronómicas). Con este tipo de estudios podemos resolver la estructura fundamental de cada PDR y resolver también los pronunciados gradientes en las condiciones físicas y abundancias químicas en función de la atenuación del campo UVL. Las primeras imágenes que hemos obtenido con ALMA son ciertamente espectaculares y revelan una complejidad que ni imaginábamos a escalas espaciales tan pequeñas...

**Fig 2.** Imagen compuesta utilizando la emisión integrada de las líneas rotacionales  $^{12}\text{C}^{18}\text{O}$   $J=1-0$  (azul),  $^{13}\text{C}^{18}\text{O}$   $J=1-0$  (verde), y  $\text{C}^{18}\text{O}$   $J=1-0$  (rojo) de la región de Orión B. La famosa nebulosa de la Cabeza de Caballo emerge en la parte superior. El tamaño angular de la imagen es de un grado cuadrado y fue tomada con el radiotelescopio de 30m de IRAM (Pico Veleta) en el rango milimétrico con una resolución angular de  $21''$ . Las zonas en azul están más expuestas al campo UVL de la región.

Uno de los objetivos principales de la Sociedad Española de Astronomía es promocionar el estado de la astronomía en España. Para ello es necesario tener una información lo más precisa posible del estado de la investigación astrofísica en nuestro país, para lo cual hacen falta estudios cuantitativos periódicos que muestren la salud y las tendencias temporales en nuestra área.



Javier Gorgas  
Presidente de la SEA  
[jgorgas@fis.ucm.es](mailto:jgorgas@fis.ucm.es)

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

En los últimos años la RIA (*Red de Infraestructuras de Astronomía*) ha presentado valiosos informes que muestran el estado y la evolución tanto de las infraestructuras astronómicas como de las publicaciones científicas. Sin embargo, se echaba en falta un estudio reciente sobre los recursos humanos en nuestro área, en particular sobre la evolución del personal investigador en las diferentes categorías. Todos teníamos la impresión de que habíamos crecido mucho pero que ahora estábamos siendo duramente castigados durante la crisis económica, pero no existían, excepto para algunos centros particulares, datos objetivos sobre la cuestión. Para conseguir dichos datos, a principios de 2014 la Junta Directiva de la SEA decidió acometer el trabajo con intención de continuidad en los próximos años y cuyos resultados más generales se presentan en este breve artículo. Los antecedentes a este trabajo son el "Informe sobre el estado de la investigación en astronomía en España (1999-2001)", realizado por iniciativa de la SEA por Xavier Barcons y colaboradores en 2002 (accesible desde <http://www.sea-astronomia.es/drupal/node/38>), el "Estudio sociológico de los doctores españoles en el campo de la astronomía", elaborado por Eduardo Battaner y colaboradores (ver por ejemplo *Bol. SEA* nº 6, 2001), y el trabajo centrado fundamentalmente en la igualdad de género "Un Universo por descubrir. Género y astronomía en España" (2010), por Eulalia Pérez Sedeño y Adriana Kickowski. Estos trabajos han sido fundamentales para el presente estudio ya que nos han permitido hacer una doble comprobación de los datos históricos y rellenar algunas lagunas que dejaba la última recogida de datos.

Para realizar el estudio hemos recogido información de 50 centros diferentes, que constituyen la práctica totalidad de los centros españoles en los que se hace investigación en astrofísica. Hemos clasificado estos centros en tres categorías: universidades, OPIs (Organismos Públicos de Investigación) y similares, y otros centros (en particular observatorios y centros de divulgación). Una lista de estos centros se muestra en la Tabla 1 (para cada categoría se muestran ordenados de mayor a menor número de personas en la actualidad). En particular para cada centro se ha recogido, por una parte, la información detallada del personal actual, dividido 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. Por otra parte, se ha recogido la información de la evolución del personal, agrupado solo en las tres categorías indicadas, año a año, desde 2002 hasta 2014. Cuando faltaba información histórica se ha usado la disponible en las fuentes citadas anteriormente y, en algunos muy pocos casos inevitables, se ha tenido que inter-

# EN ASTRONOMÍA Y ASTROFÍSICA EN ESPAÑA

Centros incluidos en el estudio		OPIs y similares
<b>UNIVERSIDADES</b>		IAC
Univ. de Barcelona / ICCUB	Univ. de Salamanca	IAA
Univ. Complutense de Madrid	Univ. Rovira i Virgili	CAB (+ DAMIR/CSIC)
Univ. de Valencia	Univ. de Valladolid	IEEC
Univ. de La Laguna	Univ. de Cantabria	IFCA
Univ. Autónoma de Madrid	Univ. de Cádiz	OAN
Univ. Politécnica de Cataluña	Univ. de Oviedo	CIEMAT
Univ. de Alcalá de Henares	Univ. de Girona	CEFCA
Univ. de Granada	Univ. de Vigo	IFAE
Univ. de Alicante	Univ. de Huelva	ICMM/CSIC
Univ. de Zaragoza	Univ. de La Rioja	ROA
Univ. del País Vasco	Univ. de Jaen	<b>Otros</b>
Univ. Politécnica de Valencia	Univ. de Extremadura	ESAC (sólo miembros SEA)
Univ. de las Islas Baleares	Univ. Politécnica de Cartagena	CAHA
Univ. Santiago de Compostela	Univ. de Murcia	GRANTECAN
Univ. Miguel Hernández	UNED	INTA
Univ. de La Coruña	otras Madrid (UPM, URJ, UEM)	Planetarios, Museos (sólo SEA)

**Tabla 1.** Centros incluidos en el estudio.

	Plantilla	Postdocs	Predocs	Total
<b>Universidades</b>	181	69	69	<b>319 (38%)</b>
<b>OPI's</b>	167	167	142	<b>476 (57%)</b>
<b>Otros</b>	33	6	1	<b>40 (5%)</b>
<b>TOT</b>	<b>381 (46%)</b>	<b>242 (29%)</b>	<b>212 (25%)</b>	<b>835</b>

**Tabla 2.** Distribución del personal actual.

polar entre años. Por supuesto, para la recogida de toda esta información ha sido imprescindible la colaboración de muchos colegas en los diferentes centros. Gracias a su trabajo, difícil en muchos casos, sobre todo para encontrar la información de la evolución temporal, hemos podido realizar este estudio.

En este breve artículo solo se citan los resultados principales del trabajo. Un estudio más detallado, que incluye por ejemplo los datos desglosados por género y subcategorías, podrá consultarse en breve en las páginas web de la [Sociedad Española de Astronomía](#).

## DISTRIBUCIÓN DEL PERSONAL ACTUAL

El presente estudio concluye que el número de personas que, a fecha de junio de 2014, trabajan en el área de astronomía y astrofísica en España en los centros incluidos en este trabajo asciende a 835 personas. Su distribución en las grandes categorías en que se ha organizado este estudio (plantilla, postdoctorales y predoctorales) y en el tipo de centros (universidades, OPIs o similares, y otros) se muestra en la Tabla 2.

Puede observarse como hay más investigadores en las OPIs (57%) frente a las universidades (38%), y como, en total, un 46% del personal está en plantilla, es decir son funcionarios o cuentan con un contrato indefinido. En la tabla también se puede observar que la distribución relativa de las tres categorías dentro de universidades y de OPIs es diferente. En las universidades hay un porcentaje mayor de plantilla (57%) frente al encontrado en las OPIs (35%), donde el personal se reparte casi a partes iguales en las tres categorías. Esto refleja los diferentes tipos de procesos de contratación en universidades, con una plantilla más estable, y en OPIs, con una fracción mayor de puestos no estables.

Se han conseguido además datos sobre la distribución más detallada en las diferentes subcategorías utilizadas en este trabajo. En el caso de los investigadores de plantilla la distribución se ha hecho en las subcategorías: CU (Catedrático de Universidad), TU (Profesor Titular de Universidad), CEU (Catedrático de Escuela Universitaria), TEU (Profesor Titular

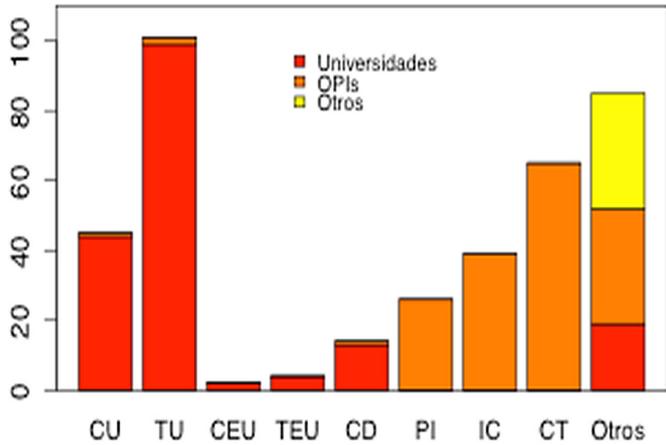
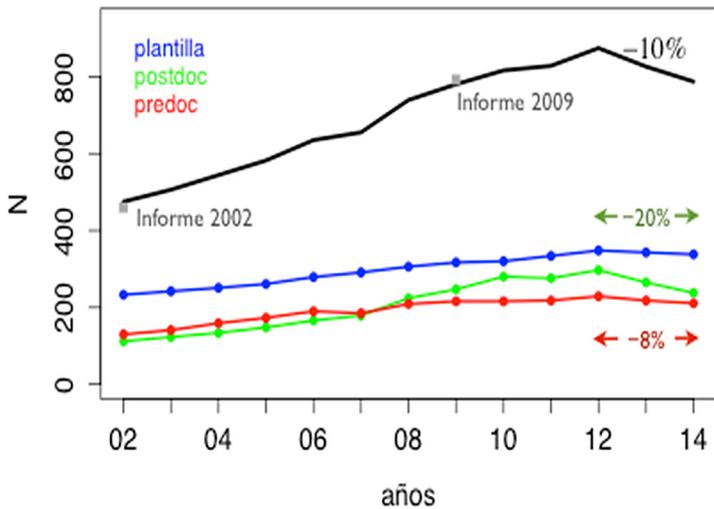


Fig. 1. Distribución de la plantilla por subcategorías

Fig. 2. Evolución temporal del personal en las diferentes categorías



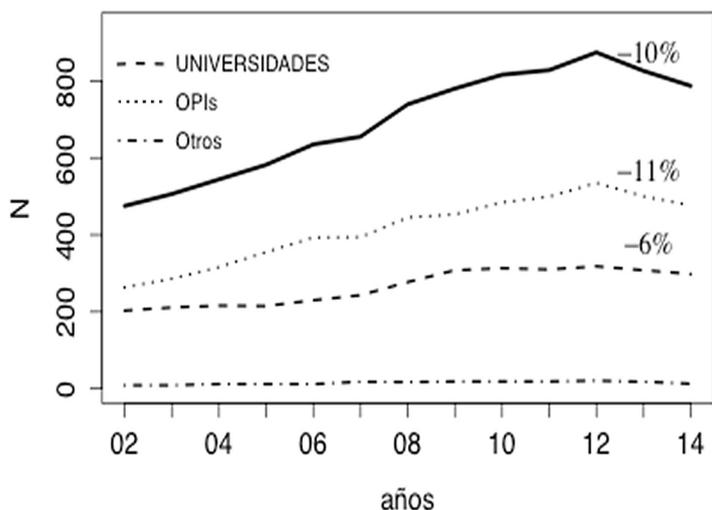
de Escuela Universitaria), CD (Profesor Contratado Doctor), PI (Profesor de Investigación), IC (Investigador Científico), CT (Científico Titular) y Otros. La distribución correspondiente, diferenciada por tipo de centro se muestra en la figura 1. La distribución en subcategorías para investigadores postdoctorales y predoctorales se muestra en el informe completo.

**EVOLUCIÓN TEMPORAL**

Uno de los aspectos más importantes de este trabajo es el estudio de la evolución temporal. En particular se ha analizado como han ido variando anualmente desde 2002 hasta 2014 el número de personas trabajando en cada centro en las tres categorías principales. El resultado principal, diferenciado para estas categorías, se muestra en la figura 2. Esta gráfica refleja un aumento global del 66% en los últimos 12 años para el número de investigadores trabajando en astrofísica en España. Este aumento no ha sido igual en todas las categorías, destacando un aumento del 113% en postdocs frente al aumento más moderado del 45% en plantilla y 62% en predoctorales. La gráfica también muestra como la tendencia positiva general desde 2002 ha cambiado drásticamente de signo en los últimos años y especialmente desde 2012 hasta la fecha, con una disminución global del 10%, probablemente como consecuencia de la crisis económica que tanto ha afectado a la inversión en investigación en este país. Aunque, lógicamente la disminución de personal apenas se ha notado en la plantilla (una bajada de un 3% desde 2012), la caída ha sido severa para postdocs (un 20%) y, en menor medida, para el personal predoctoral (un 8%). Por otro lado, tanto la tendencia positiva desde 2002 como la negativa en los últimos años ha sido de diferente magnitud dependiendo del tipo de centro, como se puede observar en la figura 3, En particular la subida y la bajada han sido más acusadas para OPIs y similares que para universidades. En concreto, de 2002 a 2014, el número de investigadores ha crecido en un 81% para los primeros y en un 47% para los segundos, mientras que la caída desde 2002 ha sido respectivamente del 11 y del 6% (restringiéndonos a postdocs, las caídas en los últimos 2 años han sido respectivamente del 17 y del 25%).

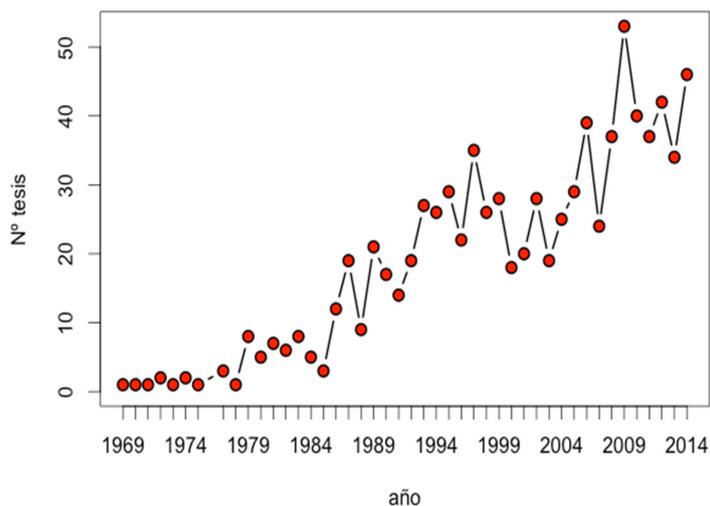
**TESIS EN ASTROFÍSICA**

Por último, el estudio ha incluido la construcción de una base de datos de las tesis en nuestro área leídas, por investigadores españoles o extranjeros, en nuestro país. No se han incluido las tesis leídas por investigadores españoles en centros extranjeros por ser su recopilación una tarea que va a ser siempre incompleta. Las fuentes de datos para este trabajo han sido: una recopilación previa realizada por el Prof. Eduardo Battaner (a quien agradecemos su ayuda) y



**Fig. 3.** Evolución temporal del personal para los diferentes tipos de centros

**Fig. 4.** Evolución temporal del número de tesis leídas en España en astrofísica



colaboradores para el estudio sociológico citado anteriormente, las tesis enviadas al Boletín de la SEA, las tesis presentadas al premio anual de la SEA a la mejor tesis, la base de datos TESEO (<https://www.educacion.gob.es/teseo/>) y la información publicada por las universidades y centros en sus páginas web (aunque la completitud de dicha información varía mucho entre universidades). La base de datos completa está disponible en la página web de la SEA (<http://www.sea-astronomia.es/drupal/content/tesis-doctorales-por-años>). Pensamos que esta recopilación es muy completa aunque es posible que no incluya todas las tesis en áreas fronterizas de la astrofísica, como la cosmología teórica o la mecánica celeste.

Para resumir, según nuestro trabajo desde 1969 hasta 2014 (inclusive) se han leído en España 850 tesis en astrofísica. La evolución temporal del número de tesis se muestra en la figura 4, donde se aprecia el aumento continuado de dicho número de tesis, reflejando el espectacular crecimiento de la astronomía española en los últimos 45 años. Es de destacar el crecimiento rápido que se experimentó en el lustro de 1985 a 1990, e incluso más recientemente de 2005 a 2010. Desde entonces, y después de un máximo de 53 tesis en 2009, el número de tesis está, dentro de las variaciones anuales, estabilizado en una media de 40 tesis al año (46 para el año 2014).

Se dispone además de estadísticas desglosadas por universidades y género. Como resumen podemos indicar que el 82% de las tesis en astrofísica se han presentado en las 6 universidades siguientes: Univ. de La Laguna (254 tesis), Univ. de Barcelona (109), Univ. Complutense de Madrid (105), Univ. de Granada (104), Univ. de Valencia (67), y Univ. Autónoma de Madrid (59). Por otra parte, un 31% de las tesis han sido presentadas por mujeres, aunque este porcentaje va aumentando lentamente, siendo ya del 37% para los últimos 5 años.

### CONCLUSIONES

El presente estudio confirma la fuerte evolución positiva de la investigación en astrofísica en nuestro país, tanto a partir de la tendencia general del aumento de plantilla, sobre todo en puestos postdoctorales y en OPIs, como en la evolución del número de tesis presentadas. Sin embargo, también se notan los efectos de la crisis de los últimos años y nos tememos que, dada la inercia inherente a las contrataciones y becas, esta caída puede acentuarse en los próximos años. Es intención de esta Junta Directiva de la SEA mantener al día estas estadísticas, actualizándolas al menos cada 2 años, para mantener una visión actualizada de la situación de los recursos humanos en astrofísica en España.

El pasado 4 de junio de 2015 se publicó oficialmente el Libro Blanco Español del Square Kilometre Array. Este libro ha sido fruto del esfuerzo coordinado de 119 astrónomos de 40 centros diferentes de investigación. Un total de 29 capítulos confeccionan el libro, que presenta estudios de prospectiva con el SKA que van desde la formación de discos protoplanetarios y estrellas hasta la formación de grandes estructuras a gran escala en el Universo, pasando esencialmente por todas las áreas de la astrofísica donde hay investigadores españoles involucrados.



**Miguel Pérez Torres**  
Coordinador editorial del  
Libro Blanco Español del SKA  
*torres@iaa.es*

La radioastronomía ha realizado a lo largo del último siglo aportaciones fundamentales a la comprensión del Universo, ya que permite estudiar fenómenos que no pueden observarse mediante ninguna otra técnica astronómica. Sirvan como ejemplo el descubrimiento de la línea de hidrógeno neutro a 21cm y su uso para estudiar la estructura de la Vía Láctea y de las galaxias, la identificación del primer cuásar (3C273), los estudios del magnetismo cósmico, el estudio de las fuentes compactas en las regiones centrales de núcleos activos de galaxias a escalas de sub-parsec, el uso de los máseres para estudios que van desde la formación estelar a la determinación de la constante de Hubble, o el descubrimiento de los púlsares y su utilización como herramienta imprescindible en física fundamental.

Con la llegada del SKA, se garantiza que la radioastronomía a longitudes métricas y centimétricas continúe siendo gran protagonista de la astrofísica durante, al menos, varias décadas. De hecho, los instrumentos precursores del SKA (LOFAR, APERTIF, MWA, e-MERLIN, EVN, ATCA, JVLA, ASKAP, MeerKAT)<sup>1</sup> ya muestran el potencial de la nueva generación de radiotelescopios, con mejoras en sensibilidad, resolución angular, resolución espectral y campo de visión que superan en al menos un orden de magnitud las prestaciones de las infraestructuras radioastronómicas actuales.

El SKA, que tendrá un área colectora de un kilómetro cuadrado, está llamado a revolucionar la práctica totalidad de los campos de la astrofísica. De hecho, el SKA va mucho más allá del interés de los radioastrónomos, revelándose no solo como una poderosísima herramienta para todos los astrónomos, sino también muy relevante en otros campos de la física y la astrobiología.

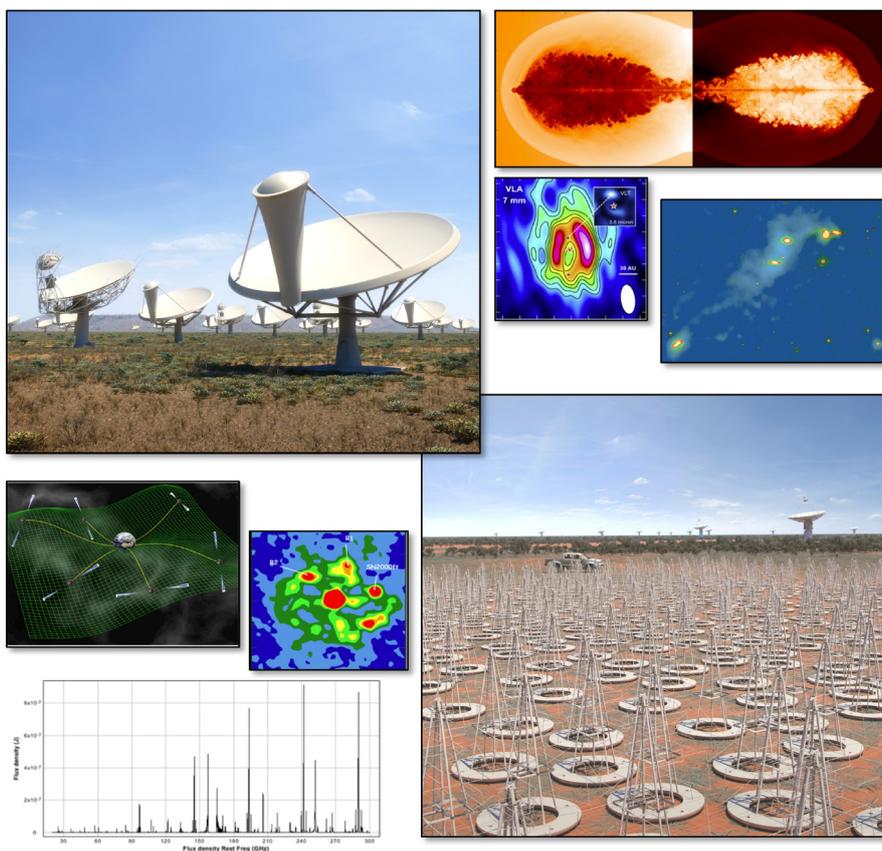
Con este libro, la comunidad astrofísica española expresa su interés en que España entre, como miembro de pleno derecho, en el SKA. Los estudios presentados muestran la capacidad científica de nuestros grupos de investigación y las sinergias existentes entre ellos, y del SKA con otros observatorios astronómicos. Todo ello representa un prometedor potencial para una óptima explotación científica del SKA en nuestro país.

En nombre del comité editorial, doy las gracias a todos los coautores del libro por su contribución, sin la cual no habría sido posible la consecución de este hito.

## The Spanish Square Kilometre Array White Book

### Editors

Miguel Pérez-Torres  
 Lourdes Verdes-Montenegro  
 José Carlos Guirado  
 Antonio Alberdi  
 Jesús Martín-Pintado  
 Rafael Bachiller  
 Diego Herranz  
 Josep Miquel Girart  
 Simone Migliari  
 José Miguel Rodríguez-Espinosa



### COMITÉ EDITORIAL DEL LIBRO BLANCO ESPAÑOL DEL SKA:

Miguel Pérez Torres, Lourdes Verdes Montenegro, José Carlos Guirado, Antxon Alberdi, Jesús Martín Pintado, Rafael Bachiller, Diego Herranz, Josep Miquel Girart, Javier Gorgas, Carlos Hernández Monteagudo, Simone Migliari y José Miguel Rodríguez Espinosa.

### NOTAS

<sup>1</sup> LOw-Frequency ARray (LOFAR); APERTure Tile in Focus (APERTIF); Murchison Widefield Array (MWA); electronic Multi-Element Radio Linked Interferometre Network (e-MERLIN); European VLBI Network (EVN); Australian Telescope Compact Array (ATCA); Jansky Very Large Array (JVLA); Australian SKA Pathfinder (ASKAP); South African Karoo Array Telescope (MeerKAT)

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.

## HASTA SIEMPRE

Con gran dolor hemos despedido a nuestros queridísimos compañeros José Daniel Ponz, Dolores Pérez y Javier Gorosabel. Descansen en paz.

## ¡ENHORABUENA A DAVID Y JORGE!

Nuestros colegas David Barrado y Jorge Lillo han ganado el Premio madri+d de Comunicación Científica por su artículo "La epopeya exoplanetaria: planetas gigantes, planetas rocosos". El Jurado consideró que este análisis trata con originalidad y destreza un tema de interés y actualidad científica contextualizado con la historia de la física. El premio está dotado con 3000 eurazos, impuestos incluidos.

## EL ICCUB, UNIDAD DE EXCELENCIA MARÍA DE MAEZTU

También están de enhorabuena Josep M. Paredes y Eduard Salvador-Solé, director e impulsor, respectivamente, del Instituto de Ciencias del Cosmos (ICCUB) ya que este instituto ha conseguido la distinción como unidad de excelencia María de Maeztu, en la primera edición de esta convocatoria. En palabras de nuestro presidente, Javier Gorgas, "esa distinción es el reconocimiento a un trabajo bien hecho y muestra, una vez más, cómo nuestros institutos de investigación en astronomía están en primera línea como centros de excelencia en estructuras organizativas de investigación en España". ¡Felicidades!

## ¡UN TROCITO DEL TELESCOPIO ESPACIAL HUBBLE!

Con motivo de la conmemoración del 25 aniversario del lanzamiento del telescopio espacial Hubble, la ESA organizó un concurso de vídeos relacionados con el telescopio, "Ode to Hubble". El vídeo presentado por el Observatorio Astronómico de la Universidad de Valencia, dirigido por Vicent J. Martínez y con colaboración del Instituto de Física de Cantabria, consiguió el segundo puesto en la categoría de mayores de 25 años. No ganamos, pero conseguimos el objetivo principal: ¡un pedacito del telescopio espacial que enseñar a los jóvenes estudiantes que visitan el Observatorio a diario!

En el siguiente enlace podéis disfrutar de todos los vídeos, tanto ganadores como finalistas:

<https://www.spacetelescope.org/projects/Hubble25/odetohubble>

## ASAMBLEA ORDINARIA DE LA SEA EN GIJÓN

La XXIII Asamblea General de nuestra sociedad se celebrará el próximo 16 de julio de 2015 coincidiendo con la XXXV Bienal de la Real Sociedad de Física en la bellísima ciudad asturiana de Gijón, rodeada de magníficas playas, con una gran oferta gastronómica, gentes maravillosas y enclavada en ese paraíso natural que es Asturias. ¿A qué esperaréis para apuntaros?

## LA SEA, COLABORADORA OFICIAL DE "CIENCIA EN ACCIÓN"

La SEA se ha incorporado recientemente a la lista de entidades que colaboran en la organización de "Ciencia en Acción", el certamen científico posiblemente más importante de nuestro país dirigido a estudiantes de primaria y secundaria. Entre otras cosas, socios de la SEA participan en los jurados del concurso "Adopta una Estrella", englobado en "Ciencia en Acción". Este año la gran final se desarrollará en otra bellísima ciudad costera del norte de España, en la Domus de A Coruña, del 2 al 4 de octubre.

**THE SCIENCE OF INTERSTELLAR**

Kip Thorne

ISBN: 978-0-393-35137-8

Ed. W. W. Norton &amp; Company

Somos muchos los físicos que nos entusiasmos con las películas de ciencia ficción por lo que tienen de distopía, de evolución de la sociedad actual hasta fines apocalípticos. En ellas la ciencia y la tecnología tienen un papel fundamental y, frecuentemente, sus protagonistas son científicos. Pero la mayoría de las veces nos horrorizamos por lo que vemos en la pantalla: naves espaciales con motores continuamente en marcha, láseres en el espacio y las recurrentes explosiones sonoras en el vacío.

Por ello, cuando se estrenan películas que respetan las leyes de la física nuestro gozo es doble: disfrutamos con ellas y no se nos atraganta la cena. Así películas míticas como *2001: Una Odisea del Espacio* (1968) o, la más reciente *Gravity* (2013) pueden ser usadas incluso para explicar física. Y no es baladí saber que todas éstas tuvieron detrás un equipo de científicos asesorando a los guionistas y al director.

La cuidadosa aplicación de las leyes de la física también es la base principal de la acción de una de las películas de actualidad más taquilleras, *Interstellar* (2014).

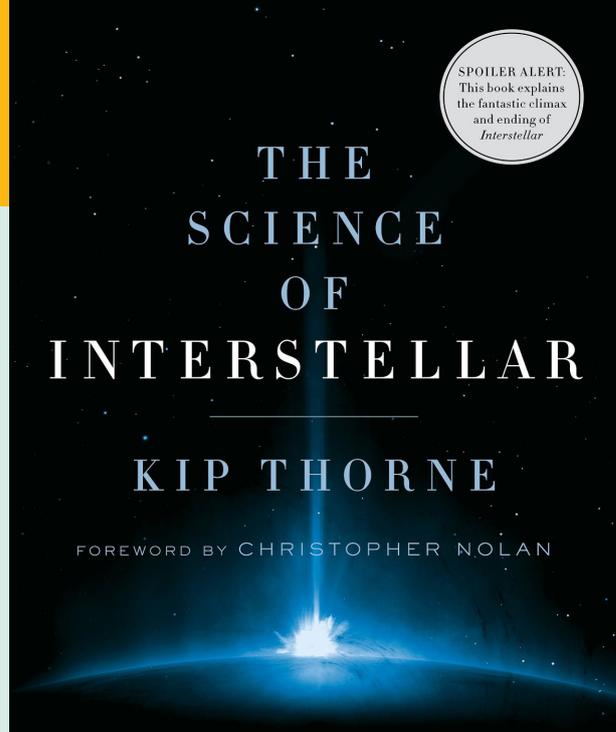
*Interstellar* nos sitúa en un futuro en el que los recursos naturales se han agotado y las plagas azotan los cultivos. En este contexto apocalíptico, la aparición de un agujero de gusano en las proximidades del planeta Saturno abre la posibilidad de viajar por él para explorar primero y colonizar después otros mundos habitables con la finalidad de salvar toda la humanidad.

Este fantástico viaje a los confines del universo está basado en ciencia real de la que el físico teórico de Caltech, Kip Thorne, es plenamente responsable como declara en el making-of científico del film, es decir, en su libro "*The Science of Interstellar*", donde trata de explicar de la manera más didáctica y simple posible las razones científicas de cada una de las escenas.

*Interstellar* no deja de ser una película en la que la acción dramática principal transcurre en los alrededores de un agujero negro supermasivo llamado Gargantúa, pero no es un documental científico. Por ello, es normal que al salir del cine los espectadores se hagan muchas preguntas. Kip Thorne, que ha estado 10 años puliendo la física del film, trata de responderles con el libro.

El físico de Caltech nos cuenta la complejidad de la génesis del film, cuya idea original es suya, desde la escritura del primer guión hasta el rodaje con el director Christopher Nolan, pasando por Steven Spielberg que estuvo a punto de llevarlo a la pantalla.

Pero lo que hace especial a *Interstellar* es la idea central que mantiene Thorne a lo largo del proceso de creación del film. Debía ser una película en la que el director, guionistas y productores respetaran la ciencia, se inspiraran en ella y que, además, ésta esté totalmente entrelazada en la acción. Pero una película donde aparecen agujeros de gusano, agujeros negros, dilataciones temporales gravitacionales, cruces del



horizonte de sucesos y tesseractos se sitúa, muchas veces, en los límites de la física actual conocida, a la que él llama física extrema. Por ello finalmente ciertas dosis de especulación también fueron permitidas, siempre basándose en ciencia real, a partir de ideas que científicos "respetables" creen posibles.

Toda esta ciencia queda explicada en el libro con imágenes de la película y con numerosas ilustraciones que resuelven muchas dudas y explican hechos no desarrollados en el film como son, por ejemplo, el tipo de plaga que sufren los cultivos en la Tierra, el descubrimiento del agujero de gusano, las anomalías gravitatorias, la trayectoria de la nave *Endurance* en el sistema planetario de Gargantúa, las extrañas órbitas de los planetas visitados, los datos geológicos recogidos en uno de los planetas o la información que se pretende obtener del agujero negro.

Cabría hacer una mención especial a la representación gráfica del agujero negro. Los gráficos por ordenador fueron creados por la empresa Double Negative de Paul Franklin. Kip Thorne se basó en trabajos anteriores y en su propio trabajo para crear un código realista del aspecto de Gargantúa a partir del cual Oliver James y Eugénie von Tunzelmann, del equipo de efectos visuales de la empresa, lograron la mejor representación realizada hasta la fecha de un agujero negro supermasivo en rotación. Diversos capítulos del libro describen detalladamente el proceso de creación de las imágenes de Gargantúa, su efecto lente, su disco de acreción, su falta de chorro, etc. Por primera vez sabemos como es realmente, en alta resolución, un agujero negro supermasivo en rotación.

Los últimos capítulos del libro se dedican a explicar la parte quizás más difícil y más especulativa de la película. ¿Qué es lo que nos podemos encontrar en el interior de un agujero negro? Realmente no se sabe a ciencia cierta, pero Thorne nos sugiere alguna idea. El desenlace final de la película ocurre justamente aquí y por ello no voy a seguir.

En definitiva el libro es un buen complemento para acabar de comprender las partes más extrañas de la película. Pero si además el lector es físico se dará cuenta que los fallos que encontró al verla no eran tales sino consecuencias sutiles de las leyes físicas conocidas.

Enric Marco  
Departament d'Astronomia i Astrofísica,  
Universitat de València

## Estudio multifrecuencia y multiescala de galaxias luminosas y ultraluminosas en el infrarrojo en el universo local

Autor: Rubén Herrero Illana (herrero@iaa.es)

Tesis doctoral dirigida por:

Miguel Ángel Pérez-Torres y Antxon Alberdi

Centro: Instituto de Astrofísica de Andalucía-CSIC

Fecha de lectura: 31 de octubre de 2014

Esta tesis comprende un estudio multifrecuencia de las galaxias luminosas y ultraluminosas en el infrarrojo (LIRGs y ULIRGs, respectivamente) en el Universo local, estudiadas a diferentes escalas espaciales. El trabajo se ha centrado en las propiedades de los brotes de formación estelar masiva, en la contribución de los núcleos activos de galaxias (AGN) y en la interrelación entre ambos fenómenos. El estudio de las (U)LIRGs locales es el mejor escenario para comprender las propiedades de estos objetos a distancias cosmológicas, donde su contribución domina el fondo cósmico infrarrojo.

La primera aproximación al estudio de las (U)LIRGs ha consistido en un estudio de línea espectral en el rango milimétrico con datos obtenidos en el radiotelescopio IRAM 30m de Pico Veleta, en Granada, de 56 (U)LIRGs de la muestra del proyecto GOALS. Hemos observado y analizado espectros de varias líneas moleculares, centrándonos en el estudio del monóxido de carbono (CO), conocido trazador del gas molecular. Además de caracterizar nuestra muestra, este estudio nos ha permitido confirmar la hipótesis de que el cociente isotópico entre  $^{12}\text{CO}$  y  $^{13}\text{CO}$  es proporcional a la temperatura del polvo presente en las (U)LIRGs, lo que se explicaría con una disminución de la profundidad óptica de  $^{12}\text{CO}$  con la temperatura. Asimismo hemos estudiado la cinemática y la distribución del gas a partir de los perfiles espectrales de varias líneas moleculares.

En una segunda parte, hemos analizado la región del kiloparsec central de una muestra de 12 LIRGs, haciendo hincapié en la importancia del estudio multifrecuencia con el objetivo de derivar las propiedades de la formación estelar en estas galaxias, así como en el estudio de la contribución de los posibles núcleos activos de galaxias a la luminosidad bolométrica de las (U)LIRGs. En una de las galaxias, la LIRG NGC1614, hemos realizado un profundo estudio multifrecuencia, incluyendo datos radio, infrarrojo, óptico y rayos X. Estos datos nos han permitido establecer, entre otras cosas, que la emisión infrarroja de la región circunuclear está dominada completamente por un potente brote de formación estelar y, en caso de que exista un AGN, éste es completamente irrelevante. Hemos realizado también un estudio exploratorio donde hemos utilizado un mapa de Paschen- $\alpha$  para desarrollar un método para aislar las dos com-

ponentes predominantes en la emisión radio a 8.4GHz: la emisión térmica y la emisión sincrotrón. Esta descomposición nos ha permitido utilizar los diferentes porcentajes de cada emisión en diferentes regiones para obtener las edades aproximadas de las mismas, permitiéndonos comprender mejor el fenómeno de los brotes de formación estelar masiva (*starbursts*).

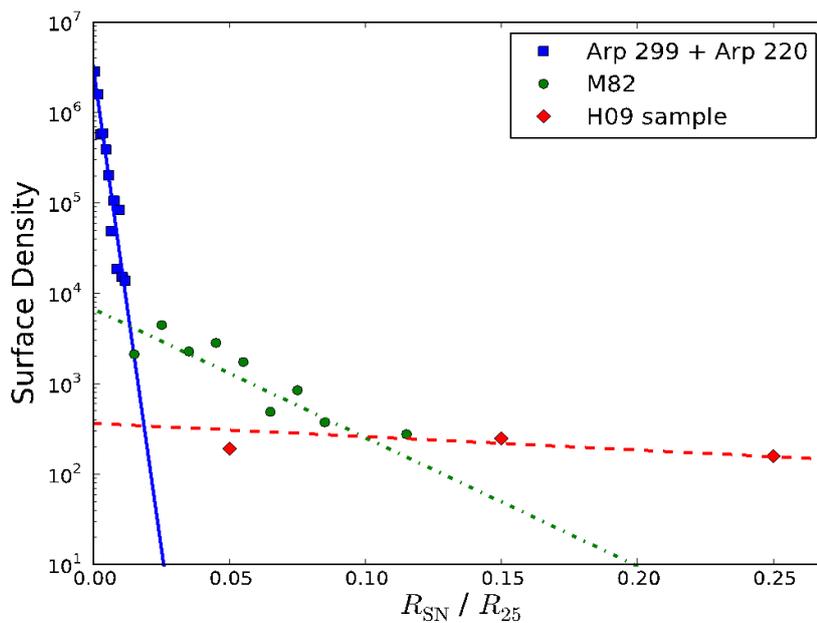
Asimismo, hemos estudiado la formación estelar masiva en la LIRG cercana más luminosa, Arp299, a través de las supernovas que explotan tanto en el núcleo de su región más brillante (Arp299-A), como en sus alrededores. Gracias a imágenes radio del interferómetro e-MERLIN obtenidas a partir del proyecto de legado LIRGI descubrimos la contrapartida en radio de la supernova SN2010P. Utilizando varias épocas de observación, modelamos su curva de luz a lo largo del tiempo, siendo capaces de establecer su naturaleza como supernova de tipo IIb. Otra supernova en el sistema (SN2010O), cuya explosión ocurrió apenas unos días antes que la de la SN2010P, no mostró sin embargo emisión radio, a pesar de nuestros esfuerzos por detectarla en diferentes épocas. Este radio-silencio en épocas tardías se debe probablemente a su rápida evolución, compatible con una supernova de tipo Ib. En cuanto a nuestro estudio de las supernovas en la región central de Arp299-A, utilizamos técnicas de radiointerferometría de muy larga base (VLBI). Analizando observaciones de varias épocas a lo largo de 2.5 años utilizando el European VLBI Network (EVN) pudimos confirmar 25 fuentes compactas, la mayor parte de las cuales son supernovas o remanentes de supernovas, que nos permitieron derivar una tasa de explosión de supernovas de  $\sim 0.8$  SN por año, compatible con estudios anteriores. Encontramos además que la mayor parte de la formación estelar en Arp299-A tiene lugar en los 150 parsec centrales.

La última aproximación al estudio de las (U)LIRGs realizado en esta tesis doctoral ha consistido en el uso de técnicas de VLBI con el fin de resolver las regiones más nucleares de estas galaxias. Dado que las observaciones radio no están afectadas por la extinción debida al polvo y gracias a la alta resolución angular que proporcionan las observaciones VLBI, esta técnica es la única con la que se puede realizar un estudio de este tipo a escalas nucleares. Es en estas regiones

donde se producen los brotes de formación estelar más violentos. Hemos estudiado las supernovas detectadas mediante VLBI en los núcleos de tres galaxias con brotes de formación estelar, Arp299-A, Arp220 y M82, para determinar cómo se distribuyen espacialmente. Esta distribución radial, que parece responder a un perfil exponencial, ha sido extensamente estudiada con anterioridad a escalas galácticas, pero las zonas nucleares han sido sistemáticamente excluidas de estos estudios por la falta de observaciones con la resolución necesaria. En este trabajo descubrimos que la distribución

radial de las supernovas cambia radicalmente en las zonas más internas de estas galaxias, proporcionando evidencias de la existencia de discos circunnucleares, discos que fueron propuestos por modelos teóricos y cuyos tamaños característicos son compatibles con los obtenidos aquí.

Este trabajo pone de manifiesto la importancia del estudio multifrecuencia para derivar los mecanismos que juegan un papel importante en los procesos de formación estelar en (U)LIRGs.



Densidad superficial de la distribución radial de supernovas a distintas escalas espaciales. Se muestran los resultados de estudios previos a escalas galácticas (rojo), la distribución a escalas intermedias (verde) y a escalas nucleares (azul), donde se pone de manifiesto el cambio radical de en la distribución.

## Implicaciones cosmológicas de las anisotropías de temperatura y polarización de la RFCM y la estructura a gran escala del Universo

Autor: Raúl Fernández Cobos

(cobos@ifca.unican.es)

Tesis doctoral dirigida por: Patricio Vielva Martínez y Enrique Martínez González

Centro: Instituto de Física de Cantabria

Fecha de lectura: 14 de noviembre de 2014

El modelo cosmológico estándar se sirve de seis parámetros cosmológicos para dar una descripción del Universo acorde con las observaciones que tenemos. Estos parámetros dan cuenta del contenido de energía del cosmos, aspectos clave de su evolución y las características de las fluctuaciones cuánticas que, en el marco del paradigma actual, constituirían las semillas de la estructura a gran escala que observamos hoy. En este balance energético, la materia ordinaria se correspondería solo con una pequeña parte del contenido total del Universo (un 4,9%, según los resultados de la Colaboración *Planck* de 2013), mientras que la materia oscura constituiría un 26,8%. El 68,3% restante pertenecería a una componente de energía oscura, responsable de la aceleración actual de la expansión del Universo. El modelo incluye además una fase temprana de inflación cósmica: una expansión exponencial durante los primeros instantes después de la Gran Explosión. La inflación sería el mecanismo responsable de que las fluctuaciones cuánticas se *congelen* en la realidad y se propaguen a la distribución de materia. Su aceptación se sustenta en la resolución de algunos problemas cosmológicos, como el hecho de que la geometría del Universo aparezca casi plana o que regiones causalmente desconectadas presenten propiedades similares. Sin embargo, la detección de modos B de polarización a gran escala en la radiación de fondo cósmico de microondas (RFCM) constituiría una evidencia del fondo de ondas gravitacionales predicho por inflación estándar y, por tanto, una prueba decisiva a favor del modelo.

Por la cantidad de información que encierran, la RFCM y la estructura a gran escala se erigen como algunos de los observables cosmológicos predilectos. La RFCM es la radiación electromagnética más antigua que es posible observar. Emitida 380.000 años después de la Gran Explosión, permea el Universo y presenta un espectro de cuerpo negro con una temperatura asociada de 2,725 K. Del análisis de la distribución de las pequeñas desviaciones de temperatura debidas a las fluctuaciones primordiales y de su polarización, se pueden estimar los parámetros del modelo. Por otro lado, al asumir una correlación entre los picos de densidad y la presencia de materia ordinaria, se utilizan los grandes cartografiados de galaxias como trazadores de la estructura a gran escala del Universo. Tanto su estudio como el de la RFCM han confirmado las principales implicaciones del modelo cosmológico estándar con una precisión inédita.

Sin embargo, todavía hay algunas cuestiones en el aire que deberían estudiarse con mayor profundidad porque podrían esconder la clave de nuevos y emocionantes descubrimientos. Además de un déficit de potencia en los multipolos bajos, el satélite *Planck* ha confirmado un conjunto de anomalías estadísticas de gran escala en la distribución de anisotropías de la RFCM que habían sido ya detectadas por *WMAP*, como por ejemplo un alineamiento de los multipolos de bajo orden, una región particularmente fría o una asimetría de potencia por hemisferios. Esta tesis se centra en el análisis de dos de estas anomalías estadísticas y en el problema de separación de componentes en cosmología.

Uno de los capítulos de la tesis se dedica al problema de separación de componentes, como paso previo y crucial del análisis de las propiedades estadísticas de la RFCM, especialmente en aquellos experimentos diseñados para medir el modo B de polarización. En esta línea, se describe y se aplica un ajuste de plantillas internas, que constituye una parte de la metodología de SEVEM, uno de los procedimientos de separación de componentes usados por la Colaboración *Planck*. El método utiliza únicamente datos internos del experimento que se considere, siempre y cuando disponga de canales en diferentes frecuencias. Además, asume únicamente las propiedades estadísticas que se esperan de la RFCM, sin imponer modelos específicos para el resto de contaminantes. El trabajo demuestra la utilidad del método en los datos de polarización del satélite de *WMAP*.

En otro de los capítulos, se usa un método que utiliza la correlación entre temperatura y polarización de la RFCM para caracterizar la naturaleza de la Mancha Fría. La hipótesis de que esta anomalía constituya únicamente una fluctuación primordial de inusuales características se contraponen a la hipótesis de que fuera originada por un proceso que no conlleve componente polarizada, como el efecto provocado por una anisotropía secundaria. Para sensibilidades típicas alcanzadas por experimentos actuales y futuros, como *Planck* o QUIJOTE, se esperan valores de significación (para distinguir entre las dos hipótesis, fijando la potencia del test en  $1-\beta = 0.5$ ) de 7,4% y 1,5%, respectivamente; mientras que la aplicación a los datos de *WMAP* revela que son demasiado ruidosos para llegar a una conclusión con este método.

Finalmente, se busca una modulación dipolar en la distribución de galaxias de NVSS. Basándose en la detección de una modulación de estas características en la RFCM, se establecen dos posibilidades: (a) que la asimetría se deba a procesos que ocurren en el universo muy temprano y (b) que sea debida a una distribución anisótropa de la estructura local. La ausencia de modulación en los datos de NVSS se plantea como evidencia a favor de la segunda hipótesis. El estudio de catálogos de galaxias que exploren otros rangos de corrimiento al rojo permitiría acotar una posible anisotropía secundaria responsable de la asimetría presente en la RFCM.

Tesis disponible en

<http://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/5898>

## Dinámica del Vórtice Polar Sur de Venus

Autora: Itziar Garate Lopez (itziar.garate@ehu.eus)

Tesis doctoral dirigida por:

Agustín Sánchez Lavega y Ricardo Hueso Alonso

Centro: Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad del País Vasco

Fecha de lectura: 18 de diciembre de 2014

El Vórtice Polar Sur es una estructura permanente pero altamente caótica en la atmósfera de Venus, cuya dinámica aún no ha podido ser comprendida por completo. Por ello, el objetivo principal de la tesis ha sido obtener mapas de viento y temperatura, para poder calcular a partir de estos la vorticidad potencial, magnitud que caracteriza el comportamiento dinámico de un fluido.

Primero, se midió la velocidad del viento a dos niveles de altura sobre el polo sur del planeta (en el intervalo de latitudes 60°S - 90°S). Para ello se usaron imágenes infrarrojas tomadas por el instrumento VIRTIS-M de la nave espacial europea Venus Express. Las imágenes tomadas a 1.74 μm muestran la radiación proveniente de la baja atmósfera filtrada por las nubes inferiores (situadas a ~ 42 km de altura en la región polar), mientras que las imágenes tomadas a 3.8 o 5.1 μm presentan la emisión térmica de las nubes superiores (a ~ 63 km de altura cerca de los polos). El análisis se llevó a cabo para un total de 21 órbitas de la nave (1 órbita = 24 horas), en las que el vórtice presentaba una gran variedad de morfologías.

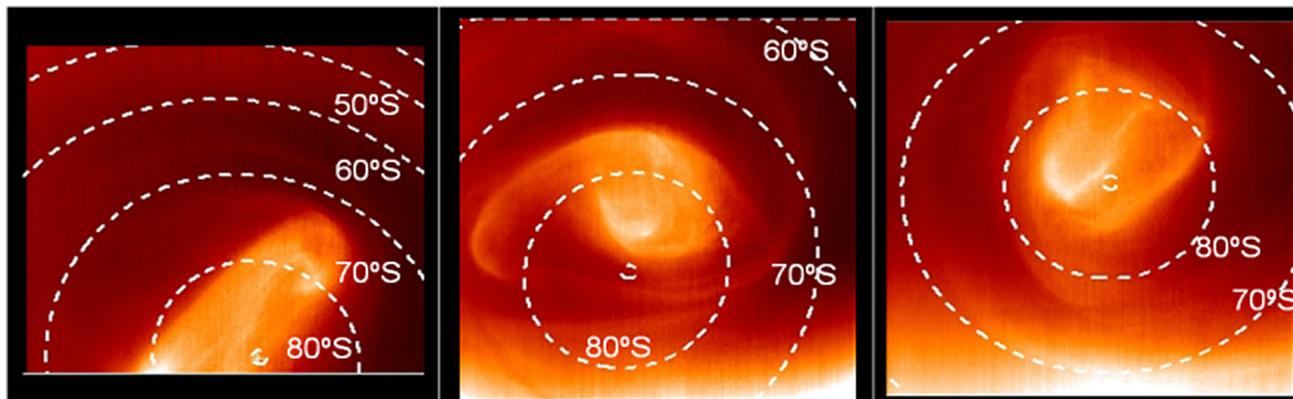
El estudio ha mostrado que el vórtice es más caótico y errático de lo esperado. El centro de rotación obtenido a partir de las líneas de corriente del campo de velocidades instantáneo, se desplaza de manera impredecible alrededor del polo sur (cruzándolo en muchas ocasiones) en las dos capas nubosas. En la nube inferior el centro de rotación suele estar más alejado del polo que en la nube superior, lo que implica que el vórtice es una estructura curvada en la vertical. Por otro lado, hemos encontrado que la cizalla vertical del viento entre ambas capas es muy baja al promediar los datos correspondientes a todas las órbitas, pero que la cizalla instantánea (calculada para una sola órbita) puede ser considerable e incluso negativa, con vientos más intensos en la nube inferior (algo no observado hasta ahora).

A continuación, se desarrolló un código para la obtención de perfiles de temperatura entre los 55 y 85 km de altura sobre el lado nocturno del planeta a partir de espectros de radiancia obtenidos con el mismo instrumento VIRTIS en el intervalo de longitudes de onda 4.2-5.1 μm. Se construyeron mapas de temperatura de alta resolución espacial en la región polar sur de Venus, estudiando así la distribución térmica tridimensional para tres de las morfologías analizadas en el estudio del viento. Estos mapas han confirmado las grandes diferencias de temperatura (~ 50 K) entre el núcleo caliente del vórtice y el cold collar (una corriente de aire más frío que rodea el vórtice) en distancias horizontales de tan sólo 500 km. Además, han mostrado que la impronta térmica del vórtice está confinada a latitudes mayores a 75°S por debajo de los ~ 74 km de altura, donde se extiende hacia latitudes sub-polares, y que su límite superior está a ~ 80 km de altura.

A partir de los perfiles térmicos obtenidos también investigamos la distribución de la estabilidad estática en la atmósfera polar de Venus. Entre los 55 y 85 km de altura, la estabilidad estática es positiva en toda la región analizada, siendo el cold collar la estructura más estable verticalmente y los filamentos presentes dentro del vórtice las estructuras menos estables (ver Figura).

Por último, combinando los campos de velocidad y de temperatura, se obtuvieron mapas de vorticidad potencial a la altura de la cima de las nubes (55-62 km). Estos mapas de vorticidad potencial son un resultado novedoso, sin precedentes en la literatura, que muestran un vórtice altamente deprimido en la vertical y con una estructura general que apunta hacia un anillo de vorticidad al igual que en los vórtices polares de Marte. Hemos encontrado que el componente cinético domina sobre la estructura térmica y que existe cierta anti-correlación entre las regiones de baja vorticidad potencial y alta temperatura, tal y como se observa en los vórtices polares terrestres.

Nuestros resultados permitirán avanzar en el estudio de los aspectos dinámicos que determinan la morfología variable del vórtice y el papel que desempeña en la circulación atmosférica global del planeta. El objetivo actual es extender el estudio de la evolución de la vorticidad potencial del Vórtice Polar Sur de Venus, analizando para ello más configuraciones del vórtice. También se pretende ampliar el cálculo de la vorticidad potencial a alturas mayores para poder desarrollar, como objetivo final, un modelo dinámico consistente que reproduzca la alta variabilidad y el comportamiento impredecible del vórtice.



Imágenes tomadas a 5 μm por el instrumento VIRTIS-M de la nave Venus Express que muestran las tres configuraciones del Vórtice Polar Sur de Venus consideradas en el estudio térmico. Estas imágenes presentan una alta correlación con las estructuras obtenidas en los mapas térmicos de la cima de las nubes (55-62 km). Los filamentos de mayor radiancia en las imágenes son estructuras de mayor temperatura.

## Estudio multifrecuencia de las poblaciones de galaxias en cúmulos de galaxias a desplazamientos al rojo intermedios: el caso de RXJ1257+4738 a $z \approx 0.9$

Autora: Irene Pintos Castro

([ipintos@cab.inta-csic.es](mailto:ipintos@cab.inta-csic.es))

Tesis doctoral dirigida por: Miguel Sánchez

Portal y Jordi Cepa Nogué

Centro: Universidad de La Laguna

Fecha de lectura: 29 de enero de 2015

“Los cúmulos de galaxias son las estructuras virializadas más grandes del Universo” es una de las frases más empleadas dentro de la investigación en la rama de los cúmulos de galaxias. Esto es así debido a que tales sistemas gravitacionalmente unidos resultan ser laboratorios ideales para el estudio directo de su contenido bariónico (el medio intracumular y sus galaxias) y también de forma indirecta medir su contenido de materia oscura.

En la presente tesis centramos nuestra atención en la población de las galaxias dentro de los cúmulos con el fin de arrojar algo de luz en el conocimiento sobre cuáles pueden ser los mecanismos que actúan sobre las galaxias produciendo las transformaciones morfológicas, el estallido/truncamiento de la formación estelar, cambios en los colores, etc. Hemos investigado las propiedades físicas de estas poblaciones de galaxias en dos cúmulos distantes con el objetivo de restringir los procesos físicos que gobiernan la evolución de los cúmulos y sus galaxias miembro.

Con este fin, hemos empleado una novedosa técnica observacional, como son los filtros sintonizables (TF de sus siglas en inglés) de OSIRIS/GTC, para detectar galaxias con líneas de emisión. En concreto, presentamos el cartografiado de dos líneas:  $H\alpha$  en el cúmulo Cl0024+1654 a  $z \approx 0.4$ , y [OII] en el cúmulo RXJ1257+4738 a  $z \approx 0.9$ . Dado que la técnica usada es poco frecuente, hemos incluido en este manuscrito una descripción detallada de los procedimientos realizados para llegar a los catálogos finales desde los datos crudos. Los catálogos finalmente derivados para cada uno de los cúmulos demuestran la gran capacidad de los TFs para obtener una muestra robusta de galaxias miembro. Los resultados obtenidos muestran cómo somos capaces de determinar la posición de la línea con alta precisión, lo que nos permite calcular velocidades radiales comparables a las que obtendríamos con datos espectroscópicos de baja resolución, y de derivar el flujo de la

línea, lo que nos permite estimar la tasa de formación estelar. Además, en el caso particular de Cl0024, hemos demostrado también el potencial de las galaxias con líneas de emisión para estimar, empleando el método de las cáusticas de Diaferio et al. (1997), la masa total de cúmulo. Para este cúmulo, los datos del TF también nos han permitido separar las líneas de  $H\alpha$  y [NII], de forma que somos capaces de estudiar la población de galaxias con núcleos activos.

El análisis del cúmulo RXJ1257, que es el objetivo principal de esta tesis, lo hemos realizado en tres bloques: la visión infrarroja, el cartografiado en la línea de emisión de [OII], y la caracterización morfológica de las galaxias. En este caso, además de utilizar datos tomados con la técnica del TF, el estudio completo ha sido posible gracias al uso de un conjunto de datos multifrecuencia que cubren desde el óptico al infrarrojo lejano. Este conjunto de datos incluye: imagen en banda ancha *griz'* de OSIRIS/GTC, imagen en la banda J de LIRIS/WHT, las cuatro bandas de IRAC/*Spitzer*, la banda de  $24\mu\text{m}$  de MIPS/*Spitzer*, las bandas de  $100$  y  $160\mu\text{m}$  de PACS/*Herschel*, y las tres bandas de SPIRE/*Herschel*. El primer paso fue crear un catálogo de miembros fiables del cúmulo ( $\sim 300$  galaxias) mediante el ajuste de plantillas a la distribución espectral de energía obtenida con los datos multifrecuencia. A continuación analizamos las poblaciones de emisores en infrarrojo lejano y [OII]. Como resultado, observamos que las subestructuras del cúmulo tienen una distribución filamentosa con la población de galaxias con emisión situada preferentemente en los medios de densidad intermedia, lo que sugiere que RXJ1257 es un cúmulo aún en formación. Hemos encontrado que una galaxia media con formación estelar forma las mismas estrellas por unidad de tiempo, independientemente de la zona de densidad en la que se encuentre. Por el contrario, el número relativo de galaxias con formación estelar frente al número total de galaxias es significativamente mayor en medios de densidad intermedia a, incluso, alta. Por lo tanto, para este cúmulo, hemos observado que el truncamiento de la actividad de la formación estelar aún no ha tenido lugar, incluso en las zonas de mayor densidad local de galaxias. Debido a que las poblaciones de emisores FIR y de [OII] no solapan por completo, hemos investigado las tres muestras de galaxias con formación estelar (emisores sólo en [OII], sólo con FIR, y con detección en ambos), obteniendo que la explicación más plausible a la falta de emisión en [OII] en la población más masiva y roja de emisores FIR es la atenuación producida por el polvo.

Por último, esta tesis incluye una clasificación detallada de los miembros del cúmulo RXJ1257. En este trabajo hemos usado los métodos no paramétricos implementados en el código galSVM (Huertas-Company et al. 2008) para mostrar la viabilidad de una clasificación morfológica parcial de galaxias en cúmulos a  $z \approx 0.9$  con datos de telescopios en tierra, como el GTC. El análisis de la clasificación obtenida señala que incluso en un cúmulo tan joven y distante como RXJ1257 las galaxias de tipo temprano ya se concentran en las regiones más densas, mientras que las galaxias de tipo tardío tienden a situarse a cierta distancia del centro del cúmulo.

## Distribución de abundancias químicas en estrellas del halo de la Vía Láctea

Autora: Emma Fernández Alvar  
(emmafa\_ext@iac.es)

Tesis doctoral dirigida por:

Carlos Allende Prieto

Centro: Universidad de La Laguna / Instituto de Astrofísica de Canarias

Fecha de lectura: 17 de abril de 2015

El tema de esta tesis es la composición química de las estrellas del halo de la Vía Láctea. El “*Sloan Digital Sky Survey*” (SDSS) posee una base de datos de espectros de más de 750,000 estrellas, abarcando las principales componentes de la Galaxia, incluyendo el halo, en un amplio rango de distancias. La mayoría de estos espectros forman parte de un proyecto específico sobre la Galaxia, el “*Sloan Extension for Galactic Understanding and Exploration*” (SEGUE), y su extensión (SEGUE-2). Un conjunto considerable de espectros de estrellas de tipo F pertenecientes al punto de giro del halo fueron obtenidos durante el proyecto “*Baryonic Oscillations Spectroscopic Survey*” (BOSS), y son de gran valor para el estudio del halo puesto que constituye uno de los más grandes conjuntos homogéneos de estrellas observadas a altas latitudes galácticas.

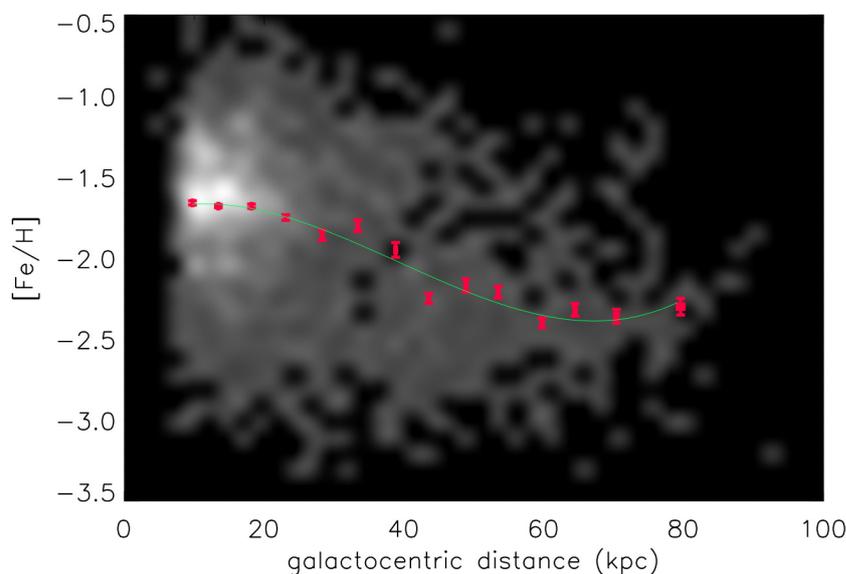
Hemos determinado los parámetros estelares y la metalicidad a partir de los espectros de baja resolución disponibles en la base de datos del SDSS, utilizando el código FERRE. Nuestros parámetros han sido comparados con análisis publicados anteriormente para estrellas observadas con SDSS, como los proporcionados por la “*SEGUE Stellar Parameter Pipeline*” (SSPP), encontrando buen acuerdo. El análisis de estrellas pertenecientes al cúmulo globular M13 revela que los errores aleatorios de nuestras estimaciones de metalicidad son significativamente más bajos que los de las medidas de la SSPP. Por otra parte, el análisis en M13 revela que nuestros resulta-

dos subestiman las gravedades y metalicidades para estrellas de baja gravedad ( $\log g < 2.5$ ). La función de distribución de metalicidad del halo (MDF) ha sido derivada a partir de una muestra de  $\sim 16,000$  estrellas de calibración tipo F en BOSS. La MDF resultante muestra un pico a  $\sim -1.6$  y cae rápidamente hacia metalicidades más altas. Por el contrario, se observa una cola que se extiende hasta metalicidades muy bajas. La forma de la MDF cambia cuando se restringe la muestra a estrellas situadas a distancias desde el Sol mayores que  $\sim 20$  kpc, revelando un doble pico, el segundo de ellos a  $\sim -2.2$ .

Las abundancias individuales de Fe, Ca y Mg han sido derivadas para una muestra de espectros de SDSS a los que se han asignado, a partir de nuestro análisis, temperaturas efectivas en el rango  $5800 < T_{\text{eff}} < 6300$  K y gravedades  $\log g > 2.5$ . Se han calculado distancias para estas estrellas a partir de estimaciones de magnitudes absolutas obtenidas de la comparación estadística con un conjunto de isocronas. El examen de las tendencias de abundancias individuales con la distancia al centro de la Galaxia,  $r$ , revela una disminución global de la metalicidad a grandes distancias. Los valores de la mediana de la metalicidad calculados son aproximadamente constantes hasta  $r \sim 20$  kpc, descienden, y se aplanan más allá de  $\sim 40$  kpc. Los valores de  $[\text{Ca}/\text{Fe}]$  y  $[\text{Mg}/\text{Fe}]$  resultantes han sido también examinados en función de  $r$  y  $[\text{Fe}/\text{H}]$ . Hemos encontrado que, en el rango  $-1.6 < [\text{Fe}/\text{H}] < -0.4$ ,  $[\text{Ca}/\text{Fe}]$  disminuye con la distancia, en acuerdo con anteriores resultados basados en estrellas cercanas. Sin embargo  $[\text{Mg}/\text{Fe}]$  parece seguir la tendencia opuesta. Nuestra conclusión es que las regiones más externas del halo son más pobres en metales que las regiones internas, basada en observaciones in situ de estrellas locales, y con predicciones de recientes simulaciones de formación de galaxias similares a la Vía Láctea.

Finalmente, hemos derivado parámetros estelares y abundancias de hierro, calcio y magnesio para un conjunto de 174 estrellas muy pobres en metales. Teniendo en cuenta la dificultad de medir hierro y magnesio en espectros de tan baja resolución y señal a ruido ( $\sim 30$ ), hemos diseñado una metodología para determinar límites superiores de las abundancias de estos elementos. Los valores de  $[\text{Ca}/\text{Fe}]$  y  $[\text{Mg}/\text{Fe}]$  obtenidos son consistentes con el esperado  $+0.4$  dex, aunque dos estrellas muestran  $[\text{Ca}/\text{Fe}]$  y  $[\text{Mg}/\text{Fe}]$  significativamente mayores.

Diagrama de Hess que muestra la densidad relativa de estrellas del conjunto seleccionado en SDSS/SEGUE (2835 estrellas), situadas a más de 5 kpc del plano de la Galaxia, en función de la abundancia de hierro,  $[\text{Fe}/\text{H}]$ , y la distancia al centro de la Galaxia,  $r$ . Los puntos rojos representan la mediana de  $[\text{Fe}/\text{H}]$  calculada en intervalos de 5 kpc en  $r$ . La línea verde corresponde al ajuste de estos valores a un polinomio de tercer grado. La figura muestra cómo la abundancia de hierro en el halo disminuye con la distancia.



## Restricciones a las propiedades en las magnetosferas de las estrellas T Tauri a través del estudio de líneas espectrales en el ultravioleta

Autor:a Fátima López Martínez  
(fatimalopezmar@gmail.com)

Tesis doctoral dirigida por:

Ana Inés Gómez de Castro

Centro: Universidad Complutense de Madrid

Fecha de lectura: 22 de abril de 2015

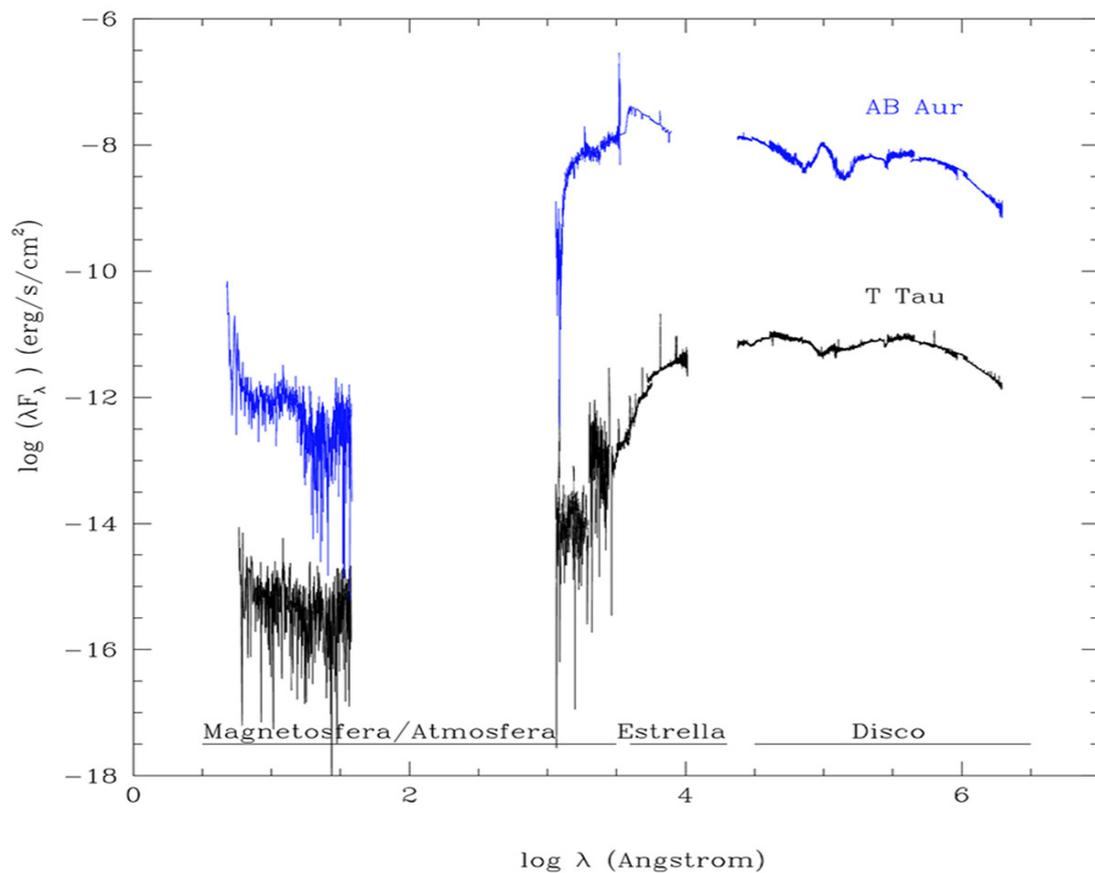
Las estrellas T Tauri (ETT) son estrellas pre-secuencia principal de baja masa con discos circunestelares y campos magnéticos complejos. El material ionizado de la parte interior del disco es conducido a través de las líneas del campo magnético y es acelerado hasta alcanzar velocidades casi en caída libre cerca de la superficie estelar donde se forma un choque de acreción donde la energía producida es liberada principalmente en el rango ultravioleta y rayos X. Desde el punto de vista observacional, las ETT se dividen en dos grupos: las clásicas (ECTT) que están acretando masa desde el disco y las débiles (EWTT) que tienen pocos o ningún rasgo espectroscópico asociado a acreción. En esta tesis hemos analizado diferentes líneas espectrales en el ultravioleta (C II], Fe II], Si II] y Mg II] que se forman en distintas regiones de las magnetosferas en las ETT. Hemos analizado 126 espectros, para una muestra de 44 ETT, que se extrajeron de los archivos de las misiones del International Ultraviolet Explorer y del Hubble Space Telescope. La muestra incluye espectros de ECTT y EWTT, con un rango muy amplio de propiedades, lo cual nos ha permitido realizar estudios estadísticamente significativos y derivar importantes restricciones a las propiedades de las ETT.

Las líneas del C II], Fe II] y Si II] son ópticamente delgadas, por lo que sus razones de intensidades pueden usarse para medir las propiedades de la región de formación de una manera precisa, e independientemente de la geometría del sistema. Sin embargo, en sus espectros todas estas líneas aparecen mezcladas, haciendo muy difícil la identificación de cada una de ellas. Por lo que hemos desarrollado un código basado en IDL para simular espectros sintéticos usando las razones de flujo teóricas calculadas previamente con CHIANTI. El programa identifica el espectro sintético que mejor ajusta al observado, obteniendo las propiedades del plasma emisor tales como densidad electrónica y temperatura. Este método lo hemos aplicado a espectros de ECTT, ya que estas líneas no se observan en las EWTT. Hemos obtenido que en la mayoría de las ETT, las líneas del C II], Fe II] y Si II] se forman en una región con temperaturas entre 104.1 y 104.2 K densidades entre los 108 y 1012 partículas por  $\text{cm}^3$ . También hemos encontrado que el ensanchamiento de las líneas es supratérmico en todas las fuentes excepto en TW Hya y CY Tau. Estos valores son consistentes con la radiación dominada por flujos de acreción magnetosféricos cerca del disco, de acuerdo con los modelos estándar de acreción magnetosférica. TW Hya y CY Tau son las

fuentes donde hemos encontrado las temperaturas y densidades más altas de la muestra y con los ensanchamientos de las líneas térmicos, por lo que las líneas se forman probablemente en una región más cercana a la estrella que en el resto de las fuentes. Para tres estrellas de la muestra (DG Tau, FU Ori y RY Tau) hemos encontrado que los centroides de las líneas están desplazadas al azul, debido probablemente a la contribución de vientos y/o chorros, lo cual sugiere que las propiedades en la base de los vientos/chorros son similares a las de la base del flujo de acreción (Lopez-Martinez & Gómez de Castro, 2014).

Por otro lado, las líneas de resonancia del Mg II son las más fuertes en el rango ultravioleta cercano en los espectros de las ETT y además son trazadores de las atmósferas y vientos/chorros de las ETT, ya que muestran rasgos típicos tanto del proceso de acreción como de los vientos. Encontramos que los perfiles del Mg II en las EWTT son estrechos y simétricos, mientras que los de las ECTT son anchos y no son simétricos, debido a que el ala azul está absorbido debido al viento. En los perfiles del Mg II, tanto en las ECTT como en las EWTT, se observa una componente de absorción estrecha central. En algunas de las fuentes hemos observado unos bordes azules bien definidos, indicando que el viento alcanza la velocidad terminal, y para aquellas fuentes que no está bien definido hemos "construido" un perfil artificial para poder medir la velocidad terminal del viento. También hemos observado en algunos perfiles componentes discretas de absorción, lo que sugiere que en algunos casos se produce una eyección de masa episódica. En este trabajo hemos realizado una caracterización de los perfiles midiendo todos los flujos, ensanchamientos, asimetría, velocidad terminal del viento y velocidades de las componentes discretas de absorción para cada una de las fuentes. Encontramos que los ensanchamientos de las líneas en las EWTT son producidas por la velocidad térmica del plasma y la rotación estelar, mientras que otros procesos están contribuyendo al ensanchamiento de las líneas en las ECTT. Por último, hallamos que parte de la emisión en estas líneas proviene de la cromosfera, vientos y el proceso de acreción, aunque conocer la contribución proveniente de cada una de ellas es muy complejo y dependiente del modelo, por lo que se hace necesario hacer programas de seguimiento (Lopez-Martinez & Gómez de Castro, 2015).

Distribución de energía espectral de T Tau (negro) y AB Aur (azul). T Tau es un prototipo de objeto estelar joven de baja masa como los estudiados en esta tesis. En este trabajo hemos analizado la emisión ultravioleta que proviene de regiones de la magnetosfera, principalmente.



# JAVIER GOROSABEL, IN MEMORIAM

Ha sido un semestre duro para la astronomía española. Ha muerto uno de nuestros grandes científicos: Javier Gorosabel. Javier conjugaba en su vida una trayectoria profesional impresionante, con un carácter personal entrañable. Ello ha hecho de él uno de los astrónomos españoles más reconocidos internacionalmente y más queridos dentro de la comunidad astronómica nacional.

Nació en Éibar y, de hecho, siempre presumió de eibarrés. Cuando tenía un hueco, volvía a su tierra en busca de fuerzas: el trabajo físico en el caserío, las caminatas por el monte y las miradas al mar Cantábrico le servían para recargar su energía para el trabajo científico. Su carrera le llevó a numerosas instituciones: se licenció en Físicas en la Universidad Complutense de Madrid; realizó su trabajo doctoral en el LAEFF-INTA bajo la dirección de Alberto Castro Tirado; se doctoró en la Universidad de Valencia; disfrutó de un contrato Marie Curie en Amsterdam (en el Instituto "Anton Panenckoek") y en Copenhague (trabajando en el "Danish Space Research Institute"); obtuvo un contrato "Ramón y Cajal", con el que se incorporó al Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC); trabajó durante un año en el "Space Telescope Science Institute", observando los estallidos de rayos gamma con el telescopio espacial Hubble; obtuvo la plaza de Científico Titular en el CSIC en el año 2006 y promocionó a Investigador Científico en 2010, todos estos años enclavado en el IAA-CSIC, y hace dos años se incorporó al grupo de "Ciencias Planetarias" de la Universidad del País Vasco a través de la Unidad Asociada CSIC-UPV. En todos estos lugares ha dejado su impronta y es y será recordado como un astrónomo brillante y una persona excepcional.

Javier centró su carrera en el estudio de los estallidos de rayos gamma (GRB) y su nombre siempre aparecía en aquellos artículos que suponían un salto en el conocimiento: participó en el equipo que consiguió el primer espectro óptico de un GRB, obtenido con el telescopio de 2,2 metros del observatorio de Calar Alto (observatorio al que apoyó incansablemente); estudió las galaxias anfitrionas de los GRBs, para lo que participó en un proyec-

to de legado del Observatorio Europeo Austral (ESO); contribuyó a la asociación entre los GRB y las supernovas Ib/c, que aparecen tras el gran fogonazo, a través del estudio de la evolución temporal del espectro multirango; fue co-investigador en el descubrimiento de los GRB detectados a mayores corrimientos al rojo; participó activamente en la detección de polarización óptica de GRB con los telescopios VLT, caracterizando con sumo detalle la polarización instrumental y, siguiendo en este campo, formó parte del equipo investigador que detectó por primera vez la polarización circular en un GRB, lo que cuestionaba los mecanismos de aceleración de las partículas relativistas en los chorros resultantes del colapsar. Podrían citarse muchos más ejemplos. Todo ello ha llevado a su participación en más de 800 entradas en el ADS, con más de 11 000 citas. Sin duda, un curriculum excepcional, de primer nivel.

Javier obtuvo tiempo de observación con los mejores telescopios como VLT, HST, Gemini o GTC. Pero además, Javier mostró siempre un interés por los proyectos más instrumentales: ha sido co-investigador de la red de telescopios robótico BOOTES; fue responsable de la automatización de las operaciones del telescopio de 1.23 metros de Calar Alto; fue co-Investigador Principal del instrumento de segunda generación, OCTOCAM, propuesto para el GTC para el estudio de objetos transitorios; o el nuevo polarímetro que preparaban para Calar Alto.

A los amigos más cercanos se les queda un hueco en el corazón difícilmente reemplazable; a los colegas científicos, el orgullo de haber compartido horas de trabajo y discusión con Javier; a la SEA, la tristeza por el vacío que deja uno de sus socios más activos, presente en casi todas las asambleas científicas. Todos recordaremos su inteligencia, su honestidad, su generosidad, y su fino sentido del humor ... ¡Hasta siempre, Javier!

Junta Directiva de la  
Sociedad Española de Astronomía





**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