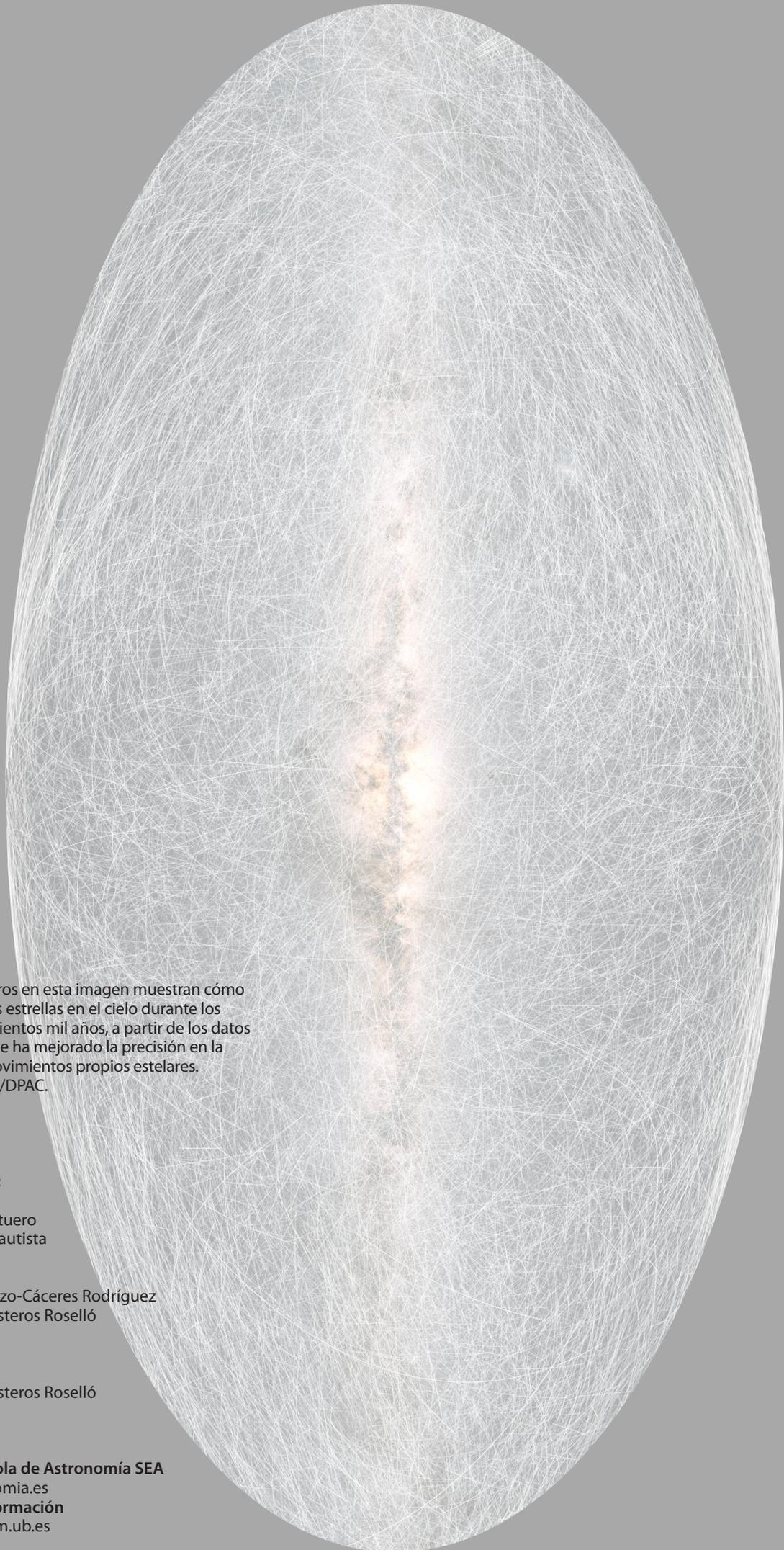


SEA

Sociedad Española de Astronomía



Portada: Los rastros en esta imagen muestran cómo se desplazarán las estrellas en el cielo durante los próximos cuatrocientos mil años, a partir de los datos del Gaia EDR3, que ha mejorado la precisión en la medida de los movimientos propios estelares.
Crédito: ESA/Gaia/DPAC.

Comité editorial:

Consuelo Cid Tortuero
Nuria Huélamo Bautista
José María Diego
Marc Ribó
Adriana de Lorenzo-Cáceres Rodríguez
Fernando J. Ballesteros Roselló
Amelia Ortiz Gil

Maquetación:

Fernando J. Ballesteros Roselló

ISSN:1575-3476

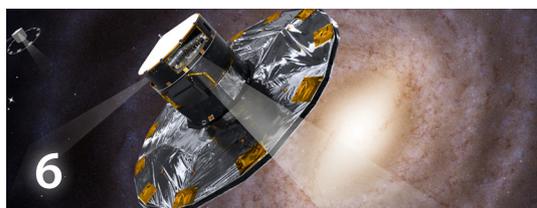
Sociedad Española de Astronomía SEA

www.sea-astronomia.es

Comisión de Información

comi-info@sea.am.ub.es

CONTENIDOS



- 5 Editorial
- 6 Últimas observaciones de Gaia y a buen ritmo hacia DR4
- 14 51 Peg b cumple 30 años
- 18 25 años explorando el universo desde el Instituto de Ciencias del Espacio
- 26 Efeméride: Astrofísica en Canarias
- 40 50 aniversario del IAA-CSIC. La astrofísica desde Granada
- 52 Ecos de (la) Sociedad
- 53 Libros
- 54 Tesis doctorales

Fuegos artificiales bajo la Vía Láctea,
celebrando varios aniversarios astronómicos.





EDITORIAL

La pasada primavera saltaba a la actualidad la noticia del apagón de Gaia, después de más de 10 años de observaciones. Felicidades a todo el consorcio de esta misión y gracias a Friedrich Anders, Alfred Castro-Ginard, Mercè Romero-Gómez y Minia Manteiga por abrir el boletín hablándonos de las últimas observaciones de Gaia y de cómo serán los nuevos datos. También estamos contentos de presentar una serie de artículos que se unen a celebraciones de cumpleaños. José A. Caballero nos cuenta el descubrimiento del primer exoplaneta, 51 Peg b, hace ya 30 años. Además, 2025 es un año para celebrar los aniversarios “redondos” de tres instituciones muy relevantes para la astrofísica española. Alba Calejero, Aldo Serenelli, Mar Mezcua y Jorge Rivero nos describen el “viaje” de 25 años del Instituto de Ciencias del Espacio. A continuación, Carmen del Puerto nos escribe sobre la efeméride de los 50 años de la creación del Instituto de Astrofísica de Canarias y los 40 de la inauguración del conjunto astrofísico en el archipiélago canario. Terminando con las celebraciones, Antxon Alberdi e Isabel Márquez nos resumen la astrofísica que se hace desde Granada, en el 50 aniversario del Instituto de Astrofísica de Andalucía. Enhorabuena a todo el personal de estas tres instituciones y gracias por todo vuestro trabajo, que ha contribuido con hitos científicos muy relevantes haciendo la Astronomía una ciencia con “A” mayúscula. Además, podrán encontrar las secciones habituales de Ecos de (la) Sociedad, Tesis Doctorales y la interesante reseña de un libro propuesto por Enric Marco. Desde el Comité Editorial esperamos que disfruten leyendo este Boletín.

Consuelo Cid Tortuero
Universidad de Alcalá

ÚLTIMAS OBSERVACIONES DE GAIA

Gaia ha completado exitosamente observaciones durante 10.5 años, más del doble del tiempo previsto nominalmente. El pasado 15 de enero de 2025 realizó las últimas observaciones dedicando sus últimos instantes de operación científica a observar 61 Cygni, estrella para la cual F. W. Bessel determinó por primera vez su distancia mediante el paralaje trigonométrico en 1838.



Friedrich Anders
fanders@fqa.ub.edu

Alfred Castro-Ginard
acastro@icc.ub.edu

Mercè Romero-Gómez
mromero@icc.ub.edu

Institut de Ciències del Cosmos (IEEC-UB)

Minia Manteiga
minia.manteiga@udc.es

CITIC, Universidade da Coruña

LA ÚLTIMA OBSERVACIÓN DE GAIA Y LA DESCONEXIÓN DEL SATÉLITE EN MARZO 2025

61 Cygni nos recuerda, por una parte, cuán meritorio fue el conseguir hace casi doscientos años una medida de distancia mediante un heliómetro y, a la vez, nos muestra el salto cualitativo que se ha conseguido gracias a las misiones Hipparcos y Gaia de la ESA. 61 Cygni es una estrella con alto movimiento propio, observable todo el año desde Alemania (donde Bessel realizó las observaciones) y una estrella doble (ver Figura 1 izquierda).

De hecho, Bessel no da el paralaje a cada una de las componentes de 61 Cygni, sino más bien de su centro de masas. Utilizó dos estrellas más débiles (asumiendo más lejanas) de referencia para medir la distancia angular entre 61 Cygni y ellas entre agosto de 1837 y octubre de 1838 en una primera campaña y entre julio 1839 y marzo 1940 en una segunda ronda. Proporcionó un paralaje combinado al sistema de 61 Cygni de 314 mas con un error probable de 14 mas.

Entre las primeras medidas de Bessel y los datos espaciales de Hipparcos y Gaia ha habido todo un flujo de resultados varios que en lugar de reducir la barra de error, han ido ampliando su dispersión. Gaia DR3 (Gaia Collaboration, Vallenari et al 2023), en cambio, proporciona un paralaje de 285.995 ± 0.06 mas para 61 Cygni A y 286.005 ± 0.03 mas para 61 Cygni B, con errores del nivel de decenas de microsegundos de arco, 1000 veces más pequeños que los medidos por Bessel. En la Figura 1 derecha, se muestran las medidas astrométricas mensuales de 61 Cygni A durante los años en los cuales Gaia la ha observado. Se refleja claramente el efecto tanto del paralaje (ondulación) como su alto movimiento propio.

Una vez terminado el gas propulsor frío necesario para el control de actitud del satélite, indispensable para conseguir precisiones del nivel de microsegundo de arco, Gaia se enfrascó con los últimos tests tecnológicos que, entre otros, contribuirán al desarrollo de futuras misiones. Estos tests duraron hasta el día 27 de marzo de 2025 cuando finalmente se apagó. Un buen retiro después de unos fructíferos años de trabajo y casi 3000 millones de observaciones astrométricas, 2000 millones de objetos detectados (ver resumen de los datos e hitos en la Figura 2).

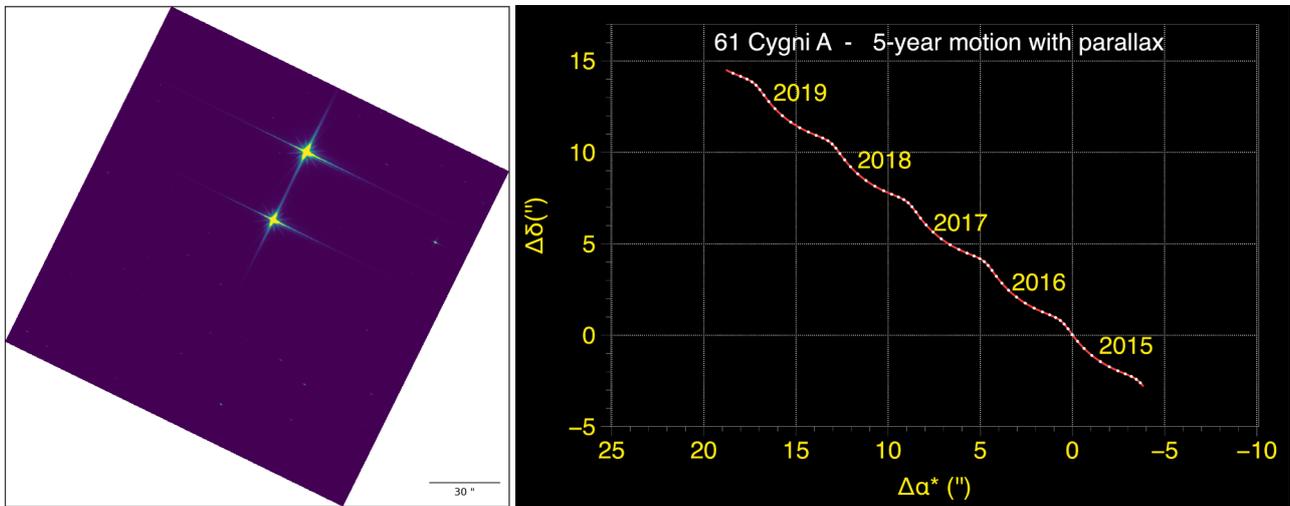
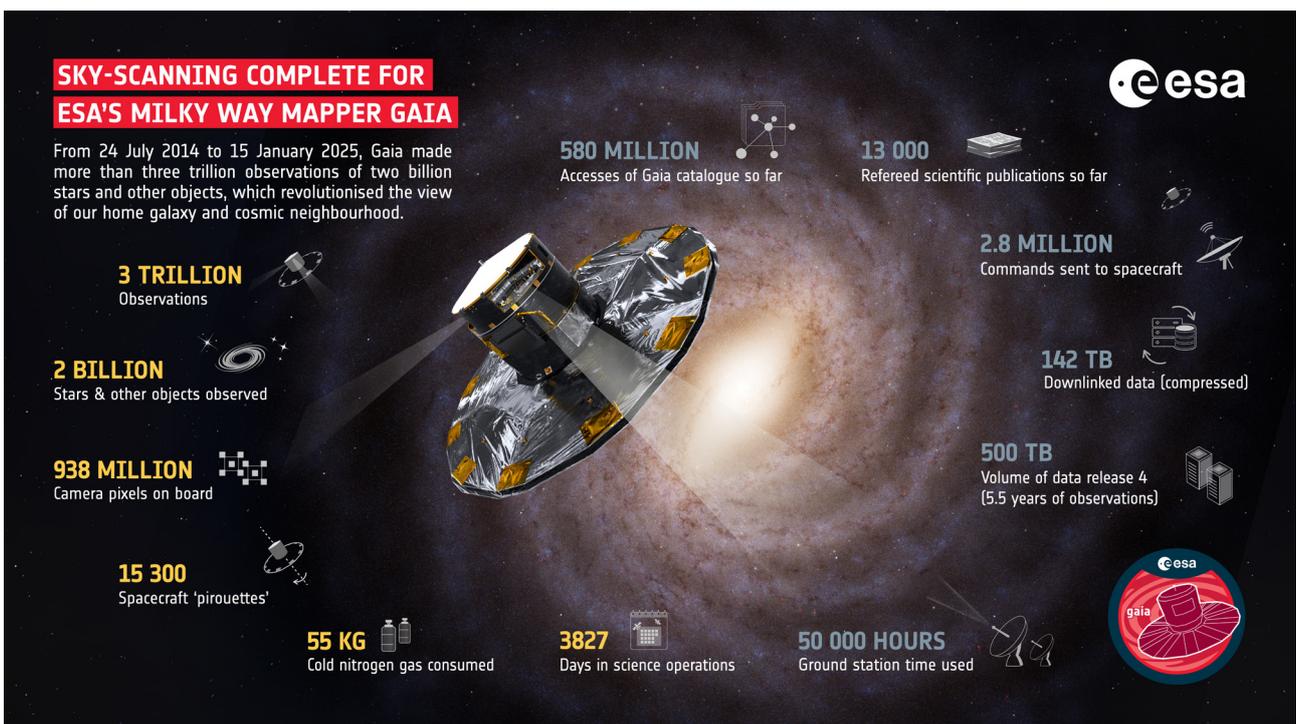


Figura 1. Izquierda: Visión final de 61 Cygni por Gaia el 10 de enero de 2025. Norte arriba y este a la izquierda. La escala se indica en la esquina derecha inferior. En la figura se ven 61 Cygni A (la más brillante al norte), 61 Cygni B más al sur y otras estrellas detectadas por Gaia. La escala de color indica la intensidad. Derecha: Desplazamiento aparente de 61 Cygni A en el plano del cielo durante los años en que Gaia la ha observado. La tendencia principal proviene del alto movimiento propio (cerca de 5.2"/año), mientras que la ondulación es el movimiento aparente anual de la paralaje. Los puntos marcan observaciones mensuales de las posiciones. Agradecimientos: François Mignard. Créditos: ESA/Gaia/DPAC - CC BY-SA 3.0 IGO.

Figura 2. Resumen de las detecciones, observaciones e hitos de Gaia durante la década en la cual ha estado tomando datos (créditos: ESA/Gaia/DPAC, CC BY-SA 3.0 IGO).



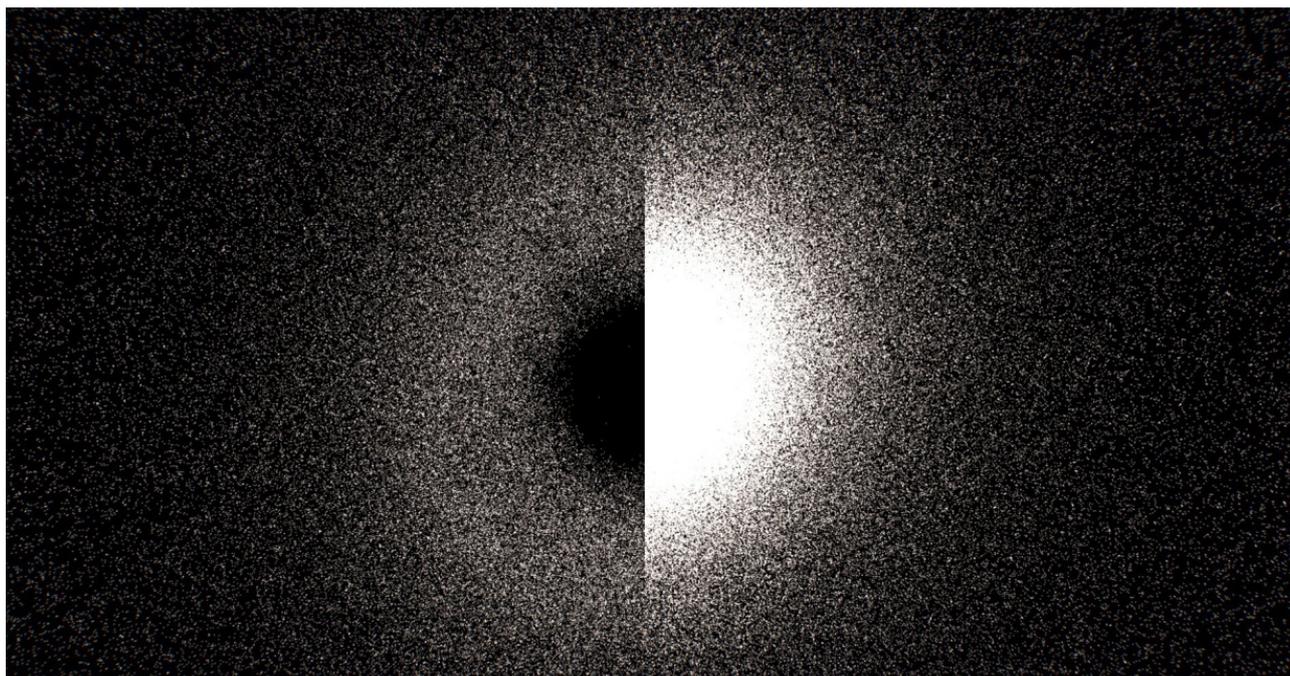
GAIA DR4: ¿CÓMO SERÁN LOS NUEVOS DATOS?

Aunque Gaia ha cerrado definitivamente sus ojos, el consorcio de Gaia DPAC (coordinado por la ESA) está trabajando a pleno rendimiento en la preparación de los próximos catálogos. Gaia DR4, con el procesado de los primeros 66 meses de misión, se espera para finales de 2026 mientras que la publicación del catálogo final (DR5), con 10.5 años de datos, no se prevé hasta finales de 2030.

El pasado 27 de marzo el consorcio DPAC publicó la descripción de los [contenidos del catálogo DR4](#). Son muchos los cambios respecto a publicaciones anteriores. Además de una reducción en un factor 1.4 y 2.7 en la incertidumbre en paralajes y movimientos propios, respectivamente, como también en fotometría y espectroscopia, contaremos entre otras novedades, con la publicación de los datos de época (observaciones individuales tránsito a tránsito) y los datos procedentes de nuevos módulos de reducción astrométrica (SEAPipe

y SIF). El volumen de datos se multiplica por 50, pasando de 10 a 500 TB, repartidos estos en más de cien tablas. El catálogo completo contará con 2700 millones de fuentes, un aumento significativo respecto a DR3, proporcionando, para cada una de ellas, información detallada sobre los contenidos disponibles, resultantes de los distintos módulos de procesado. La tabla habitual (gaia_source) contendrá la selección de aproximadamente 2000 millones de fuentes con datos de alta calidad astrométrica y fotométrica seleccionadas por el consorcio DPAC. Y, como no, contaremos también con determinaciones más precisas de velocidad radial, parámetros astrofísicos, astrometría y fotometría en zonas de alta densidad, fuentes extragalácticas, fuentes múltiples, objetos del sistema solar, exoplanetas, variabilidad, entre otros. El archivo de Gaia está siendo actualizado para absorber esa ingente cantidad de nueva información y contará con herramientas potentes como DataLink, entre otros.

Figura 3. Comparación de dos imágenes de Gaia en la región de omega Centauri. Izquierda: datos de Gaia DR3. Derecha: los nuevos datos a partir de imágenes de ingeniería publicados en el Focus Product Release (Gaia Collaboration, K. Weingrill et al., 2023).



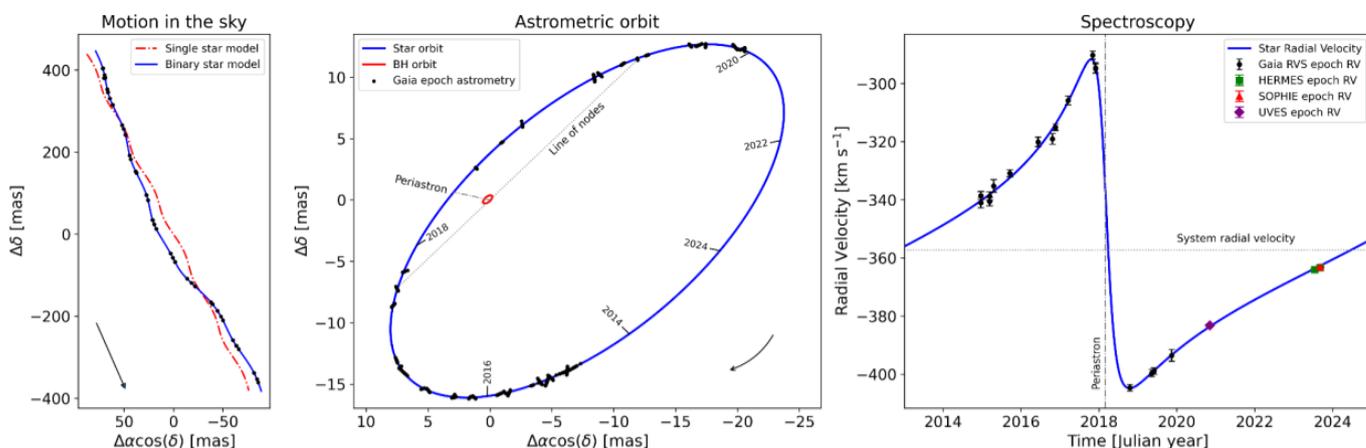


Figura 4. Izquierda: vista del ajuste astrométrico de GaiaBH3 y su estrella compañera en el plano del cielo. Medio: órbitas proyectadas en el plano del cielo. Derecha: evolución temporal de la velocidad radial de la estrella compañera (Gaia Collaboration: P. Panuzzo et al., 2024). Créditos: ESA/Gaia/DPAC - CC BY SA 3.0 IGO.

LAS PUBLICACIONES PREVIAS AL LANZAMIENTO DE DR4

Como un aperitivo de lo que nos espera, en octubre de 2023, el consorcio DPAC publicó cinco artículos, algunos de los cuales con datos astrométricos de los 66 meses de misión que se están procesando para DR4. A modo de ejemplo, en uno de estos artículos se publicó la astrometría y fotometría derivada de imágenes de ingeniería del cúmulo globular [omega Centauri](#) (ver Figura 3), un nuevo módulo de obtención y procesado de datos cuya estrategia será aplicada a ocho regiones más que incluirán las Nubes de Magallanes o la ventana de Baade (ver contenidos DR4). Un segundo artículo se dedicó a los [candidatos a lentes gravitacionales](#). También se publicaron las velocidades radiales individuales para [estrellas variables de largo periodo](#), el análisis de las [bandas difusas interestelares](#) de los espectros RVS, y una actualización de la astrometría de los objetos del [Sistema Solar](#). Quizás el resultado más mediático fue el descubrimiento del [agujero negro de origen estelar](#) BH3 (ver Figura 4). Descubierta durante la validación de los datos astrométricos del módulo de estrellas múltiples, Gaia BH3 es el compañero de una estrella vieja y pobre en metales a 590 pc. Su hallazgo confirma que las estrellas masivas bajas en metales pueden ser progenitoras de los agujeros negros masivos detectados por los telescopios de ondas gravitacionales.

INICIATIVAS COMPLEMENTARIAS PARA ENRIQUECER EL LEGADO DE GAIA

Datos tan precisos y complejos como los que aporta Gaia requieren de nuevas estrategias para alcanzar los objetivos inicialmente planteados. En esta línea, un extenso colectivo de “usuarios Gaia” está diseñando y desarrollando nuevas herramientas estadísticas –abiertas desde el primer día a toda la comunidad– que nos permiten abordar con rigor la explotación científica de estos datos. Solo para citar algunos ejemplos, presentamos aquí la labor llevada a cabo para proporcionar una estimación de distancias estelares no sesgada y los códigos que permiten tener en cuenta la llamada “función de selección de Gaia”. Resumimos también los avances en la adquisición de datos espectroscópicos complementarios a Gaia.

Distancias estelares, extinción interestelar y parámetros astrofísicos:

Para la comunidad de astrofísica galáctica, parámetros fundamentales como distancias o edades estelares son extremadamente importantes. Gaia de entrada “solo” nos proporciona los datos de astrometría, fotometría y espectroscopía y, por tanto, los parámetros físicos de las estrellas deben ser determinados a partir de estos datos. En el caso de medidas imprecisas o sesgadas, la deducción de estos parámetros no es trivial. Además, en

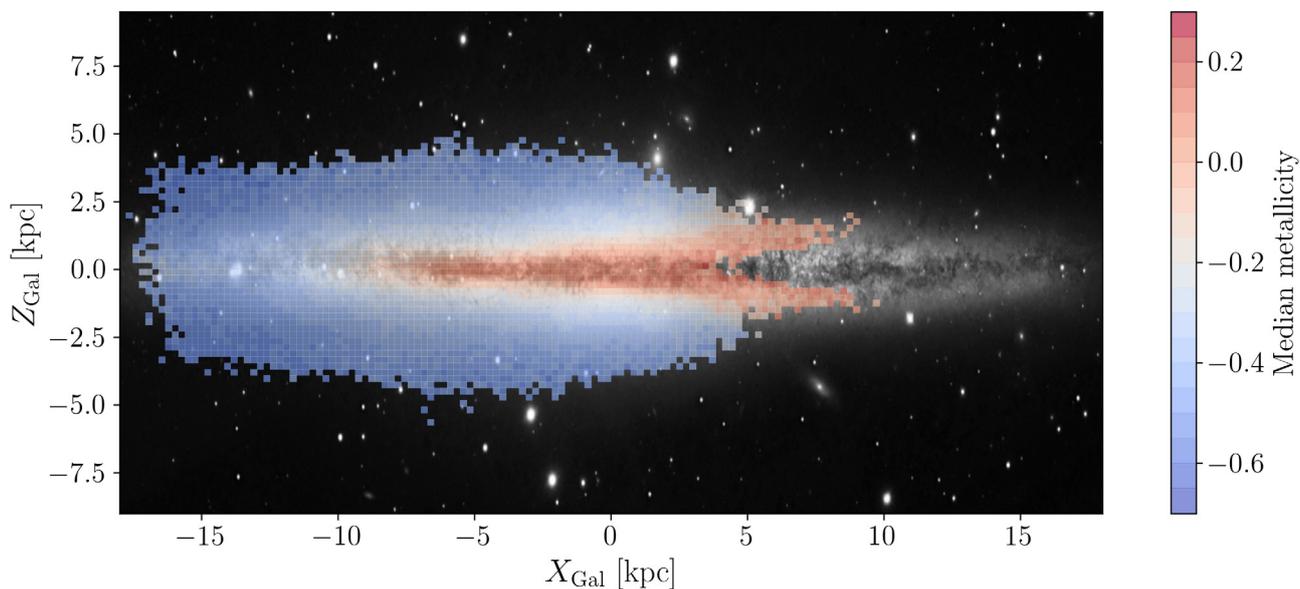
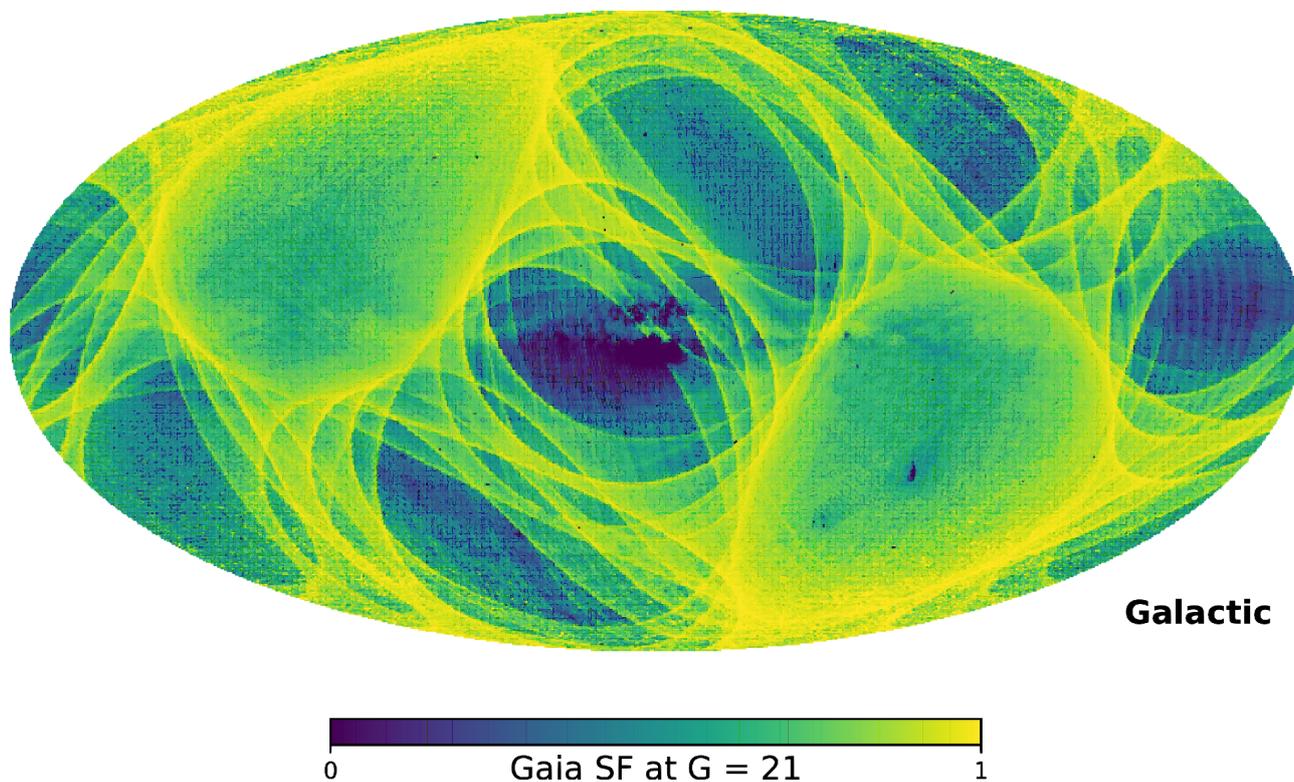


Figura 5. Mapa de metalicidad en coordenadas galactocéntricas (con el Sol a $X_{Gal} = -8.2$ kpc) obtenido a partir de 7.5 millones de espectros de Gaia XP para estrellas del *red clump* (apelotonamiento rojo), superpuesto sobre una imagen de la galaxia NGC 891 (Khalatyan, Anders et al. 2024).

Figura 6. Función de selección de Gaia a magnitud $G=21$ en coordenadas galácticas (Cantat-Gaudin et al., 2022).



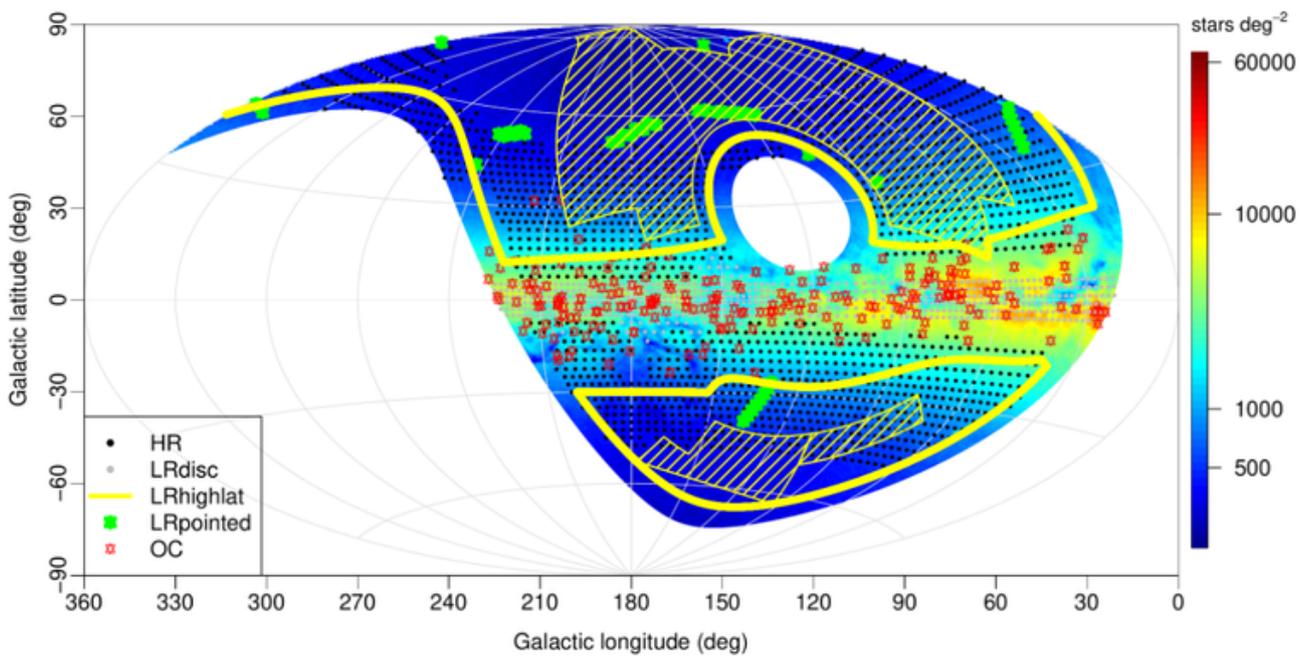
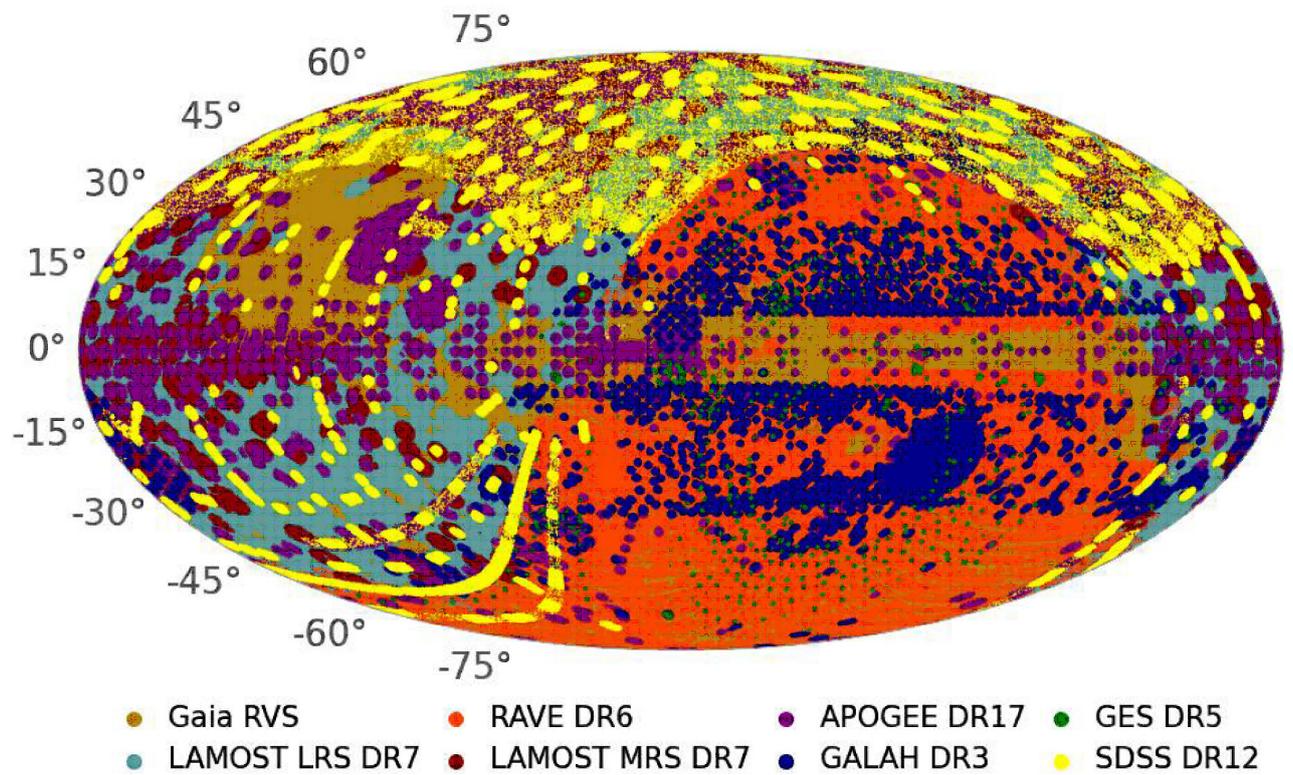


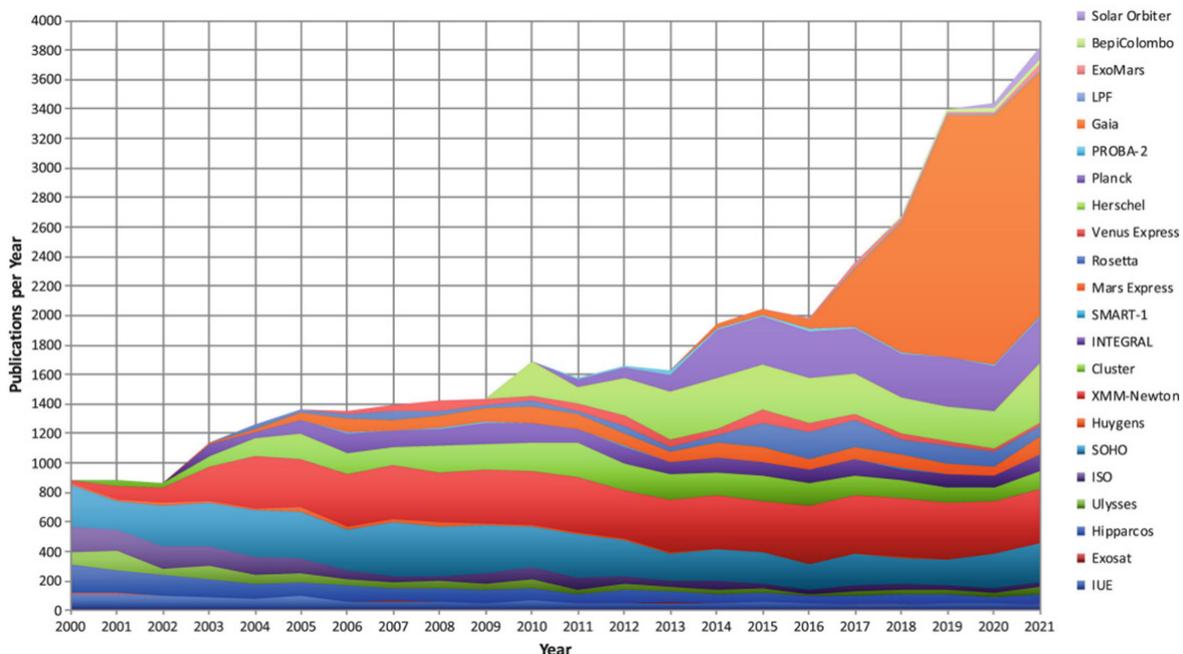
Figura 7. Panel superior: Cobertura del cielo por surveys espectroscópicos estelares concluidos actuales y pasados (Queiroz et al. 2023). Panel inferior: Plan de observaciones del survey de arqueología galáctica de WEAVE con fase de verificación científica en el modo multi-objeto (MOS) en 2025 (Jin et al., 2024).

muchos casos, esta estimación depende de nuestros modelos estelares o mapas de extinción, también imprecisos. La comunidad está abordando esta complejidad en un contexto de inferencia Bayesiana. Tanto el consorcio Gaia DPAC como, posteriormente, la comunidad científica se ha lanzado a explotar toda la información que fue publicada con DR3, en particular los nuevos productos como los espectros RVS y los 220 millones de espectros XP (que tienen muy baja resolución pero también mucha señal). Para procesar tanta información, la mayoría de los trabajos nuevos usan técnicas de aprendizaje supervisado. La Figura 5 muestra un caso típico: como los nuevos datos nos ayudan a medir con mucha precisión los gradientes radiales y verticales de metalicidad en grandes áreas de la Vía Láctea.

GaiaUnlimited: La función de selección de cualquier cartografiado astronómico, es decir, identificar qué propiedades determinan, limitan y/o condicionan la detectabilidad de sus fuentes, es esencial para obtener conclusiones científicas sólidas. El proyecto europeo [GaiaUnlimited](#) se creó para abordar el ambicioso y necesario reto de obtener la función de selección de Gaia, además de otros productos derivados del catálogo. GaiaUnlimited proporciona modelos sobre la completitud del catálogo de Gaia

no solo en el extremo de magnitudes débiles (ver Figura 6) sino también en todo el rango de magnitud. Además, también proporciona métodos para determinar la función de selección de submuestras del catálogo de Gaia como, por ejemplo, el catálogo de estrellas con velocidades radiales (RVS) o el de estrellas con buenos paralajes (RUWE ~ 1 , RUWE siendo el indicador de calidad de la solución astrométrica); la función de selección de la combinación de Gaia con surveys espectroscópicos (e.g., APOGEE); o la función de selección de sistemas binarios gracias al RUWE (Castro-Ginard et al., 2023). Todo esto se encuentra disponible a la comunidad científica a través de herramientas y códigos totalmente públicos y documentados para poder ser adaptados a casos científicos particulares.

Cartografiados espectroscópicos complementarios desde tierra: Ya desde antes del lanzamiento del satélite Gaia, la comunidad astrofísica galáctica inició el desarrollo de grandes cartografiados espectroscópicos. Muchos de estos programas ya están concluidos (véase Figura 7) y hoy en día contamos con más de 10 millones de espectros estelares obtenidos con instrumentos multiobjeto como APOGEE, GALAH o LAMOST. También con el objetivo de complementar las observaciones de Gaia RVS,



y gracias a la disponibilidad de telescopios de mayor tamaño, están en marcha dos grandes proyectos, WEAVE, en el telescopio William Herschel en La Palma (Figura 7 panel inferior), y 4MOST, en el telescopio VISTA en Paranal. Ambos cartografiados iniciarán el próximo año la fase de adquisición de datos científicos en modo MOS. A ellos se añade el cartografiado Milky Way Mapper (MWM) de la colaboración SDSS-V y el Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI), que proporcionarán en el futuro próximo (2025-2026) decenas de millones de espectros en el rango de magnitudes $16 < r < 20$ con catálogos dedicados tanto al estudio de la Galaxia como extragalácticos.

EL IMPACTO DE GAIA

En la Figura 8, publicada recientemente en el [ESA Science Programme Mission](#), se observa el impacto que la misión Gaia está teniendo en todas las ramas de la astronomía y la cosmología. El gran interés en usar e interpretar los datos de Gaia por parte de la comunidad (con una fuerte contribución española) muestra el éxito rotundo de la misión y nos encamina a una segunda misión en el infrarojo (GaiaNIR) cuyo diseño y estudio, ya en marcha, cuenta con una participación importante de la comunidad científica española.

Figura 8 (en la otra página). Gráfica cascada de las publicaciones con arbitraje por año de la ESA Science Programme Mission entre los años 2000 y 2021. En naranja se muestra la contribución de Gaia desde 2016 (ISSI Scientific Report 18, 2025).

AGRADECIMIENTOS

La competente, eficaz y coordinada contribución de la Agencia Europea del Espacio (ESA), de la industria europea, del consorcio DPAC y, como no, de la comunidad científica, han hecho realidad la astrometría de precisión del siglo XXI. Debemos destacar, en este empeño, la importante participación de la comunidad española en todos y cada uno de estos frentes.

«Gaia DR4, con el procesado de los primeros 66 meses de misión, se espera para finales de 2026 mientras que la publicación del catálogo final (DR5), con 10.5 años de datos, no se prevé hasta finales de 2030.»

Michel Mayor siempre lleva un billete de 20 francos suizos de 2017 en su bolsillo. El billete tiene colores rojizos, un prisma dispersando la luz, unas constelaciones alrededor de una esfera terrestre, un mapa estelar y una lista de objetos astronómicos que incluye a la Luna, planetas del Sistema Solar, las estrellas más cercanas... Michel Mayor apunta con el dedo, casi igual de orgulloso por su buena vista a corta distancia a pesar de su edad como por haber descubierto un exoplaneta a su alrededor: "Look: Proxima Centauri, Sirius, 61 Cygni A... and 51 Pegasi! It is in the banknotes of my country". Durante la conversación, Michel enfatiza la nomenclatura de Flamsteed para la estrella: "cinquante-et-un Pegasi" — No Helvéticos, no HD 217014, no GJ 882. Y de su exoplaneta: "cinquante-et-un Pegasi b" — No Dimidium, no Bellorophon. Con b minúscula. Pero 51 Peg b, su exoplaneta, no es un exoplaneta cualquiera. Fue el primero.



José A. Caballero
Centro de Astrobiología
caballero@cab.inta-csic.es

Caen las primeras hojas de los árboles en otoño de 1995. Algunos empezamos el primer curso de Física en la universidad. Otros preparan sus charlas para un congreso en Florencia, el "Cool Stars 9" — El primer *Cambridge Workshops on Cool Stars, Stellar Systems and the Sun* fuera de Estados Unidos. En la ciudad toscana, cerca de la cúpula de Brunelleschi y el David de Michelangelo, Rafa Rebolo va a presentar el descubrimiento de Teide 1 en las Pléyades, la primera enana marrón, y Tadashi Nakajima el de Gliese 229 B, la segunda enana marrón y primera enana de tipo espectral T. Sin duda, ambos van a generar expectación. Pero Michel Mayor y su estudiante de tesis doctoral, Didier Queloz, que han estado trabajando casi en secreto con datos del espectrógrafo ELODIE en el reflector de 1.93 m del Observatoire de Haute-Provence, van a hacer un anuncio aún más importante y que abrirá una nueva rama de la ciencia: la exoplanetología.

Antes del anuncio de 51 Peg b, el "primer exoplaneta alrededor de una estrella como el Sol" en palabras de la Real Academia de las Ciencias Suecia que nombra los Premios Nobel, habían venido los de candidatos a exoplaneta alrededor de 70 Ophiuchi en el s. XIX, 61 Cygni A y Lalande 21185 en los 40s, Barnard en los 50s y 60s y PSR 1829-10 en 1991, todos ellos falsos. Los casos de γ Cephei b, un candidato a exoplaneta descubierto en 1988 y confirmado en 2003, y HD 114762 B, un candidato a enana marrón anunciado en 1989 que aún aparece como candidato a exoplaneta en varios catálogos pero que en realidad es una estrella de muy baja masa, merecen atención aparte. Y los objetos de masa planetaria alrededor del púlsar PSR 1257+12 anunciados por Alexander Wolszczan y Dale Frail en 1992, que sobrevivieron o se formaron tras una explosión de supernova, aún siguen siendo tremendamente exóticos. Con tanto candidato a exoplaneta sin confirmar, hace justo 30 años 51 Peg b podría tener comprometida su credibilidad por la comunidad astronómica.

La presentación de 51 Peg b por Michel y Didier en Florencia el 6 de octubre de 1995 generó tanta atención como se esperaba. Pero cuando el exoplaneta se publicó en la revista *Nature* el 23 de noviembre de 1995, la atención de los medios, el público general y, por supuesto, los astrofísicos que no estuvieron en Florencia fue incluso mayor. Al principio,



hubo una mezcla de emociones: alegría, sorpresa, incredulidad e incluso un poco de envidia. Al cabo de unas semanas, el grupo estadounidense liderado por Geoff Marcy y Paul Butler, que ya tenía docenas de medidas de velocidad radial de 51 Peg con una precisión similar a la de Mayor y Queloz, había confirmado la presencia de una oscilación compatible con la de un exoplaneta de aproximadamente la mitad de la masa de Júpiter y el periodo orbital anunciado por los suizos. Y he aquí el *quid* de la cuestión: el periodo orbital, el “año”, de 51 Peg b es de sólo unos 4.2 días. ¿Cómo un planeta gaseoso podía encontrarse tan cerca de una estrella casi idéntica al Sol? ¿Y a

quién se le iba a ocurrir buscar periodos tan cortos en un periodograma de la curva de velocidad radial? Pues se le puede ocurrir a un loco o a alguien que sabe muy bien lo que hace.

Al cabo de unos meses, 70 Virginis b, 47 Ursa Majoris b y 55 Cancri b se unieron a la lista de candidatos a exoplanetas con periodos orbitales de unos pocos días y masas mínimas del orden de la masa de Júpiter. Pero la comunidad astrofísica tardó en creerse la verdadera naturaleza de estos “júpiteres calientes” (*hot Jupiters*). Al poco de los anuncios, un grupo canadiense propuso que las variaciones medidas en la velocidad radial, de unos pocos metros por segundo, eran el efecto de un grupo de manchas solares. Sin embargo, aunque la actividad magnética y el efecto de manchas son en la actualidad tenidas en cuenta en cualquier análisis de velocidad radial, la estrella 51 Peg tiene un periodo de rotación de unos



Michel Mayor y su sanchopanza, José A. Caballero, durante la primera reunión bienal del Instituto Europeo de Astrobiología, en La Palma.

22 días, mucho más largo que los 4.2 días de la señal del exoplaneta. Se propusieron entonces armónicos y “alias” del periodo de rotación estelar, pero los números no ajustaban. Después se echó mano de oscilaciones estelares, pero ningún modelo teórico u observación apoyaban el periodo y la amplitud de la señal en estrellas casi idénticas al Sol. Se siguió argumentando que las órbitas de los compañeros estaban muy inclinadas, que su masa real era mucho mayor que su masa mínima y que lo que se veía eran binarias espectroscópicas monolínea. Pero, por simple estadística (y, después, astrometría), el seno del ángulo de inclinación no podía confabularse contra los observadores en todos los casos... Durante meses e incluso años, se siguieron proponiendo teorías alternativas y contrateorías, pero también se iban descubriendo más y más exoplanetas, de distintas masas, a distintas separaciones orbitales, alrededor de estrellas de distintos tipos espectrales. Sin embargo, aunque nos creyésemos la explicación de las señales de velocidad radial por exoplanetas jovianos, que necesitan una gran cantidad de hielo

de agua para acrecer, su existencia era un absoluto desafío para los mecanismos de formación de “júpiteres calientes” en discos protoplanetarios. Pero ese desafío y, consecuentemente, todas las dudas sobre la existencia de exoplanetas se desvanecieron gracias a la teoría de la migración.

La teoría de la migración, por la que un planeta en órbita de una estrella interactúa con el gas y los planetesimales del disco durante los primeros millones de años de formación, no era nueva: ya la habían propuesto varios grupos a finales de los 70s y desarrollado durante los 80s. Sin embargo, nunca se había visto en acción. Así que la teoría de la migración se desempolvó, se continuó desarrollando con resonancias, ondas espirales de densidad, intercambios de momento angular, eyecciones de exoplanetas, fricciones dinámicas, mareas, viscosidades de los discos y ciclos de Kozai-Lidov, y ya no quedó ningún astrofísico que dudara de la existencia de 51 Peg b (bueno, todavía queda alguno por ahí que sigue dudando, incluso de los exoplanetas transitantes).



Michel Mayor y Didier Queloz de tapas con el autor por Madrid antes de visitar la Real Academia de Ciencias (septiembre 2021).



51 Pegasi b,
JPL Travel Poster.

Tras ELODIE en el Observatoire de Haute-Provence vinieron HARPS en La Silla, HIRES en Hawai'i, HARPS-N en La Palma, CARMENES en Calar Alto o ESPRESSO en Paranal con el método de velocidad radial. Después vinieron los exoplanetas transitantes: HD 209458 b, TrES-1 con STARE en el Teide, Super-WASP, CoRoT, *Kepler*, TESS y CHEOPS. *Hubble*, *James Webb* y hasta ALMA se unieron a la fiesta. Y después vendrán PLATO, Ariel, Habitable Worlds Observatory y Large Interferometer For Exoplanets desde el espacio, y ANDES y toda la "suite" instrumental del ELT desde tierra.

Durante estas tres décadas desde 1995 se han descubierto más de 7000 exoplanetas y candidatos a exoplanetas (¡cuidado!, varios miles de ellos están como mucho validados, nunca se han confirmado y, por tanto, siguen siendo candidatos a exoplanetas).

Con PLATO pasaremos de largo de los 10000.

Las aventuras y desventuras de Michel Mayor cuando el 8 de octubre de 2019, justo 24 años y dos días después de la presentación de 51 Peg b en Florencia, se anunciaron los nombres de los recipientes del Premio Nobel de Física 2019 y de lo que aconteció después ya lo contó este autor (Caballero, 2019, *Boletín de Invierno de la SEA*). Y exactamente 30 años después, entre el 6 y el 10 de octubre de 2025, en el Observatoire de Haute-Provence, donde comenzó todo, se organizará la conferencia "51 Pegasi b: Cool giant planets and their systems". Dentro de varias décadas, quizá también en octubre, volverá a haber otro Premio Nobel: a los que lideren la primera detección robusta, creíble y sin ningún género de dudas de biomarcadores en un exoplaneta habitable.

25 AÑOS EXPLORANDO EL UNIVERSO

¿De qué se compone el universo? ¿Cómo se formó y evolucionó? ¿Hay vida en otros planetas? El Instituto de Ciencias del Espacio (ICE-CSIC) lleva 25 años trabajando para dar respuesta a estas y otras muchas preguntas sobre el cosmos. La física y la astronomía son ciencias estrechamente ligadas a la curiosidad, que han permitido explicar fenómenos que a nuestros antepasados pudieron parecerles misteriosos.



Alba Calejero García
Técnica de Comunicación y Divulgación
@albacalejero calejero@ice.csic.es

Aldo Serenelli
Director
aldos@ice.csic.es

Mar Mezcua
Vicedirectora científica
mezcua@ice.csic.es

Jorge Rivero
Responsable de Comunicación y Divulgación
rivero@ice.csic.es

Instituto de Ciencias del Espacio (ICE-CSIC)

El ICE-CSIC es un centro de investigación de excelencia del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) que estudia el universo de manera teórica y observacional. También participa en misiones espaciales internacionales, tanto en la parte científica como en la construcción de instrumentación que va a bordo de dichas misiones desde su Unidad de Ingeniería Avanzada.

Actualmente ubicado en el campus de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), Cerdanyola del Vallès (Barcelona), el origen del ICE-CSIC se remonta al Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB) del CSIC. Entonces, el CEAB, fundado en 1985, era un centro de investigación de carácter pluridisciplinar que integraba grupos de investigación dedicados a temas muy diversos: el grupo de Oceanografía, el de Ecología del Bentos Marino, el de Inteligencia Artificial y el grupo de Astrofísica. Este último, formalmente una Unidad de Investigación del CSIC, estaba formado por Jordi Isern, que sería más tarde el primer director del ICE-CSIC, e investigadores e investigadoras como Margarita Hernanz, Antonio Rius, Inmaculada Domínguez y Emilio Elizalde.

Especializado en astrofísica teórica, Jordi Isern centró su investigación en las últimas etapas de la evolución estelar, la evolución de la galaxia y la astronomía de rayos gamma. Fundó el ICE-CSIC en 1999 a partir de aquella Unidad de Investigación de Astrofísica del CEAB y, por el camino, también creó el Institut d'Estudis Espacials de Catalunya (IEEC).

¿CÓMO EMPEZÓ TODO?

La Unidad de Investigación de Astrofísica del CEAB, semilla del actual ICE-CSIC, se centraba en estudios de las últimas etapas de la evolución estelar y explosiones termonucleares en estrellas enanas blancas, como apuntaba la investigadora Margarita Hernanz en la conferencia del 25º aniversario del ICE-CSIC en febrero de este año. Esta línea de investigación permitió establecer las primeras colaboraciones con instituciones internacionales para profundizar en estudios teóricos y de observabilidad de novas y supernovas en rayos gamma de MeV, y también las primeras colaboraciones para el desarrollo de instrumentación, en particular el experimento SIXE (Spanish-Italian X-ray Experiment) para el estudio de las variabilidades espectrales y de intensidad a



Figura 1. Miembros del ICE-CSIC en la conferencia del 25º aniversario del instituto en febrero de 2025. Créditos: ICE-CSIC.

corto y largo plazo de fuentes de rayos X extragalácticas y galácticas, así como otros proyectos para la observación de rayos X y rayos gamma.

Otra de las primeras líneas de investigación de esta Unidad de Investigación estaba relacionada con los sistemas de navegación por satélite y la observación de la Tierra desde el espacio. El investigador Antonio Rius se incorporó a la Unidad de Investigación de Astrofísica del CEAB en 1994, con el objetivo de explorar las tecnologías GPS y sus aplicaciones en el estudio de la Tierra. Principalmente, le interesaban tres áreas: la ionosfera, la troposfera y la superficie marítima y terrestre. Los sistemas de navegación por satélite entonces eran una novedad, ya que sus aplicaciones civiles se desarrollaron en la década de

1990. Los satélites de órbita terrestre baja (LEO, por sus siglas en inglés), constelaciones como el GPS y los receptores GPS de base terrestre permitieron medir a nivel global el contenido de vapor de agua troposférico, el estado del mar, la distribución de electrones ionosféricos o perfiles termodinámicos de la atmósfera terrestre mediante radioocultación.

Por su parte, el investigador Emilio Elizalde se unió en torno al año 1990. Especializado en cosmología y física teórica, en la conferencia del 25º aniversario del ICE-CSIC compartió algunos recuerdos de los primeros años en la Unidad de Investigación de Astrofísica del CEAB en Blanes, donde trataba de retener talento centrándose en la figura de Albert Einstein y la esencia de la teoría de la relatividad general. Algunos de

los investigadores predoctorales a quienes supervisó son actualmente científicos del ICE-CSIC, como Enrique Gaztañaga y Pablo Fosalba. Otro ejemplo es Sergei Odintsov, que llegó al CEAB para colaborar con Elizalde gracias al programa de profesorado visitante que comenzaba a implementarse en los 90, un programa que, según recordaba Elizalde en la conferencia del 25º aniversario, captó la atención mediática.

Durante estos años en la década de los noventa, la ciencia buscaba la manera de avanzar creando colaboraciones entre distintas instituciones. El investigador José María Torrelles se incorporó a la Unidad de Investigación de Astrofísica en 1998, que en ese momento ya estaba ubicada en el edificio del IEEC en Barcelona. El instituto buscaba fortalecer la investigación en astronomía y, con su llegada, se inició el grupo de investigación en formación estelar y nebulosas planetarias. Torrelles formaba parte de un grupo de trabajo para estudiar la viabilidad de la participación española en el Millimeter Array (MMA) del Observatorio Nacional de Radioastronomía de Estados Unidos (NRAO), una propuesta de telescopio de base terrestre para hacer observaciones en longitudes de onda milimétricas que luego evolucionó hasta dar lugar al actual Atacama Large Millimeter Array (ALMA).

Algunas de las anécdotas que se pusieron en común en la celebración del 25º aniversario del ICE-CSIC giran en torno a encuentros y congresos en lugares cercanos al CEAB en los años 80 y 90, recordados en aquella conferencia como una época de expansión y de nuevas oportunidades que surgían para el avance científico. Así pues, dos años antes de la fundación del CEAB, en 1983, tuvo lugar el Primer Encuentro sobre la Historia de las Ideas Científicas cerca de Blanes, en Sant Feliu de Guíxols (Girona). En este encuentro al que asistieron ochenta personalidades del mundo de la ciencia, participó Eugen P. Wigner, Premio Nobel de Física en 1963.

Además, como señalaba Jordi Isern en la conferencia del 25º aniversario, los investigadores Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt y Adam G. Riess, que fueron ganadores del Premio Nobel de Física 2011 "por sus trabajos sobre la expansión acelerada del universo a través de observaciones de supernovas distantes", participaron en un encuentro del Instituto de Estudios Avanzados de la OTAN sobre supernovas termonucleares en 1995 en Begur (Girona).

¿CÓMO SE CREA UN INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN?

Partiendo de las primeras líneas de investigación ya mencionadas, la Unidad de Investigación de Astrofísica del CEAB continuó su trabajo en aquel centro durante varios años. Mientras tanto, Jordi Isern fue seleccionado por la Fundació Catalana per a la Recerca i la Innovació (FCRi) para crear un campus afiliado a la Universidad Internacional Espacial que se ubicaría en Barcelona.

Para ello, lideró la creación del Institut d'Estudis Espacials de Catalunya (IEEC) en 1996, un instituto que agrupó en aquel momento a grupos de investigación de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), la Universitat de Barcelona (UB), la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) y aquel incipiente ICE-CSIC en el campus de la UPC.

Entre el año 1996 y 1997, la Unidad de Investigación de Astrofísica del CEAB se trasladó de Blanes a las nuevas premisas del IEEC en Barcelona. Con esta nueva sede y con la llegada de nuevos investigadores e investigadoras del CSIC, el horizonte científico del centro se fue ampliando. Aquella Unidad de Investigación del CSIC todavía dependía formalmente del CEAB, pero el 21 de diciembre de 1999, César Nombela, presidente del CSIC en aquel momento, promovió la creación del Instituto de Ciencias del Espacio como instituto 'en formación'. La llegada de la primera gerente del instituto, Isabel Moltó, y la recepción de financiación estructural marcan el hito fundacional del ICE-CSIC.

Los siguientes pasos fueron en dirección a constituir el ICE-CSIC como un instituto de investigación con un edificio propio. A principios de los 2000, el personal del instituto fue creciendo, impulsado por el programa de Ayudas para contratos Ramón y Cajal, implementado en el año 2001. En 2008, justo antes de la crisis económica, se aprobó el presupuesto para la construcción de un edificio específico para el ICE-CSIC en el campus de la UAB, una semana antes de que se congelaran las inversiones públicas. Finalmente, el ICE-CSIC inauguró su sede actual en el año 2015, a medida que el instituto adquiría impulso. Entre 2008 y 2015, el personal del instituto trabajó en distintos espacios de la UAB, haciendo uso de laboratorios a lo largo del campus.



Figura 2. Foto de grupo del encuentro del Instituto de Estudios Avanzados de la OTAN sobre supernovas termonucleares en 1995 en Begur (Girona). Créditos: P. Ruiz-Lapuente, R. Canal, J. Isern (1997): *Thermonuclear Supernovae*. Springer, Nato Science Series C: (ASIC, vol. 486).



Figura 3. El Instituto de Ciencias del Espacio (ICE-CSIC), ubicado en el campus de la UAB, Bellaterra. Créditos: César Hernández / CSIC Comunicación.

EL INSTITUTO DE CIENCIAS DEL ESPACIO HOY

Entre el 2016 y el 2023, el instituto se consolidó como centro de investigación de excelencia en investigación teórica y experimental. Además, el personal creció considerablemente: en 2019 el instituto estaba formado por 85 miembros de diferentes ámbitos (ingeniería, investigación y administración), en comparación con los 161 miembros que lo conformaban a finales de 2024.

Este crecimiento fue posible gracias a la ampliación de los recursos, becas y contratos, gestionados por el ICE-CSIC. Entre ellos, el instituto recibió el sello de excelencia María de Maeztu para el período 2022-2026 y fondos EU Next Generation. Gracias a ello, el instituto ha llevado a cabo mejoras de las instalaciones, la creación de la Oficina de Proyectos, la contratación de investigadores predoctorales y postdoctorales y de nuevos puestos de personal de ingeniería de software, mecánica y eléctrica, y la ampliación de la escuela de verano anual del instituto.

Además, bajo la dirección de Diego F. Torres entre 2016 y 2023, se instauró un nuevo sistema organizacional con una nueva estructura para el equipo de dirección, se estableció el Comité Asesor Internacional y se organizó la Unidad de Ingeniería Avanzada. Esta unidad es responsable de aportar la experiencia tecnológica del ICE-CSIC, lo que permite al instituto participar en el desarrollo de nuevas misiones y observatorios astronómicos. La unidad de ingeniería da apoyo en el desarrollo de los aspectos tecnológicos de los proyectos científicos del centro con el fin de conservar el know-how adquirido para proyectos futuros. Gracias a los fondos del sello María de Maeztu, se pudo llevar a cabo una actualización de los siete laboratorios del centro y la formalización de los servicios que estos ofrecen a empresas e instituciones externas.

El crecimiento del instituto a lo largo de los últimos diez años ha derivado en una ampliación de las líneas de investigación, que parten de aquellas primeras líneas que comenzó estudiando la Unidad de Investigación de Astrofísica del CEAB. Actualmente, nuestros grupos de investigación abarcan la mayor parte de los temas punteros en el campo de la astrofísica. Por ejemplo: núcleos activos de galaxia; herramientas para el análisis de cartografiados de galaxias; asteroides, cometas y meteoritos; campos magnéticos

«Actualmente, nuestros grupos de investigación abarcan la mayor parte de los temas punteros en el campo de la astrofísica. Por ejemplo: núcleos activos de galaxia; herramientas para el análisis de cartografiados de galaxias; asteroides, cometas y meteoritos; campos magnéticos astrofísicos; observación de la Tierra; astronomía gravitacional experimental; objetos compactos extremos; teoría de ondas gravitacionales; formación de estrellas y planetas; astrofísica nuclear y de partículas; astrosismología y el Sol; supernovas; etc.»

astrofísicos; observación de la Tierra; astronomía gravitacional experimental; objetos compactos extremos; teoría de ondas gravitacionales; formación de estrellas y planetas; astrofísica nuclear y de partículas; astrosismología y el Sol; supernovas; etc.

En mayo de 2024, Aldo Serenelli asumió la dirección del ICE-CSIC, con un nuevo equipo directivo formado por Mar Mezcuca y Serni Ribó: vicedirectora científica y vicedirector técnico, respectivamente. Uno de los objetivos principales del actual período es consolidar el crecimiento que el ICE-CSIC ha experimentado en los últimos años y reforzar su posición como centro de investigación de referencia.

La última década también ha sido crucial para sentar las bases de nuestra contribución a misiones espaciales, tanto en el aspecto científico como técnico. Entre las misiones espaciales internacionales en las que el ICE-CSIC lidera la contribución de manera oficial cabe destacar las misiones Euclid o LISA.

La misión Euclid de la Agencia Espacial Europea (ESA) fue lanzada en julio de 2023 para cartografiar un tercio del cielo y observar miles de millones de galaxias a una distancia de 10.000 millones de años luz. Así, Euclid nos ayudará a comprender la expansión del universo y la evolución de su estructura a gran escala durante la historia cósmica. Se calcula que alrededor del 95% está formado por energía oscura y materia oscura, cuya naturaleza continúa siendo un misterio, y Euclid contribuirá a estudiarlas.

El ICE-CSIC, junto con otras instituciones, ha estado involucrado en Euclid desde 2006. Ha sido responsable del diseño, construcción, ensamblaje y tests de validación de la rueda de filtros (Filter Wheel Assembly, FWA) del instrumento NISP de Euclid. Esta rueda es un dispositivo móvil y delicado de instrumentación espacial que ha requerido del desarrollo de sofisticados sistemas de verificación y control de calidad de alta tecnología. Junto con el Port d'Informació Científica (PIC), el ICE-CSIC ha sido responsable de las simulaciones cosmológicas de la misión que han servido para estudiar su optimización y preparar el software para el procesado y análisis de los datos.

LISA es una misión para crear el primer observatorio de ondas gravitacionales en el espacio que

entró en su fase de implementación en 2024 y cuyo lanzamiento está previsto para el año 2035. Es importante mencionar que las ondas gravitacionales son una predicción de la teoría de la relatividad general de Einstein en 1915, pero no fueron detectadas hasta 2015. De ahí en adelante, las propuestas para observar ondas gravitacionales desde el espacio avanzaron. Este acontecimiento y el funcionamiento de la misión LISA Pathfinder, predecesora de LISA, catapultaron la misión LISA, adoptada por la ESA el pasado año.

Miquel Nofrarias, co-investigador principal de la misión LISA, recordaba en una [entrevista](#) para el boletín del ICE-CSIC a Alberto Lobo, científico del ICE-CSIC que falleció en el año 2012, quien inició la participación del instituto en la misión LISA y su predecesora LISA Pathfinder: “Tuvo la visión en aquel momento de entrar en uno de estos proyectos y formar parte de él desde cero. Los frutos que hemos cosechado ahora se basan en esa visión de hace 20 años. [...] Con proyectos tan a largo plazo, son las nuevas personas que se incorporan al proyecto, jóvenes y que aprenden, las que permiten que todo esto se proyecte. Una parte importante de lo que hacemos es capacitar a las personas para que se conviertan en modelos a seguir”.

Otras misiones que lideramos están relacionadas con la gran pregunta “¿Hay vida en otros planetas?”. Es el caso de CARMENES, un instrumento de base terrestre para buscar exoplanetas alrededor de estrellas más pequeñas que nuestro Sol. En 2023, se anunció que CARMENES había detectado 59 exoplanetas, una decena de los cuales podrían ser habitables, a partir de datos recopilados entre 2016 y 2020. Además, hay dos futuras misiones espaciales de la ESA relacionadas con este ámbito: PLATO, que buscará sistemas planetarios extrasolares, y Ariel, que caracterizará sus atmósferas.

El instituto también ha liderado desde sus inicios algunas misiones y experimentos. El proyecto Physics of the Accelerating Universe Survey (PAUS), una colaboración internacional liderada por el ICE-CSIC, tiene como objetivo realizar un cartografiado de energía espectral de millones de galaxias. En 2024, la colaboración publicó un catálogo pionero de distancias cósmicas que recogía datos

recopilados durante 200 noches entre 2015 y 2019 utilizando la cámara PAUCam, desarrollada por la propia colaboración y ubicada en el telescopio William Herschel (WHT) en La Palma.

Desde el ICE-CSIC no sólo se estudia el espacio desde la Tierra, sino que también se trabaja por observar la Tierra desde el espacio a través de satélites, como ya empezaba a estudiar aquel pequeño grupo del CEAB que lo empezó todo. En esta línea, destaca el satélite PAZ, operado por Hisdesat, lanzado en 2018: el primer satélite radar español en incluido en el Programa Nacional de Observación de la Tierra por satélite (PNOTS).

PAZ es un experimento espacial para reducir el error de predicción en meteorología a través de la técnica GNSS, desarrollada en el ICE-CSIC. El satélite incluye un receptor avanzado de señales de los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS, por sus siglas en inglés) para determinar la órbita de las señales de manera precisa. Este receptor GNSS en concreto permite monitorizar las señales en geometría de ocultación transmitidas por satélites de navegación. Además, se propuso añadir una carga de radio-ocultaciones al satélite. La técnica de las radio-ocultaciones se originó en el estudio de las ciencias del espacio para estudiar la atmósfera de otros planetas.

AMPLIANDO NUESTRO CONOCIMIENTO DEL COSMOS

Entre los retos del mundo actual, la ciencia tiene un papel clave para generar conocimiento y ofrecer información fiable a la ciudadanía. Los desafíos en la física y la astronomía están relacionados con los retos tecnológicos para el diseño y construcciones de telescopios y misiones espaciales, así como con otras disciplinas que se entrelazan y que hacen que el saber avance.

Con el objetivo de continuar el trabajo de 25 años y de seguir progresando, el ICE-CSIC tiene el compromiso de formar a la próxima generación de científicos y científicas. Por ello, una de las grandes labores es la formación de investigadores/as predoctorales. Además, desde 2017 se celebra una escuela de verano anual dirigida a estudiantes en etapas iniciales de su carrera científica. Más de 300 estudiantes han pasado ya por las ocho ediciones de esta escuela de verano.

El centro también tiene la responsabilidad de hacer llegar al público general en qué consiste la investigación que se lleva a cabo y que es financiada con fondos públicos. Por ello, en 2021 se creó la oficina de Comunicación y Divulgación que trabaja para acercar la astronomía a diferentes públicos.

Uno de los mayores esfuerzos de divulgación del centro es la alianza Magnet con escuela Gabriel Castellà i Raich, ubicada en Igualada (Barcelona) en el periodo 2021-2025 para luchar contra la segregación escolar a través de la ciencia. Además, a través del Comité de Igualdad, el instituto trabaja por que la igualdad de género y la equidad sean un distintivo de la institución. El comité analiza y propone medidas para ayudar a conciliar vida personal y laboral, promover la paridad y un entorno seguro en el trabajo.

Estos 25 años han sido un viaje que tenía como objetivo ampliar el horizonte científico en astronomía y ciencias espaciales. La ciencia es un trabajo colectivo cuyo último beneficiario es el conjunto de la sociedad. El Instituto de Ciencias del Espacio está formado por aquellas personas que forman parte o han formado parte de él, que han contribuido con su forma de ver el mundo (y el cosmos) y de estudiarlo. En el futuro, desde el ICE-CSIC seguiremos trabajando para descifrar las incógnitas que encierra el universo.

EFEMÉRIDE: ASTROFÍSICA EN CANARIAS

Una efeméride es un acontecimiento notable que se recuerda en cualquier aniversario del mismo. En la historia del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) y de sus Observatorios del Teide (OT), en Tenerife, y del Roque de los Muchachos (ORM), en La Palma, siempre habrá efemérides que celebrar, y no solo astronómicas. En 2025 se suman algunas con cifra redonda: 50 años de la creación del IAC por la Universidad de La Laguna (ULL), el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y la Mancomunidad Interinsular de Cabildos de la provincia de Santa Cruz de Tenerife (hasta 1982 no se constituiría la Comunidad Autónoma de Canarias). También en 1975 se celebró en las Islas la I Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica y se puso en marcha en el IAC el primer Programa Nacional para la Formación de Investigadores en Astrofísica. Sin embargo, la efeméride más recordada es la “glamurosa” inauguración, hace 40 años, de este conjunto astrofísico en el archipiélago canario que tanto ha contribuido al desarrollo de la Astrofísica con mayúsculas.



Carmen del Puerto Varela
Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC)
@IAC_Astrofisica

1. INTRODUCIENDO DATOS

Como escribí en el décimo aniversario de aquella soñada inauguración oficial, he de confesar que yo no estuve presente en ella. No vi a los Reyes, ni a los Jefes de Estado, ni a los Premios Nobel, ni posé con ellos en las puertas del Taller de Mecánica del nuevo edificio. No salí en las revistas del corazón. No conocí a Carlos Sánchez Magro, ni los barracones de urallita de las antiguas instalaciones. Ni siquiera vivía en Canarias. Por entonces, yo trabajaba en la redacción de un periódico, escribiendo de vez en cuando sobre astronomía. Sin embargo, no me correspondió a mí cubrir la solemne ceremonia: ignoraba que un año después llegaría a Tenerife y trabajaría en este Instituto durante casi cuatro décadas. De modo que sí he vivido la magia de las noches más oscuras, apagando las velas de los sucesivos cumpleaños del IAC y sus Observatorios. Una anécdota: en 1986, como periodista para aquel diario y unos meses antes de mi traslado a Tenerife, fui yo quien cubrió la inauguración en Granada de la nueva sede del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA).

No habría alerta por fuertes vientos, pero los alisios se hicieron notar los días 28 y 29 de junio de 1985, cuando los entonces Reyes de España inauguraron la Sede Central del IAC, en La Laguna, y los dos observatorios, bajo las banderas del Cosmos de César Manrique. Y lo hicieron en presencia de monarcas y miembros de familias reales de cinco países (España, Dinamarca, Reino Unido, Países Bajos y Suecia) y otros dos jefes de Estado (Alemania e Irlanda). También asistieron doce ministros de países europeos y una distinguida representación de la comunidad científica, encabezada por cinco premios nobel. En total, más de 1.000 invitados, con 200 periodistas de todo el mundo acreditados y 3.000 miembros de las Fuerzas de Seguridad del Estado.

Resumir cuarenta años no es fácil y empezaré subrayando que el IAC es un centro “muy” complejo, no solo por estar emplazado en un archipiélago “muy” alejado de la península ibérica y por gestionar dos observatorios internacionales repartidos entre dos islas, sino que además lo es jurídicamente, como recogen sus [Estatutos](#). Acreditado como Centro de Excelencia Severo Ochoa desde la primera convocatoria del Programa en 2011 y durante varias ediciones consecutivas, el IAC ha gozado hasta ahora de



Figura 1. Cartel y participantes en la I Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica celebrada en Tenerife en 1975, a la puerta del Paraninfo de la Universidad de La Laguna. Con más de 130 congresistas procedentes de diversas universidades españolas, observatorios y centros de investigación, fue un hito en la historia de la astronomía en nuestro país. © IAC.

Figura 2. Arriba, solemne inauguración del IAC en La Laguna (Tenerife), con todos los jefes de Estado y miembros de familias reales. Abajo, los invitados a las inauguraciones, junto con el personal del IAC, a la puerta de los talleres de Mecánica de la Sede Central del IAC en La Laguna. © IAC.



buena salud, con una notable producción científica (según los datos de la última memoria del centro, unos 700 artículos al año en revistas internacionales con árbitro), además de numerosos desarrollos tecnológicos. El pronóstico es favorable, en un alto porcentaje ligado a sus observatorios, tanto por los telescopios actuales, con el Gran Telescopio Canarias (GTC) en primer lugar, como por los grandes proyectos, entre ellos CTAO, sumados a otros instrumentos y experimentos.

En 2018, tras analizar la actividad del Sector de la Astrofísica en Canarias -integrado por el IAC, las instituciones científicas del OT y el ORM, el tejido empresarial y los servicios relacionados-, se publicó un informe de la ULL que recogía el positivo impacto económico y social de los Observatorios de Canarias (OCCC). Posteriormente hubo otro sobre los beneficios de la instalación del TMT en La Palma.

Como señala la Oficina de Transferencia y Acciones Institucionales (OTAI) del IAC, el éxito científico de este centro como institución líder mundial descansa sobre pilares construidos hace décadas, siendo sus dos observatorios la piedra angular sobre la que se ha vertebrado este reconocimiento internacional, facilitando las sinergias con otras grandes infraestructuras de investigación. Numerosas inversiones de fondos externos, como el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), o los Programas Marco Europeos de I+D+i, junto a otras financiaciones locales, regionales y estatales, más las aportadas por las instituciones usuarias, han permitido colaboraciones transnacionales y contribuido al prestigio de la institución.

2. DANDO LA BIENVENIDA AL HALLEY

1986. Para dar la bienvenida al cometa Halley en su última visita, el IAC organizó una “Fiesta de las Estrellas” en la Playa de las Teresitas de Tenerife. Según la prensa, acudieron unas 60.000 personas. En La Palma, 14 municipios apagaron el alumbrado público y privado, iniciativa que se ha repetido varias veces en Canarias. El cometa atrajo a numerosos grupos de astrónomos aficionados, a quienes el IAC siempre ha reconocido su labor en el fomento de la afición por la astronomía y su trabajo de campo.

En 1988 se promulgaría la pionera “Ley del Cielo” (su Reglamento, en 1992), con el objetivo de preservar

las cumbres de las Islas de Tenerife y La Palma como reserva astronómica mundial, al tiempo que se garantizaba el derecho de generaciones futuras a disfrutar de un cielo estrellado. Su aplicación ha supuesto la adaptación del alumbrado público, con el consiguiente ahorro energético, económico y medioambiental (incluso la protección de especies amenazadas, como las pardelas). A raíz de la experiencia y tras solicitar asesoramiento al IAC, surgieron iniciativas similares en otras comunidades autónomas y se interesaron diferentes países y organismos internacionales. Y de esta percepción del cielo como un recurso a salvaguardar no solo para la ciencia, sino como un patrimonio cultural, de biodiversidad, importante para la salud y motor de economía sostenible a través del astroturismo, emanó la Iniciativa Starlight a raíz de la “[Declaración en Defensa del Cielo Nocturno y el Derecho a la Luz de las Estrellas](#)”, firmada en La Palma en 2007. Gracias a la aplicación de la Ley, a la Oficina Técnica de Protección de la Calidad del cielo del IAC (OTPC), a la [Fundación Starlight](#), al [Grupo de Calidad del cielo del IAC](#) y a la propia sociedad canaria, se están preservando las excelentes condiciones que posicionan a los OCCC entre los mejores enclaves del Planeta para la astronomía y, por consiguiente, para la instalación de supertelescopios.

3. COMPONIENDO EL COMPLEJO PUZZLE DEL UNIVERSO

Todas las líneas de investigación del IAC desarrollan exitosos proyectos y programas internacionales que cubren un amplio espectro: física solar, Sistema Solar y sistemas planetarios, física estelar e interestelar, Vía Láctea y Grupo Local, formación y evolución de galaxias, cosmología y astropartículas, e instrumentación astrofísica.

Con motivo de su 30 Aniversario, el IAC diseñó una exposición interactiva ([Luces del Universo](#)) y uno de sus módulos mostraba la contribución del centro a la solución del inmenso *puzzle* cósmico. 22 hitos científicos se habían seleccionado a partir de una lista de más de 80 artículos, liderados por investigadores del Instituto y publicados en revistas de gran impacto. Esta selección resumía gran parte de las siguientes contribuciones teóricas y observacionales del IAC, realizadas con telescopios e instrumentación astronómica tanto de Canarias como de otros observatorios, y tanto desde tierra como desde el espacio.



Figura 3. A la izquierda, inauguración del GTC, en 2009, en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma). © IAC. A la derecha, inauguración del LST-1, en 2015, también en el ORM. © Daniel López/IAC.

Figura 4. Panorámica de la Vía Láctea sobre el GTC, en el Observatorio del Roque de los Muchachos. © Daniel López/IAC.



Al margen de los estudios pioneros sobre la luz zodiacal y de las primeras observaciones infrarrojas (ver más adelante), uno de los hitos astronómicos indiscutibles del IAC y sus observatorios nos sitúa en 1979, cuando un equipo hispano-británico que trabajaba en el OT detectó la oscilación solar de 5 minutos. Había nacido la Heliosismología. Posteriormente, a través de métodos de inversión y datos de polarimetría, miembros del Grupo de Física Solar establecieron en 1992 una técnica que aún se usa para estudiar las capas más profundas de la atmósfera de nuestra estrella. Y en 2004, analizando el Sol en calma, consiguieron probar que el campo magnético es capaz de retener enormes cantidades de energía que luego libera durante las fases de mayor actividad. También confirmaron la existencia de estructuras en forma de vórtice en la atmósfera del Sol con datos del magnetógrafo IMAx.

En 1988 se determinó la composición química y su variación radial dentro de M33, la galaxia del Triángulo. A finales de esa década, se desarrolló el Test del Litio, técnica que ha permitido analizar cambios en la estructura y evolución de diversos tipos de objetos estelares, desde enanas marrones hasta estrellas que orbitan alrededor de un agujero negro o estrellas con planetas.

Un hito que indudablemente se ha de recordar es la detección en 1992 del primer agujero negro de nuestra galaxia en torno a la estrella V404 Cygni. Después, diferentes grupos han confirmado muchos más agujeros negros estelares y se han detectado intensos vientos en ellos.

El Grupo de Física Estelar definió una serie de parámetros intrínsecos de las estrellas OB de la Vía Láctea que se extendió con posterioridad a nuestras vecinas.

En 1993, investigadores británicos y del IAC fueron pioneros en el estudio de la radiación de fondo de microondas (CMB), con una primera detección desde tierra de su anisotropía. Se realizó con el Experimento de Tenerife, que se ha continuado con el Experimento QUIJOTE.

El Grupo de Objetos Subestelares encontró en 1995 la primera enana marrón, Teide 1. Desde entonces, se han descubierto varios miles. En 2004, el Grupo de Exoplanetas y colaboradores detectaron por el Método

de Tránsitos el primer planeta orbitando alrededor de una estrella cercana similar al Sol: TrES-1b. Ya en el año 2000 habían descubierto en el cúmulo estelar Sigma Orionis el primer planeta de masa similar a la de Júpiter flotando libremente. Con posterioridad, probaron que se puede usar la Luna eclipsada para analizar si sería detectable la vida en la Tierra desde otras estrellas. También, que las estrellas que albergan planetas son más ricas en metales y que en ellas se destruye prácticamente todo el litio original. Y, por otro lado, que los planetas enanos del Cinturón de Kuiper tienen hidrocarburos en su composición química.

En 1996, el Grupo de Nebulosas Planetarias publicó un catálogo morfológico de estos objetos, y en esos años se estableció con gran detalle la composición química de la Nebulosa de Orión.

A mediados de los 90, el Grupo de Física Extragaláctica desarrolló Modelos de Síntesis de Poblaciones Estelares en galaxias a partir de su composición química. Y el Grupo de Física Estelar definió empíricamente una escala de temperatura para estrellas gigantes, subenanas y de la Secuencia Principal.

Por su parte, el Grupo de Física Galáctica ideó un código para conocer la edad y la metalicidad de un conjunto de estrellas mediante técnicas fotométricas. Y en 2007 se probaba que el tamaño promedio de las galaxias ha aumentado drásticamente en la segunda mitad de la historia del Universo.

En cuanto a nuestra propia galaxia, el Grupo de Poblaciones Estelares consiguió fijar la edad relativa de los cúmulos globulares y establecer así que la Vía Láctea se formó en un proceso rápido, de menos de 500 millones de años, seguido de la acreción de galaxias cercanas menores.

En este nuevo siglo, la Misión hispano-egipcia de Arqueoastronomía, liderada por investigadores del IAC, confirmó que los antiguos egipcios orientaban astronómicamente sus edificios sagrados, como sus templos o sus pirámides.

Como se recoge en las [memorias anuales](#), la producción científica del IAC ha seguido un crecimiento exponencial en la última década. En 2015, por ejemplo, además del descubrimiento de un superjúpiter en una

estrella de la vecindad solar, el exoplaneta más cercano del que se había podido obtener una imagen y un espectro, se demostró cómo se pudo originar una supernova de tipo Ia mediante la fusión de dos enanas blancas en el centro de una nebulosa planetaria. También, que el Sol podría tener sus ejes magnético y de rotación desalineados. Y se lanzó el experimento CLASP que, basado en una investigación teórica del IAC, midió por primera vez la polarización de la radiación ultravioleta de la línea Lyman-alfa del hidrógeno en el Sol (experimento continuado con CLASP2 y CLASP2.1).

En 2016 se obtuvo con el GTC la imagen más profunda de una galaxia desde la Tierra, observando un tenue halo de estrellas alrededor de UGC 00180, a unos 500 millones de años luz, y se descubrió uno de los hipercúmulos de galaxias más lejano y masivo, así como un nuevo anillo de Einstein.

Un año después se descubrieron superburbujas en el medio interestelar, una de las primeras estrellas formadas en la Vía Láctea con muy bajo contenido en metales y la formación de la barra estelar de la Gran Nube de Magallanes. A todo ello se sumaron las dos prestigiosas becas ERC para los programas de investigación en Física Solar del IAC.

En 2018 se obtuvieron imágenes de la galaxia NGC 1291 mostrando la estructura de “cacahuete” de su barra interna y se observaron signos claros de acreción en la galaxia satélite Sextans.

En 2019 se detectaron potentes vientos en agujeros negros supermasivos; estrellas envueltas en polvo de hierro en la Gran Nube de Magallanes; una burbuja interestelar gigante que crece en la galaxia de Andrómeda; fullerenos en una región de formación estelar de Perseo; y fragmentos de un planeta que sobrevivieron a la destrucción de su estrella. También trabajos teóricos, como una nueva definición de la población “valle verde” en el diagrama color-magnitud para galaxias y la resolución del misterio de la galaxia sin materia oscura.

2020 supuso grandes desafíos para el mundo, y el IAC no fue ajeno a las dificultades que la pandemia planteó a la sociedad. Se investigó desde casa, con relaciones a distancia, pero sin bajar la calidad de las publicaciones. Ejemplos: el papel de la galaxia

enana de Sagitario en la evolución de la nuestra (dos décadas antes, se había demostrado en el IAC que esta galaxia estaba siendo “devorada” por la Vía Láctea, en uno de los más claros ejemplos de canibalismo galáctico); y la detección de estrellas jóvenes en las galaxias más viejas y masivas del Universo.

2021 será siempre recordado por la erupción del volcán Tajogaite en la Palma, catástrofe natural que tan dolorosas pérdidas causó y que afectó a las observaciones astrofísicas. Aun así, destaca la actividad científica de ese año, como la estimación de la extinción por polvo en la Vía Láctea o la caracterización de la galaxia anfitriona de blázares emisores de rayos gamma.

En 2022 se detectó el elemento más pesado en la atmósfera de un exoplaneta. También se publicaron los resultados finales de APOGEE del cartografiado SDSS, en el que ha participado el IAC y que ha proporcionado espectros de más de 650.000 estrellas.

En 2023 se observaron con detalle supergigantes azules en la Vía Láctea, mientras ESPRESSO y CARMENES identificaban dos exotierras potencialmente habitables en una estrella cercana al Sol.

En 2024 se sugirió una conexión entre halos de materia oscura y las propiedades bariónicas de las galaxias del cartografiado CALIFA; y se detectó con QUIJOTE una emisión anómala de microondas en nuestra galaxia y en M31.

En lo que llevamos de 2025 se ha descubierto una nebulosa planetaria que destruyó su sistema solar conservando los restos de un exoplaneta en su interior; se han captado en tiempo real estructuras muy inusuales al borde de un agujero negro; se postula que la materia oscura experimenta fuerzas más allá de la gravedad; se contribuye al cartografiado más preciso del Universo con Euclid; y se ha estudiado al asteroide 2024 YR4 para afinar la probabilidad de su impacto en nuestro planeta en 2032. El grupo de Sistema Solar del IAC participa en el esfuerzo internacional para seguir de cerca este objeto potencialmente peligroso. Y si el telescopio espacial Hubble, tras ser reparado, supuso una auténtica revolución para la astronomía, el James Webb podría superarlo. Equipos internacionales con investigadores del IAC han conseguido importantes resultados, entre ellos: un retrato molecular

y químico de los componentes atmosféricos del exoplaneta WASP-39 b; el estudio, por primera vez, de hidrocarburos aromáticos policíclicos en la región nuclear de tres galaxias activas luminosas; el análisis de la luz intracumular; la explicación de la compleja morfología de la Nebulosa del Anillo del Sur; la detección de triptófano en la Nube de Perseo; la aparición de nuevas galaxias “escondidas” en la telaraña galáctica; y la impresionante imagen de la nebulosa planetaria NGC 1514 con sus anillos de polvo.

4. DESARROLLANDO INSTRUMENTACIÓN Y SALIENDO AL ESPACIO

Para el desarrollo de instrumentación astrofísica, uno de sus fines, el IAC ha contado con [medios técnicos y capacidades](#) en distintas áreas tecnológicas (Mecánica, Óptica, Electrónica, Ingeniería de Software...).

El primer gran reto tecnológico del IAC fue el diseño y construcción del telescopio IAC-80, el primero de su clase en España y operativo con éxito en el OT desde 1991. De ahí se pasó a liderar el proyecto de gran ciencia -y como tal se presentó oficialmente en Madrid en 2001- que supuso un telescopio óptico e infrarrojo de 10,4 m, de espejo segmentado: el Gran Telescopio Canarias (GTC), el mayor del mundo en esas longitudes de onda. Un proyecto para el que se creó la empresa pública Grantecan, S.A., y que ha ido acompañado de titánicos esfuerzos para su financiación, desarrollo y construcción, aunque con el apoyo estatal y del Gobierno de Canarias (fondos FEDER, incluidos), así como la participación de México y de la Universidad de Florida (EEUU). La productividad científica de este telescopio, inaugurado en el ORM en 2009, ha ido creciendo de forma significativa. Gracias a su versátil conjunto de instrumentos y a su modelo de observación altamente flexible, el GTC cubre en la práctica todos los campos de investigación. Precisamente, en instrumentos para este coloso, se ha trabajado y se trabaja sin descanso.

La historia del IAC va ligada a la radiación infrarroja: una de las primeras instalaciones en los Observatorios fue un colector de flujo infrarrojo, llamado posteriormente Telescopio Carlos Sánchez (TCS), en cuyas mejoras técnicas se ha seguido trabajando (también para el IAC-80). Algunas de las primeras tesis doctorales de investigadores del IAC, hoy expertos en astrofísica infrarroja, se hicieron con el GTC. En nuestra

memoria siempre permanecerá el astrofísico que da nombre al telescopio y que nos dejó justo hace 40 años.

La instrumentación infrarroja requiere de tecnologías del alto vacío y criogenia y abarcan diversas especialidades de ingeniería. El IAC se ha involucrado en instrumentos tanto para telescopios en tierra (CAIN, LIRIS, CanariCam, EMIR, MIRADAS, FRIDA, GTC, HARMONI, GRANCAIN, ANDES, NIRPS, Small-ELF), como para misiones espaciales.

Tras la construcción del laboratorio GHRIL para una de las plataformas Nasmyth del telescopio William Herschel (WHT) y de los espectrógrafos FLEX y HEXAFLEX para el mismo, además del IACUB para el telescopio nórdico NOT, el Área de Instrumentación del IAC ha participado en instrumentos ópticos: cámaras, fotómetros, espectrógrafos, analizadores de polarización, sistemas alimentados por fibras ópticas... Destacan OSIRIS para el GTC y ESPRESSO para los VLT de Chile. Además, el IAC ha formado parte del consorcio internacional de WEAVE para el WHT. Otros instrumentos fueron INTEGRAL, FastCAM; SCIDAR y el monitor de *seeing* automático DIMMA. Actualmente se trabaja en varios espectrógrafos: HARPS3, para el INT, y HARMONI y ANDES (ópticos e infrarrojos), para el ELT. Y se fabrican elementos de precisión tras crearse en 2021 del Centro de Sistemas Ópticos Avanzados (CSOA).

Desde que Wilson y Penzias descubrieran la radiación del CMB, muchos son los estudios sobre ella. Hoy, el Experimento QUIJOTE, operativo en el OT desde 2012, es el proyecto de referencia para su investigación. El IAC ha ido consolidando liderazgo científico mejorando y ampliando sus capacidades técnicas con los instrumentos (MFI, MFI2, TGI y FGI) para sus dos telescopios. Le precedieron, entre otros, el Experimento de Tenerife y el Experimento COSMOSOMAS.

El Grupo Solar del IAC también tiene currículum en instrumentación, como fueron el Correlador Solar y los espectrógrafos LSPS, para el SST de La Palma, y TIP, para el VTT y GREGORY, del OT. Le siguieron TIP-II, GRIS y GRIS-rendija larga. Las mejoras de este último constituyen la base del espectrógrafo IFS-S para el EST.

Dentro de la línea de Óptica adaptativa del IAC, se desarrollan dispositivos altamente especializados

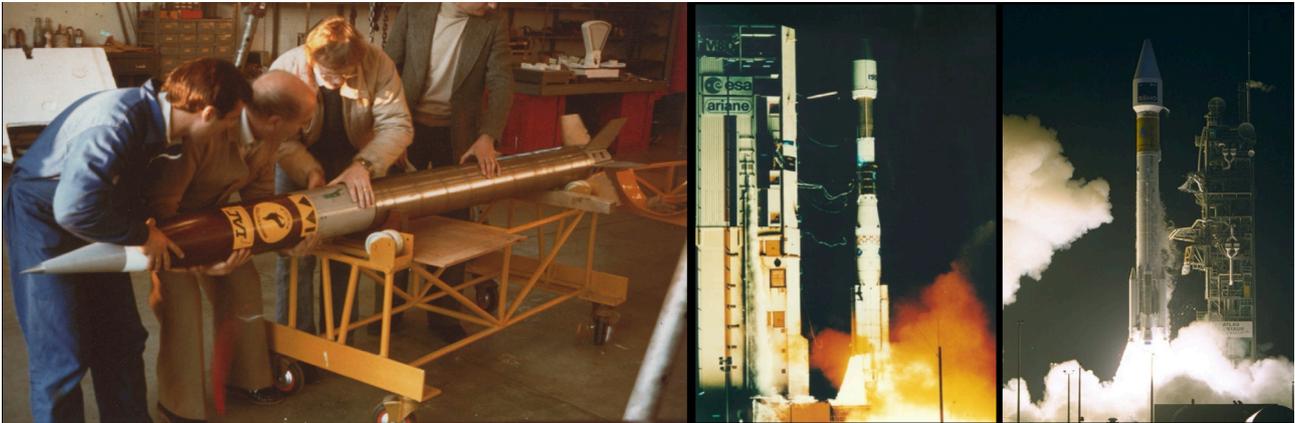


Figura 5. A la izquierda, instalación de la carga científica en un cohete de sondeo fabricada por el IAC. Fue el inicio de la fabricación de instrumentación para el espacio en España. © IAC. A la derecha, lanzamiento de los observatorios ISO y SOHO en 1995, desde la Guayana Francesa y desde Cabo Cañaveral, respectivamente, con apenas dos semanas de diferencia y con instrumentos del IAC a bordo. © ESA/NASA.

para medir la turbulencia atmosférica e instrumentos específicos que, colocados en el telescopio, compensan y corrigen el haz de luz. En el pasado, se creó una Estrella Guía Láser (LGS) de sodio para la OGS, estación de cuyo mantenimiento y operación en el OT se ocupa el IAC bajo contrato con la ESA. Actualmente se llevan a cabo los siguientes proyectos: GTC AO LGS, para el GTC; MCAO solar, para el EST; y AOLI, para el WHT y el GTC.

Con frecuencia, los nuevos instrumentos, técnicas y metodología son de interés más allá del ámbito astrofísico. Así se han hecho, por ejemplo, contribuciones en el campo de la medicina, relacionadas con neuroquímica y, sobre todo, con instrumentación oftalmológica (OFTACROM, DELPHI, Espacio Acústico Virtual...).

Un paso más en este sentido fue la creación de **IAC-TEC**, iniciativa del IAC que promueve la colaboración público-privada, impulsando la creación de empleo de calidad y la generación de productos tecnológicos de alto valor añadido y alto potencial de comercialización, tanto en el ámbito nacional como internacional. Una de sus líneas es precisamente **Tecnología Médica**, con proyectos para la detección precoz del “pie diabético” y otro tipo de patologías.

El IAC adquirió en sus inicios experiencia en las cargas científicas para cohetes de sondeo haciendo instrumentación para estudios de alta atmósfera. De ahí que participara de manera destacada en el

diseño y construcción del ISOPHOT-S, para el ISO, y en los instrumentos GOLF y VIRGO, para el SOHO, los primeros satélites en los que España aportaba instrumentación científica. Posteriormente, el IAC participó en PACS y SPIRE, para Herschel, y LFI, para Planck, lanzados conjuntamente en 2009. Se construyó IMAx, para SUNRISE, y SOPHI, para Solar Orbiter. También se colaboró en la cámara infrarroja del módulo japonés (JEM-EUSO) y en el AMS-02, ambos a bordo de la ISS, y en la Unidad de Control del NISP, para Euclid. Actualmente se desarrolla la electrónica de control y fuentes de alimentación de la misión PLATO.

En el marco del programa **IAC-TEC-Espacio** se diseñan y construyen cargas útiles para observación de la Tierra desde satélites en órbitas bajas. ALISIO-1 es el primer satélite propio del IAC, lanzado el 1 de diciembre de 2023, con las cámaras DRAGO a bordo, cuyo banco de pruebas fue la erupción en 2021 del Tajogaite en La Palma. Con este nanosatélite canario, se elaboran planes de prevención y actuación frente a catástrofes naturales.

Por su parte, el grupo de Comunicaciones Ópticas en Espacio Libre (**FSOC**) explora y perfecciona las capacidades de transmisión de datos mediante enlaces ópticos en el espacio y en la Tierra (comunicaciones clásicas y cuánticas). Además, el IAC lidera el ambicioso proyecto europeo **CELESTE** para la investigación y tecnología de vanguardia en los sectores espacial y óptico.



Figura 6. Asistentes al congreso "Impulsando la Astrofísica en España: 50 años de tesis doctorales en el IAC". © Inés Bonet (IAC). Diseño de logo: Gabriel Pérez (SMM, IAC).

En el programa de IACTEC-Grandes Telescopios se están desarrollando tres de los proyectos más ambiciosos del mundo: [EST](#), telescopio solar de 4,2 m de diámetro en el que participan más de treinta instituciones de una veintena de países; [CTAO](#), observatorio para el estudio del Universo en rayos gamma de muy alta energía y recientemente convertido en un ERIC; y [NRT](#), el mayor telescopio robótico del Planeta con sus 4 m de diámetro.

Desde 2007, el Centro de Astrofísica en La Palma (CALP), con el nombre de "Francisco Sánchez" en honor al fundador del IAC, alberga el "Superordenador LaPalma", uno de los siete nodos de la Red Española de Supercomputación. De él han hecho uso más de 150 proyectos, desde el análisis de las propiedades térmicas de los nanofluidos de grafeno al estudio de las primeras estrellas de la Vía Láctea.

5. ENSEÑANDO ASTROFÍSICA EN LA UNIVERSIDAD POR UN TUBO Y MÁS ALLÁ

Antecedente del IAC actual fue el "Instituto Universitario de Astrofísica", de la ULL. Creado en 1973, de él pasaba a depender el OT, fundado a su vez en 1959 a raíz de un eclipse total de Sol visible desde Canarias. Hoy, el convenio que mantiene esta vinculación estipu-

la que los miembros del [Departamento de Astrofísica](#) de la Facultad de Ciencias de la ULL son investigadores del IAC y viceversa, haciendo a ambas instituciones corresponsables tanto de la docencia como de la investigación astrofísica dentro de esta universidad. De modo que, a través de su Área de Enseñanza Superior, el IAC colabora con el Departamento, cuyo devenir en sus primeras décadas se recoge en el libro [Historia del Departamento de Astrofísica de la Universidad de La Laguna](#), editado por el IAC en 2009.

Los investigadores del centro imparten docencia en distintas titulaciones ofrecidas por la ULL: en los Grados en Física y Matemáticas, así como en el [Máster en Astrofísica](#), con tres itinerarios de especialización (Teórico-Computacional, Observacional-Instrumental y Estructura de la Materia) y necesario para hacer una tesis doctoral (ver [Programa de Doctorado en Astrofísica de la ULL/IAC](#)). En la actualidad se dirigen unas 60 tesis simultáneamente, leyéndose una media de diez al año.

En 2019 celebramos el medio siglo desde la lectura de la tesis doctoral "Contribución al conocimiento del medio interplanetario por fotometría y polarimetría de la Luz Zodiacal", de Francisco Sánchez. Fue la primera

tesis de Astrofísica realizada en España con datos tomados desde Canarias, en concreto con el fotopolarímetro de la Universidad de Burdeos, instalado en el OT. Desde entonces se han defendido del orden de 400 tesis doctorales en la ULL-IAC. Para conmemorar esta efeméride, se organizó en La Laguna el congreso “Impulsando la Astrofísica en España: 50 años de tesis doctorales en el IAC”. Este evento reunió a muchos de esos doctorados para analizar el impacto de sus tesis y la evolución de sus carreras científicas.

Desde 1989, especialistas mundiales en algún tema de gran interés en astrofísica imparten clases y conviven con jóvenes astrofísicos de todo el mundo en la *Canary Islands Winter School of Astrophysics*, que celebrará su 36ª edición este año.

Programas de profesores visitantes, coloquios y seminarios, con invitados científicos de prestigio internacional, se vienen ofreciendo en el IAC desde 1991, en colaboración con otras instituciones. También se han organizado Escuelas de Verano y de Instrumentación, además de cursos dentro y fuera de Canarias.

6. ORGANIZANDO SEMINARIOS, CONGRESOS Y OTRAS REUNIONES

En 1989 se celebró en La Laguna la XI Reunión Regional Europea de la IAU con el título: “*New Windows to the Universe*” y más de 300 astrónomos profesionales, aunque previamente habían tenido lugar otras reuniones científicas. Tras estos primeros foros astrofísicos en Canarias, estimo una media de seis grandes congresos al año los organizados en las Islas.

Memorable fue el encuentro en 1995 “*Key Problems in Astronomy*”, en el que grandes maestros de la astrofísica, encabezados por Allan Sandage, posaron para la foto sobre un puente japonés en el Puerto de la Cruz (Tenerife). Lo hicieron tras reunirse con jóvenes investigadores españoles y de diferentes países para identificar los proyectos “clave” que debían emprender las siguientes generaciones. Los secretos de este encuentro único los contaba una periodista “indiscreta” en la *XIV.0 Reunión Científica (virtual) de la SEA*.

El IAC, junto con la SEA, coordinó localmente la EWAS de 2015, que en aquella edición reunió a

Figura 7. Cartel de las reuniones “New Windows to the Universe” y EWASS 2015.



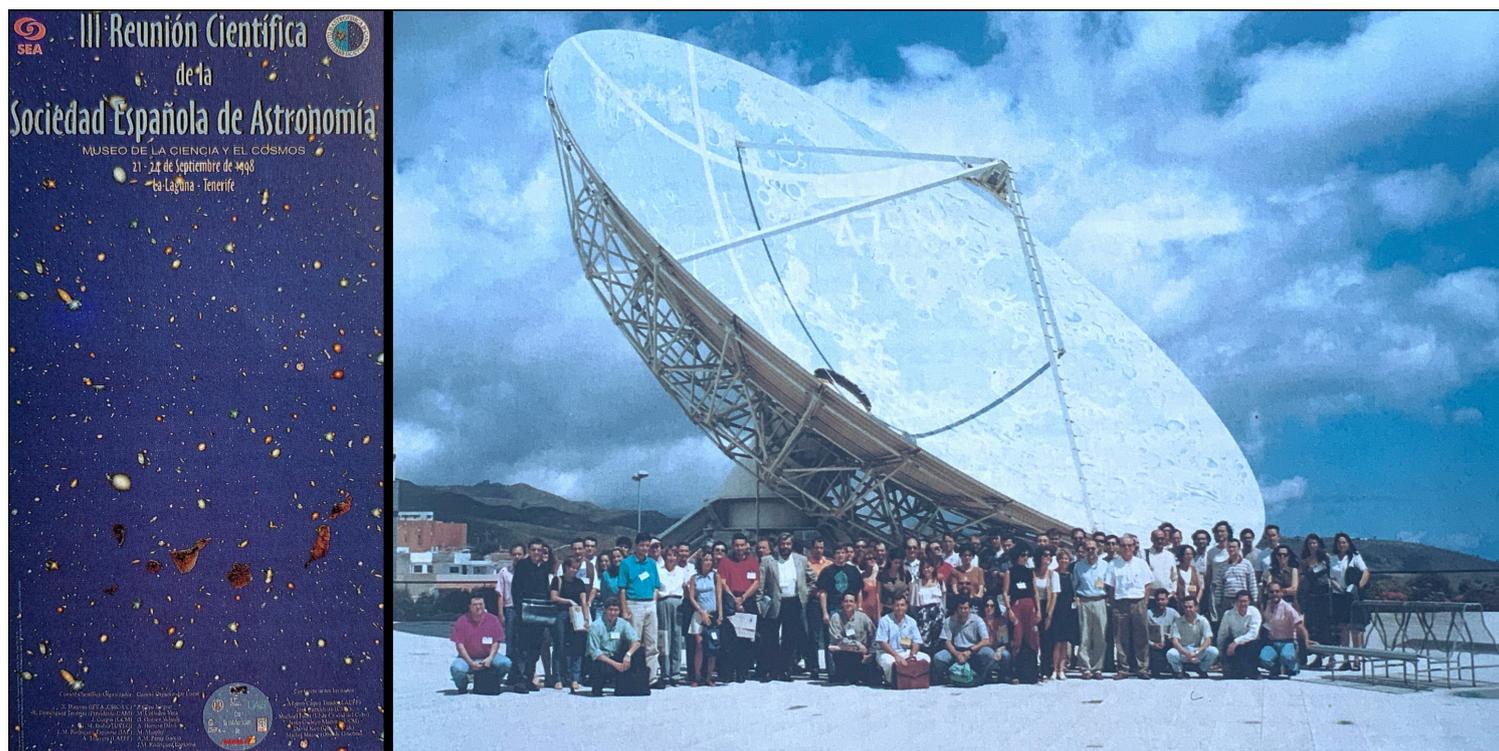


Figura 8. Cartel y participantes en la III Reunión Científica de la SEA, celebrada en 1988 en el Museo de la Ciencia y el Cosmos, en La Laguna (Tenerife).

más de 1.200 astrónomos de más de 50 países en el Campus de Guajara de la ULL. Desde 1995 se dan una serie de charlas informativas sobre el trabajo científico individual del personal del Instituto y visitantes (IAC Talks). Además, todos los años se organiza internamente el “Día de Nuestra Ciencia” y se colabora con las distintas ediciones de COEFIS (Congreso de Estudiantes de Física de la ULL).

7. APOSTANDO POR LA DIVULGACIÓN, LA IGUALDAD Y EL MEDIOAMBIENTE

El IAC se esfuerza en la divulgación de la ciencia porque también es uno de sus fines. Primero la canalizó a través de su Gabinete de Dirección y, desde 2014, se encarga la Unidad de Comunicación y Cultura Científica (UC3), dependiente de la Dirección del IAC.

En 1986 se contrató a una periodista científica (la autora de este artículo y de la tesis “**PERIODISMO CIENTÍFICO: La Astronomía en titulares de prensa**”, reseñada en el boletín de la SEA 2001). Y se comenzó a editar *IAC Noticias*, que recogía toda la actividad del IAC, incluidos congresos y escuelas. Con distintos formatos, se publicó durante 20 años. También se editaron las revistas digitales *caosyciencia.com* y *GTCdigital*, además de numerosos folletos, me-

morias, unidades didácticas, carteles, calendarios, fichas y productos de *merchandising*. Desde 2016 se publica *Paralajes*, una revista monográfica: *Luces del Universo*, *El tsunami Starmus 2014*, *Mujeres en Astronomía*, *El Infrarrojo* y *La Astrofísica en La Palma*. Una labor editorial que incluye los libros *Soñando estrellas. Así nació y se consolidó la Astrofísica en España*, de Francisco Sánchez, y *Observando el Sol desde Tenerife. Una aventura sobre el mar de nubes*, de Manuel Vázquez Abeledo. Y abundantes vídeos (disponibles en los canales del IAC), como la serie “IAC Investiga”.

Los OOC, al margen de las anuales jornadas de puertas abiertas, reciben visitas de miles de escolares y particulares. Populares y mediáticos han resultado siempre los actos vinculados a las inauguraciones de los nuevos telescopios que se incorporaban, así como la cobertura de eventos con visitas de premios nobel de Física y otros (Severo Ochoa, Mario Vargas Llosa...). Cómo no mencionar a sir Fred Hoyle o a Stephen Hawking (“Astrofísico de Honor del IAC”, igual que el rey Felipe VI). Algunos ilustres personajes ya forman parte del Paseo Estrellas de la Ciencia de La Palma, como Jocelyn Bell, quien dejó su impronta audiovisual, igual que otros “visitantes de altura”, en la serie de entrevistas del IAC “Voces”.

La comunicación de resultados científicos, tecnológicos, educativos y de divulgación del IAC y sus Observatorios se traduce en unas 200 notas de prensa al año, numerosas entrevistas y la atención a más de 300 solicitudes de medios y productoras. En 2015 se coordinó, con todos los Centros de Excelencia Severo Ochoa, el primer [Foro 100xCiencia](#), celebrado en La Palma. Y además de su [página web](#), en la última década el IAC ha creado un [blog](#) e impulsado la difusión en las redes sociales. Con el COVID-19, sin poder organizar eventos presenciales, hubo que acercar el Universo a los hogares a través de plataformas *online* ([#IACUniversoEnCasa](#)).

Las exposiciones, algunas enteramente del IAC y siempre asociadas a inauguraciones o efemérides, empezaron en 1985 con "Instrumentos astronómicos en la España medieval y su influencia en Europa". Presencia notoria se tuvo en la EXPO 92 de Sevilla, con cinco módulos en los pabellones de Canarias y del Futuro, y también, en Hannover 2000. Le han seguido, entre otras, "20 años de Astronomía en La Palma"; "COSMOVISIONES", "Sorpresas del Cosmos", "Luces del Universo" o la educativa e itinerante "100 Lunas Cuadradas" -imágenes obtenidas con el astrógrafo STC del IAC, en el OT-, presente en la XIII Reunión Científica de la SEA (Salamanca, 2018), en el Instituto Cervantes en Tokio y en la sede del Parlamento Europeo en Bruselas.

El Cabildo de Tenerife y el IAC crearon en 1993, en La Laguna, el Museo de la Ciencia y el Cosmos, el único en España promovido por un centro de investigación. Muy estrecha es la relación con este icónico y popular museo, siempre dirigido por miembros del IAC (yo misma tuve ese privilegio). Igualmente, con el Museo Elder de Las Palmas.

En 2021 se inauguró el Centro de Visitantes del Roque de los Muchachos, con el Cabildo de La Palma y el Ayuntamiento de Garafía.

Los cometas siempre se prestan a hacer divulgación y en los noventa nos visitaron varios. El seguimiento de los impactos en Júpiter del cometa P/Shoemaker-Levy 9 en 1994 significó el mayor esfuerzo observacional coordinado en los OCCC, los primeros en notificar, según la IAU, la detección del impacto tras obtener sus primeras imágenes con instrumentación infrarroja del IAC.

Con el Hyakutake en 1996, el IAC organizó concursos y propuso a las agrupaciones de astrónomos aficionados españoles una observación simultánea, a la que acudieron 30.000 personas (5.000 en las playas del Puertito de Güímar, Tenerife). Y sobre el brillante Hale-Bopp se organizó en el Puerto de la Cruz su primera Conferencia Internacional.

Con motivo del tránsito de Venus sobre el disco solar en 2004, se orquestó de nuevo una campaña desde los OCCC. Lo mismo con varios tránsitos de Mercurio. Siempre se comparte con la sociedad información relacionada con cometas, lluvias de estrellas, alineaciones planetarias, ocultaciones, auroras boreales o eclipses.

El IAC cuida a los medios de comunicación y, en especial, a la revista "*Astronomía*", que tanto hace por la divulgación astronómica y que por nuestro 40 aniversario está publicando una serie de artículos de investigadores del centro.

El IAC y los OCCC llevan a cabo proyectos y actividades para la comunidad educativa y/o al público general, con ayuntamientos, cabildos y la Consejería de Educación del Gobierno de Canarias. Incluyen: elaboración de material didáctico, cursos de formación de profesorado, uso de telescopios, charlas en centros educativos, conferencias, exposiciones... Ya en 1990, el IAC firmó con la Fundación SM un acuerdo por el que se organizaban los cursos anuales "El Universo y yo" para profesores de enseñanzas medias. Le han seguido muchos otros proyectos, como "COSMOEDUCA", "Nuestros Alumnos y el Roque de los Muchachos", "SolarLab", con 80.000 alumnos y más de 300 profesores; "PETeR", laboratorio científico en línea con los telescopios robóticos Liverpool y Las Cumbres y de otros observatorios que permite a los escolares descubrir el Universo realizando sus propias observaciones; "CosmoLAB: el Sistema Solar como Laboratorio en el Aula", con el Cabildo de Tenerife; los cursos internacionales de verano para profesorado "*Astronomy Adventure in the Canary Islands*", que en 2024 celebraron su décima edición; o "el proyecto AMANAR: bajo el mismo cielo", de GalileoMobile y la Asociación Canaria de Amistad con el Pueblo Saharaui. Además, se participa en ferias educativas y de divulgación.

Desde sus comienzos, el IAC ha ofertado becas y contratos para formación y prácticas de comunicación y difusión de la ciencia. Incluso en el Máster de Astrofísica de la ULL se ha impartido la asignatura “Comunicación de resultados científicos y Didáctica de la Astronomía”, una “asignatura pendiente”, como expuse en la VIII Reunión Científica de la SEA (Santander, 2008).

¿Sueñan los títeres con el Cosmos? ¿Hay estrellas entre viñedos? ¿Puede la granulación solar o un gran telescopio inspirar un diseño de moda? ¿Y estampar el Universo en equipajes de jugadores de baloncesto? ¿Ha tocado una orquesta sinfónica la *Heroica* de Beethoven dentro de un telescopio? ¿Son los Observatorios buenos platós de cine? El IAC siempre ha apostado por proyectos transversales, que combinan la astrofísica con otras materias. Lo hizo con “El regreso de Henrietta Leavitt: de la escuela a la carrera investigadora pasando por el teatro”; o “En un lugar del Universo...”, que fusiona astronomía y literatura, con el resultado de un libro del mismo título con fines solidarios, y la colaboración en todas sus ediciones con el Festival Hispanoamericano de

Escritores, que se celebra en La Palma. Nuevas estrategias y recursos de divulgación se ensayaron en 2009, Año Internacional de la Astronomía: “Astro para todos los públicos”, con imágenes del Universo hasta en cupones de la ONCE. Y con el Museo se multiplicaron las actividades: 50 aniversario del eclipse de Sol de 1959, con testigos del mismo; curso de astronomía y cine, con la exposición de los instrumentos astronómicos de la película *Ágora* y la presencia de su director; o el juego de mesa “Astromemory”. Y se colaboró en el proyecto pilar del IYA2009 “100 horas de Astronomía”, en “La vuelta al mundo en 80 telescopios” y en el libro *Astronomía Made In Spain*, editado por la SEA.

El IAC ha estado detrás de programas de radio de divulgación científica de gran éxito y de iniciativas como ASTROFEST y El Festivalito de La Palma, o apoyando el Festival STARMUS, cuya última edición se ha celebrado en esta isla.

En 2017, el IAC organizó el “Gender in Physics Day”, en el marco del proyecto GENERA sobre igualdad de género en los centros de investigación. El pasado

Figura 9. Expositor sobre Comunicación y Divulgación del IAC presentado en la XII Reunión Científica de la Sociedad Española de Astronomía (SEA), celebrada en Bilbao, del 18 al 22 de septiembre de 2016. Diseño: Inés Bonet (IAC).





Figura 10. El escritor Mario Vargas Llosa, recientemente fallecido, participó en el proyecto del IAC “En un lugar del Universo...”. © Iván Jiménez (IAC). Diseño del libro: Inés Bonet (IAC).

8M, la Comisión de Igualdad del IAC presentó su [IV Plan de Igualdad](#), destacando el aumento en el número de mujeres contratadas en el Instituto: en enero de 2025 se registró un total de un 34,37% en la plantilla; el reto es llegar al 40% en todas las escalas. Proyectos como “[Habla con ellas: Mujeres en Astronomía](#)” o la serie audiovisual “[Niñas que rompieron un techo de cristal mirando al cielo](#)”, visibilizan el trabajo de las mujeres en el campo y ofrecen nuevos referentes profesionales para fomentar vocaciones científicas y tecnológicas.

El compromiso con la Igualdad se hace extensible al [Medioambiente y la Sostenibilidad](#). Como institución basada en la ciencia, el IAC debe ser modelo y referencia de los comportamientos sostenibles propuestos por el IPCC y actuar con exquisito respeto sobre el entorno dado su enorme valor patrimonial y ambiental. La sociedad canaria y las futuras generaciones lo demandan y lo merecen.

8. BRINDANDO CON EL PERSONAL

En los últimos años, el IAC ha puesto en marcha “[Amigos del IAC](#)”, un programa de cooperación ciudadana y mecenazgo científico, y en este 40 aniversario quiere hacer lo mismo con el Club “[Forever IAC](#)”, cuyo objetivo es crear una comunidad de ex empleados, especialmente personal jubilado, fomentando la participación, el intercambio de conocimientos y el sentimiento de pertenencia a la institución. En esa comu-

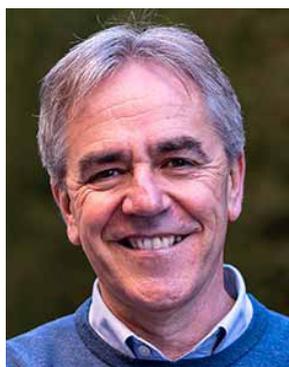
nidad se encuentran muchos miembros de la SEA, hoy vinculados a magníficos centros de investigación astrofísica, y otros que ya no están en ninguna parte, aunque permanecerán siempre en nuestra memoria.

Para terminar, un último apunte. Hace cuatro décadas, el personal científico, técnico y administrativo del IAC era de pocas decenas. Hoy trabajan en él más de 500 personas. Y subrayo que los proyectos científicos y tecnológicos no habrían sido posibles sin el excelente trabajo del personal de la Administración de Servicios Generales, imprescindible para gestionarlos y para el funcionamiento general del centro. Incluyo el personal de la Biblioteca por el ingente fondo documental especializado que maneja; los Servicios informáticos, siempre tan eficientes, como demostraron durante la pandemia; gerentes y gestores de áreas, departamentos y proyectos; y los compañeros que hacen comunicación y divulgación científica. A todos ellos, a los actuales y a los que en algún momento en estos cuarenta años pasaron por el IAC, felicidades por conseguir que la sociedad ame la Astrofísica.

DEDICATORIA FINAL

A **Francisco Sánchez Martínez**, director fundador que lideró el IAC hasta 2013, a **Rafael Reboló López**, quien le sucedió en el cargo hasta 2024, y a **Valentín Martínez Pillet**, quien lo ostenta actualmente. Mi agradecimiento personal y el que la comunidad científica y la sociedad les debe.

El Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), es un centro del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) situado en Granada. Con más de 260 miembros, el IAA ocupa una posición sólida y única en la astrofísica e investigación espacial en España, siendo el mayor centro de investigación astrofísica del CSIC. El IAA fue fundado en 1975 con el objetivo de crear un centro de investigación de excelencia en astrofísica, ciencia espacial y sus tecnologías asociadas, a nivel nacional e internacional. Nuestra misión es expandir el conocimiento sobre el cosmos y nuestro lugar en él a través de la investigación de vanguardia en astrofísica y ciencia espacial, fomentar el progreso tecnológico desarrollando instrumentación innovadora definida en base a nuestros requerimientos científicos, y difundir nuestra investigación entre la comunidad científica y el público en general a través de extensas actividades de divulgación.



Antxon Alberdi
Director IAA-CSIC
antxon@iaa.es



Isabel Márquez
Directora Científica Proyecto "Severo Ochoa - IAA"
isabel@iaa.es

1. INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA (IAA-CSIC). LOS PRIMEROS AÑOS DE SU HISTORIA.

La década de los setenta del siglo XX puede identificarse como el momento en el que comienza el auge de la astrofísica moderna en España. Los centros europeos buscaban para sus telescopios lugares excelentes que garantizaran la observación astronómica en óptimas condiciones. La excelente calidad del cielo de algunos emplazamientos en España colocó a nuestro país en una situación de privilegio. Reino Unido, Alemania, Suecia y Holanda, entre otros países europeos, comenzaron a interesarse por las condiciones astronómicas en nuestro país y, poco más tarde, iniciaron negociaciones con el Gobierno español para tratar de establecer los acuerdos de colaboración necesarios. Algunas zonas de las Islas Canarias y del Sureste de la Península destacaban entre un conjunto muy amplio de lugares potencialmente interesantes, y es en ellas donde comenzaron a instalarse los grandes complejos observacionales europeos del Hemisferio Norte. La Palma, Tenerife, Almería y Granada constituyen las respectivas sedes de los observatorios más importantes de la Europa continental.

Sin embargo, la situación de las actividades astronómicas en España era por entonces muy precaria. Tanto en Canarias como en la Península se habían llevado a cabo notables esfuerzos para tratar de revitalizar viejas instalaciones (caso de Granada con el Observatorio de Cartuja), o de reconducir otras más recientes hacia líneas de trabajo más novedosas y competitivas (caso de Canarias con el Observatorio del Teide). De cualquier forma, estas acciones se realizaron en condiciones muy poco favorables y su alcance no llegó a traspasar unos límites modestísimos, que en nada hacían suponer un cambio tan importante como el que se produjo después.

Este tipo de razones subyacía en la iniciativa del CSIC para la potenciación de la astrofísica. La existencia de un pequeño y activo grupo de investigación en la Universidad de Granada resultó ser un factor decisivo a la hora de que el CSIC decidiese la **creación del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA)**, con sede en Granada (1975).

El CSIC había venido apoyando desde los años sesenta la labor que la Compañía de Jesús realizaba en el Observatorio de Cartuja. Este observatorio,



Figura 1. Palacio de la Madraza en Granada, primera sede del IAA-CSIC, con algunos de los primeros investigadores e ingenieros vinculados al IAA en sus inicios.

fundado en 1902, disponía en esa época de una estación de montaña situada en Sierra Nevada, en el Mohón del Trigo, a 2.605 m de altitud, que contaba con un pequeño telescopio Cassegrain de 32 cm de apertura. Este telescopio se utilizaba conjuntamente con el Royal Greenwich Observatory (RGO) (Reino Unido) para llevar a cabo estudios de fotometría estelar. Entre 1971 y 1980 se realizaron observaciones de estrellas variables en el Mohón. Disponía también de un fotómetro automático, propiedad del Max Planck Institut für Aeronomie de Lindau (Alemania), cuya finalidad era la de proporcionar medidas de las emisiones del oxígeno atómico atmosférico para estudiar los fenómenos de luminiscencia nocturna.

En enero de 1971 se estableció un convenio entre la Compañía de Jesús y la Universidad de Granada, en virtud del cual el Observatorio de Cartuja pasaba a depender de la propia Universidad. En esa época se había decidido ya la creación del Centro Astronómico Hispano Alemán de Calar Alto (Almería), cuyo instituto de referencia científico es hoy en día el IAA-CSIC. Igualmente, habían sido establecidas las bases para la construcción del Observatorio de Pico Veleta y el radiotelescopio milimétrico del Institut de RadioAstronomie Millimétrique (IRAM), en una zona próxima a la estación del Observatorio de Cartuja.

La propuesta de creación del IAA, realizada por el CSIC en julio de 1975, tomaba en cuenta esta situación. Se decidió que, para que el nuevo Instituto pudiese adquirir una personalidad científica, era nece-

sario disponer de **medios propios de observación** que, aunque modestos, pudieran permitir la realización de programas intensivos sobre líneas de investigación propias. Ello permitiría formar a los investigadores que, posteriormente, optimizaran el uso de los grandes telescopios accesibles en otros observatorios de cuyas organizaciones formara parte nuestro país.

En aquellos momentos, el IAA contaba con una mínima dotación económica, con muy escaso personal y sin un lugar físico en el que ubicarse. A los pioneros José María Quintana, Ángel Rolland, Pilar López de Coca y Eduardo Battaner, pronto se incorporarían Victor Costa y Rafael Garrido, el primer becario del IAA, germen de lo que más tarde se constituyera como Departamento de Física Estelar. Se incorporaron también varios estudiantes para la reducción de los datos de las bandas de airglow y para las observaciones fotométricas: José Juan López Moreno, Nicolás Pérez de la Blanca, Eduardo Pérez "Pericles" y Rafael Rodrigo, entre otros.

Después de múltiples dificultades, en febrero de 1976, el IAA encuentra una **sede provisional en el Palacio de la Madraza de Granada** (Fig. 1), edificio en el que Yusuf I creó en el siglo XIV la primera "Madraza" árabe, traducción islámica del concepto de universidad al uso en la Europa cristiana. En esta sede provisional el IAA continuó creciendo poco a poco con la incorporación de personal contratado y becario, llevando a cabo un trabajo científico-técnico excelente, a la vez que enormemente generoso. No disponían todavía de instrumental propio para la observación astronómica.

La disponibilidad de instrumentos de observación propios se resolvió por medio de un acuerdo establecido entre la Universidad de Granada y el CSIC, en virtud del cual todos los instrumentos disponibles en el Observatorio de Cartuja quedaron a disposición del IAA sin restricción alguna; a su vez, se habilitó una vía de colaboración científica entre el personal del IAA y el de la Universidad, en concreto de la recién nacida Facultad de Ciencias Físicas. Gracias a ello se pudo disponer de medios de observación propios que, aunque modestos, permitieron al IAA avanzar con éxito en la idea de un instituto de investigación moderno.

En esa etapa **nace un incipiente grupo de instrumentación** cuya finalidad era medir *in situ* emisiones de la atmósfera por medio de cohetes de sondeo. **En 1981 se lanza el primer cohete de sondeo atmosférico** desde la base del Arenosillo en Huelva, con el fotómetro FOC-CA, construido por el equipo de instrumentación del IAA. Los resultados desbordaron las mejores previsiones, iniciándose así tareas que hoy en día están plenamente acreditadas en nuestro Instituto y que derivaron en las tareas de instrumentación que actualmente se realizan en el Departamento de Sistema Solar.

En 1978, el IAA se trasladó, también de forma provisional, desde la Madraza a la casa amarilla de uno de los edificios de la **Estación Experimental del Zaidín** (EEZ), instituto de Ciencias Agrarias del CSIC. Allí el instituto se instaló durante unos años, al tiempo que iba reclutando nuevo personal, pre- y postdoctoral, proveniente en gran medida de instituciones científicas fuera de Granada, que contribuyeron de forma muy importante al crecimiento del centro.

La necesidad de poseer unas instalaciones observacionales propias se concretó en negociaciones con el Royal Greenwich Observatory (RGO) y el Observatoire de Nice, que fructificaron en sendos convenios entre el CSIC y el Science & Engineering Research Council (SERC) inglés, por una parte, y con el Centre National pour la Recherche Scientifique (CNRS) francés, por otra. Así, el CSIC se comprometía a la **construcción del Observatorio de Sierra Nevada (OSN)** (Fig. 2) en la falda del Pico Veleta, y las instituciones extranjeras, en contrapartida, cedían sendos telescopios, de 60 y 75 cm respectivamente, para ser instalados en dicho observatorio y explotados conjuntamente. En 1982 se inician las observaciones en el telescopio de 60 cm y en 1983 en el telescopio de 75 cm. Esta situación llevaba consigo también el compromiso del IAA para definir y crear nueva instrumentación, parte de la cual sería desarrollada dentro del propio Instituto.

La instrumentación del OSN, aunque mejor que la inicial en el Observatorio de Cartuja, distaba mucho de ser satisfactoria, por lo que también se trató de conseguir una solución duradera, ya que no definitiva. Se buscaba instrumentación de observación más competitiva, que fuese propiedad del Instituto. La idea tomó cuerpo cuando, después de unos contactos iniciales, se estableció un programa en el que el CSIC y la Academia China de las Ciencias se comprometían a colaborar en la construcción de dos telescopios de 0.9 y 1.5 m, respectivamente, y los equipos de control correspondientes, en unas condiciones económicas muy favorables para el CSIC. Firmados los correspondientes acuerdos en 1987, la instalación de los dos telescopios en el OSN comenzó en el verano de 1991.

Figura 2. Vista del horizonte oeste desde la ubicación del Observatorio de Sierra Nevada.

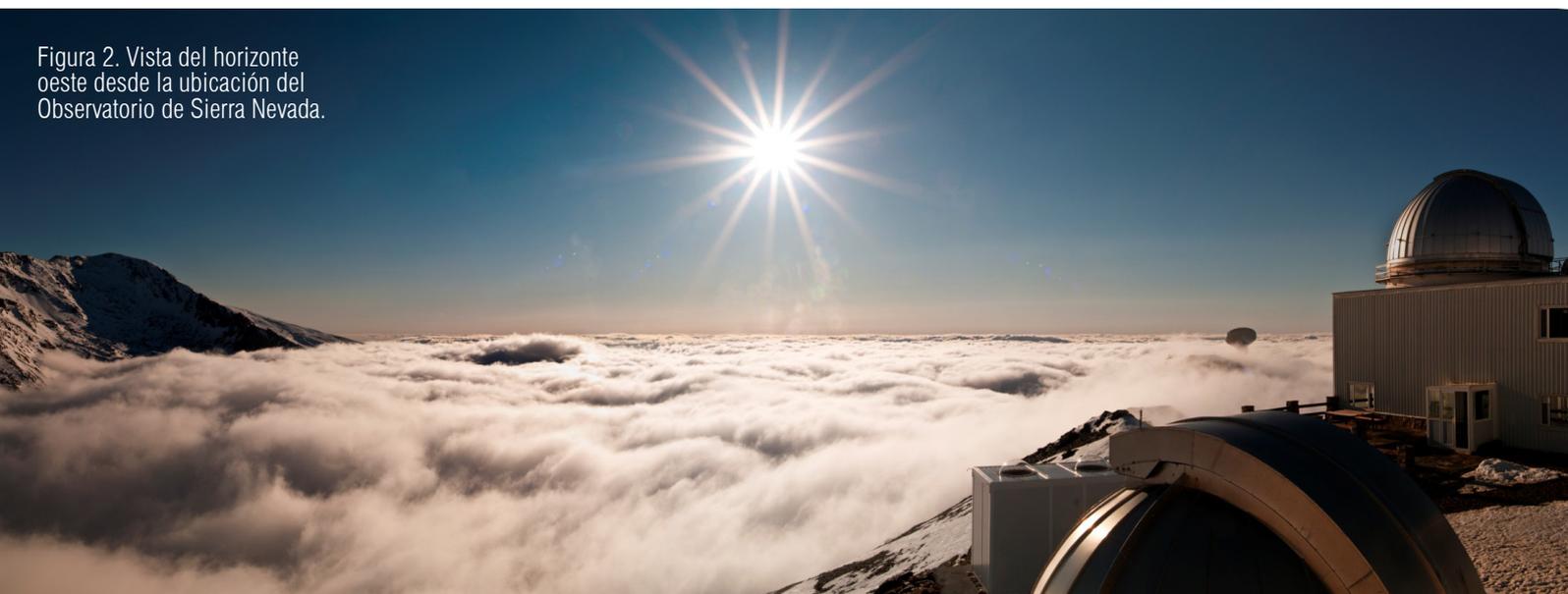




Figura 3. Edificio principal de la sede actual del IAA en la Glorieta de la Astronomía de Granada.

Con la instalación de los dos nuevos telescopios se alcanza el punto final de una primera fase en la historia del observatorio y del instituto, dotando al OSN de instrumental de carácter básico, colocando al IAA en disposición de afrontar los nuevos retos científicos y técnicos que le eran propios.

En cuanto a la sede del IAA, el CSIC finalmente aprobó la construcción de un edificio en unos terrenos que la propia institución poseía. Este **edificio fue inaugurado en 1986** (Fig. 3) y, desde entonces, ha ampliado ya varias veces sus instalaciones para adaptarse a las nuevas necesidades. Actualmente dispone de 3 edificios y un cuarto que está en fase de construcción. Desde estas etapas iniciales, el instituto ha evolucionado a lo que es hoy en día, un centro de excelencia científica tal y como certifica la concesión de la acreditación “Severo Ochoa” por parte del Ministerio de “Ciencia, Innovación y Universidades” para los periodos 2018-2022 y 2023-2026.

Actualmente, la actividad científica del IAA está estructurada en 4 departamentos (Sistema solar, Física estelar, Radioastronomía y estructura galáctica, y Astronomía extragaláctica), y está respaldada por la Unidad de Desarrollo Instrumental y Tecnológico (UDIT), la Unidad de Cultura Científica, la unidad de Servicios Generales y el Centro de Cálculo. El IAA cuenta además con una

Oficina de Calidad del Cielo y con diferentes comisiones que ayudan a la gobernanza del centro. A lo largo de su historia el IAA ha contado con diversos directores: José María Quintana (1975-1987), Mariano Moles (1988-1990), Rafael Rodrigo (1990-2004), José Carlos del Toro (2004-2006), Francisco Prada (2006-2008), Matilde Fernández (2008-2012), José Manuel Vilchez (2013-2017) y, el actual, Antxon Alberdi (2017-2025).

2. EL INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA (IAA-CSIC) EN 2025, UN CENTRO DE EXCELENCIA CIENTÍFICA

Desde su nacimiento en 1975, el IAA-CSIC no ha parado de crecer. En estos 50 años, las personas que investigan en el IAA han pasado de realizar sus primeros estudios sobre la **física de las estrellas**, observando con los telescopios del OSN, a investigar en todas las principales áreas de la **astrofísica moderna**, en todos los rangos del espectro electromagnético, utilizando los mejores telescopios del mundo mediante la adjudicación de tiempo de observación competitivo. De un incipiente grupo de instrumentación, cuya finalidad era medir in situ emisiones de la atmósfera por medio de cohetes de sondeo, se ha pasado a desarrollar **instrumentación de vanguardia** para telescopios tanto en espacio como en Tierra, formando parte de grandes consorcios internacionales, en algunos casos como investigadores principales del correspondiente proyecto.

2.1. La investigación en el IAA

El IAA presenta una combinación excepcionalmente amplia de investigación en casi todas las áreas principales y rangos espectrales cubiertos por la astrofísica, junto con desarrollos instrumentales y tecnológicos de vanguardia, y la participación en actividades educativas, académicas y de divulgación. El número y la gran diversidad de científicos del IAA permiten la explotación científica de grandes instalaciones en todo el rango espectral utilizando diferentes técnicas observacionales (fotometría, espectroscopia, imagen, espectropolarimetría, interferometría...), y motiva un enfoque sinérgico de la astrofísica, la cosmología y la física de partículas, combinando observaciones y desarrollos tecnológicos con teoría y simulaciones numéricas.

El IAA tiene como objetivo general avanzar en la comprensión del Universo en todas las escalas. La investigación científica que se realiza en el IAA abarca las principales áreas de la Astrofísica, que van desde el sistema solar, la física estelar, los sistemas planetarios y las atmósferas de los correspondientes exoplanetas, la formación estelar, la física del medio interestelar, la astronomía extragaláctica incluyendo las diferentes componentes de las galaxias y su interrelación –incluyendo el efecto de los núcleos activos–, hasta llegar a la estructura a gran escala, donde las galaxias se entienden como unidades de construcción de estructuras de orden jerárquico superior, y la cosmología.

Nuestro objetivo estratégico declarado es consolidar el IAA como uno de los institutos líderes en astrofísica y ciencia espacial en Europa y garantizar su posición para la explotación de la próxima generación de experimentos avanzados y revolucionarios. Aprovechamos las oportunidades que ofrece nuestra gestión del Observatorio de Calar Alto (CAHA) para ocupar nichos únicos en astronomía observacional y seguir utilizándola como banco de pruebas tecnológico. Asentamos nuestra posición en la participación en misiones espaciales internacionales. Nos centramos en las grandes infraestructuras, incluyendo las instalaciones ESFRI en Astronomía, ya que desempeñarán un papel transformador en la astrofísica: participamos en el Square Kilometer Array Observatory (SKAO) (Fig. 4), en el Cherenkov Telescope Array Observatoriu (CTAO), el Extremely Large Telescope (ELT), el European Solar Telescope (EST) y el Next Generation Event Horizon Telescope (ngEHT). En el camino

hacia estos objetivos a largo plazo, haremos hincapié en el trabajo preparatorio con la instrumentación astronómica actualmente disponible.

Hemos participado y participamos en prácticamente todas las misiones de exploración del Sistema Solar de la Agencia Espacial Europea (ESA) y de otras agencias internacionales como NASA y JAXA (Fig. 5). Nuestra larga, reconocida, tradición y amplia experiencia en instrumentación para misiones espaciales, es una referencia en ciencia planetaria y solar en Europa y nos proporciona una posición prevalente para liderar al nivel de PI y co-PI instrumentación para misiones espaciales. A lo largo de nuestra historia, hemos participado en desarrollos instrumentales para Cassini-Huygens, Rosetta, Mars Express, Solar Orbiter, JUICE, SUNRISE, entre otros. Plato, con contribuciones desarrolladas en el IAA, volará en el año 2026. Además, el IAA participa a nivel de PI o co-PI en instrumentos para futuras misiones como TOTEM, Comet Interceptor, EnVision y Vigil de la ESA.

A lo largo de nuestra historia, la investigación de alta calidad del IAA se ha puesto de manifiesto por ejemplo en nuestro co-liderazgo en el descubrimiento de Próxima B, el exoplaneta en Próxima, la estrella más próxima a nosotros. Hemos iniciado una nueva línea de investigación para la caracterización multi-longitud de onda de las interacciones estrella-planeta. La contribución de CARMENES, codirigida por el IAA, ha sido primordial, no sólo por su confirmación de más de 59 nuevos exoplanetas, de ellos 43 Tierras y Super-Tierras, sino también porque ha abierto nuevas vías de para la detección de especies moleculares y el estudio de la dinámica de las exo-atmósferas de Júpiter calientes, y el escape de gas de exoplanetas gigantes (Fig. 6).

Un hito histórico de la exploración espacial fue la órbita durante 2 años de la misión Rosetta en torno al cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko (Fig. 7), revelando información sobre la naturaleza de los cometas. Igualmente exitoso ha sido el descubrimiento de anillos en Haumea, uno de los cuatro planetas enanos más allá de Neptuno, donde a través de ocultaciones estelares se reveló que tiene un anillo, estructura que podría ser más común de lo esperado (Fig. 8). Otro hito científico es el estudio de embriones estelares en torno a estrellas jóvenes, que son germen de los sistemas planetarios (Fig. 9).



Figura 4. El universo que veremos. El IAA lidera la participación española en el SKAO (en la imagen), el que será mayor radiotelescopio del mundo. También contribuimos en CTAO, ELT y EST.

Figura 5. Composición de imágenes ilustrativas de los proyectos instrumentales espaciales con participación del IAA. De izquierda a derecha: Comet Interceptor, PLATO y JUICE.

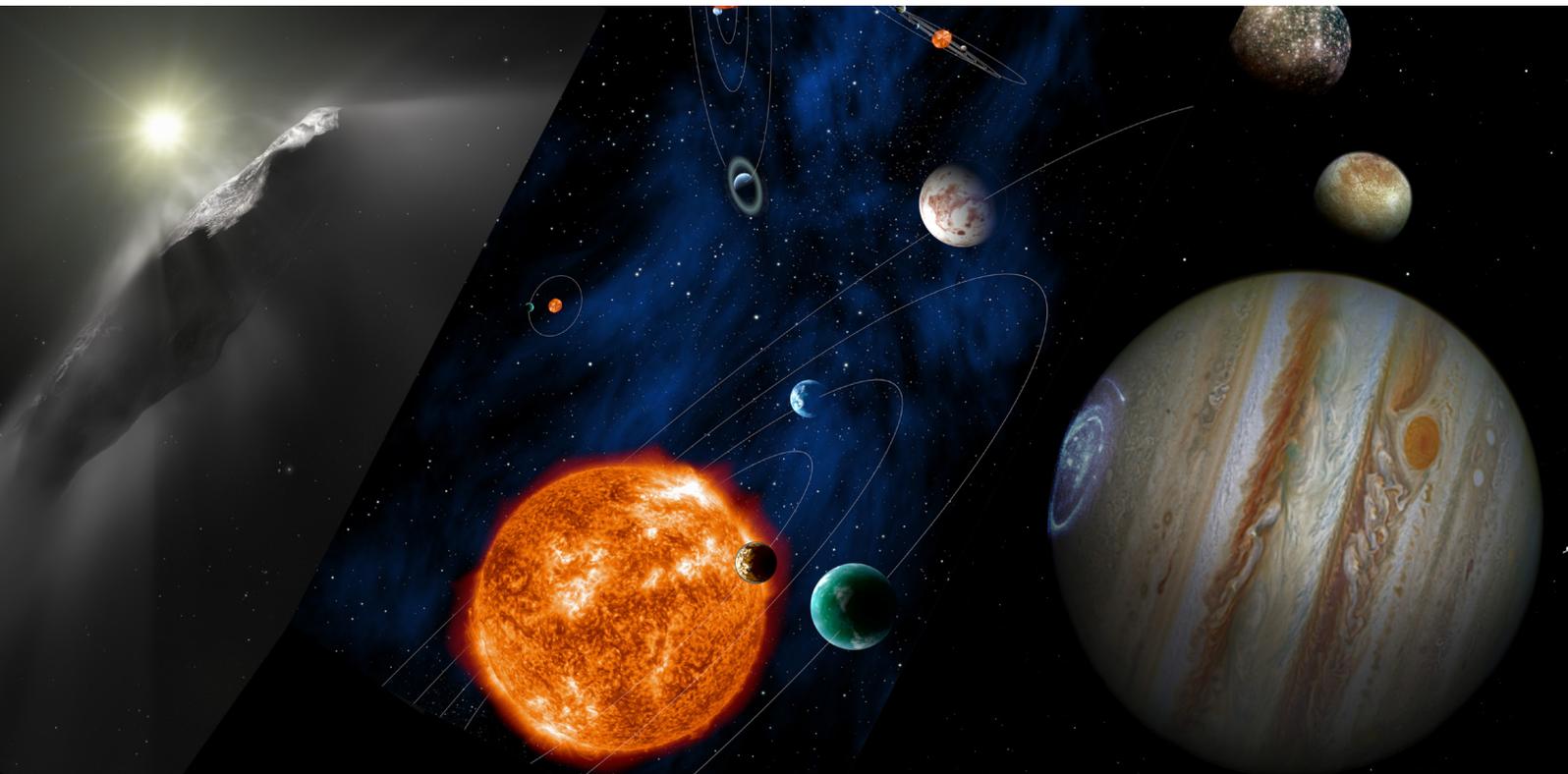




Figura 6. Otros mundos. El IAA-CSIC colidra la construcción del instrumento CARMENES y su proyecto asociado. Instalado en el telescopio de 3.5m de CAHA, CARMENES ha descubierto hasta la fecha cerca de 60 exoplanetas, una decena potencialmente habitables. Entre sus hallazgos más relevantes del grupo se incluyen un planeta menos denso que el algodón de azúcar y Proxima b, el exoplaneta más cercano al sistema solar.

Figura 7. Orbitar un cometa. La misión ROSETTA, hito histórico en la exploración espacial, orbitó el 67P/Churyumov-Gerasimenko, proporcionando información clave sobre la naturaleza de los cometas. El IAA participó tanto científica como tecnológicamente.

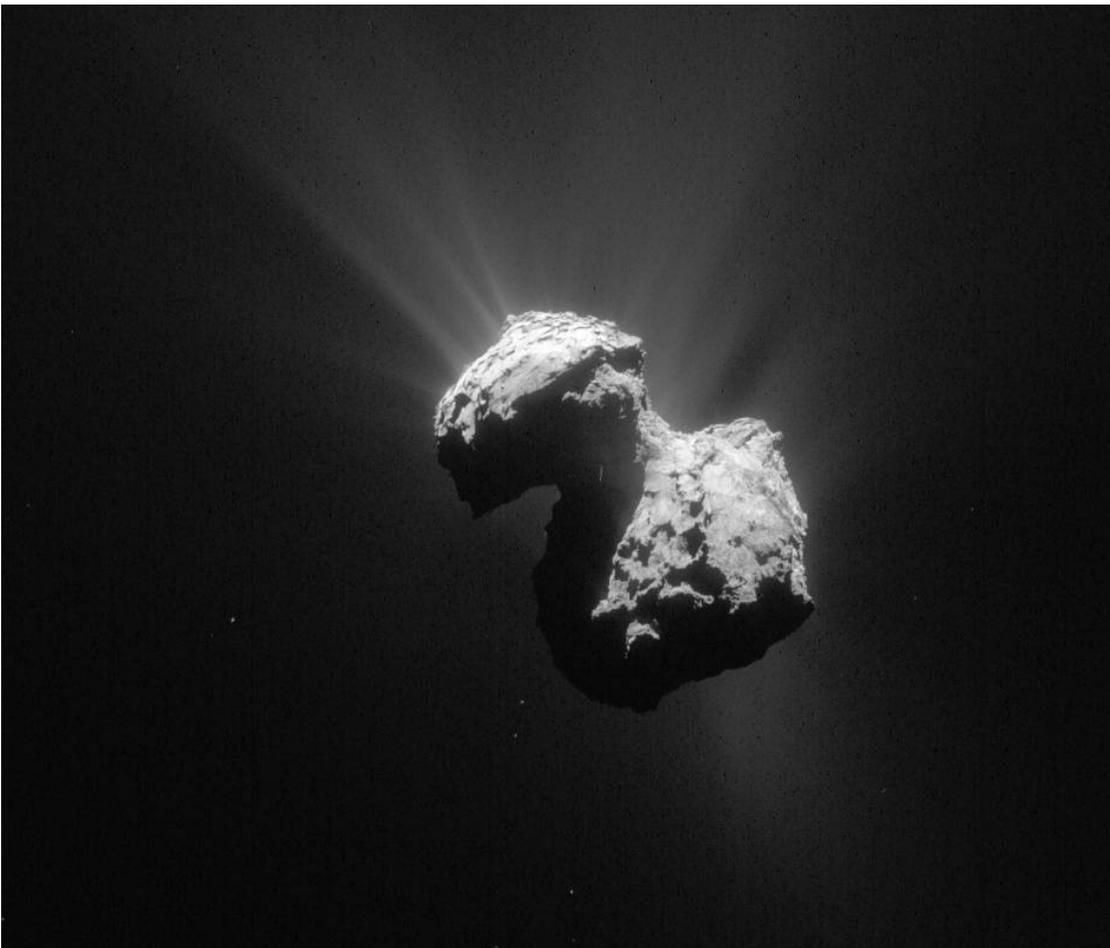


Figura 8. Anillos más allá de Neptuno. Una campaña internacional liderada por el IAA-CSIC, utilizando ocultaciones estelares, reveló que Haumea, uno de los cuatro planetas enanos más allá de Neptuno, tiene un anillo. Este primer hallazgo en un objeto transneptuniano sugiere que los anillos podrían ser más comunes de lo esperado.

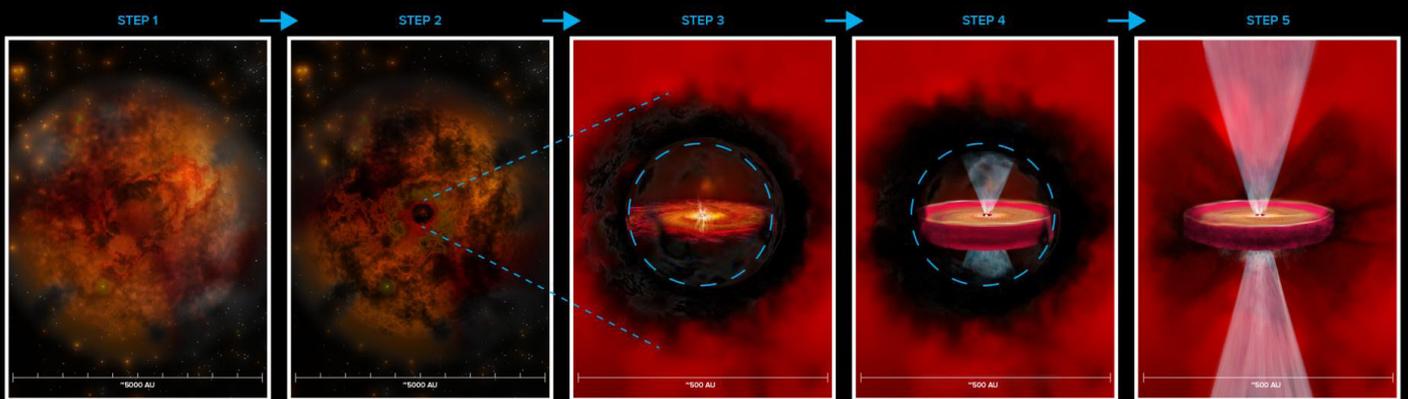
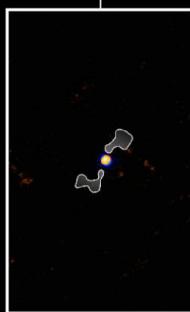


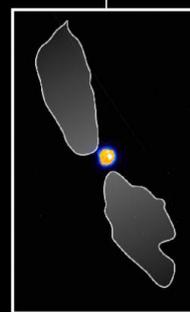
Figura 9. Embriones estelares. La búsqueda de discos de gas y polvo en torno a estrellas jóvenes resulta fundamental para explicar los nuevos mundos observados. En el IAA-CSIC hemos participado en el mayor muestreo de estrellas recién nacidas realizado hasta la fecha, con más de trescientos discos protoplanetarios descubiertos.



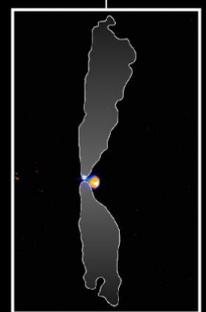
HOPS-402



HOPS-404



HOPS-403



HOPS-400

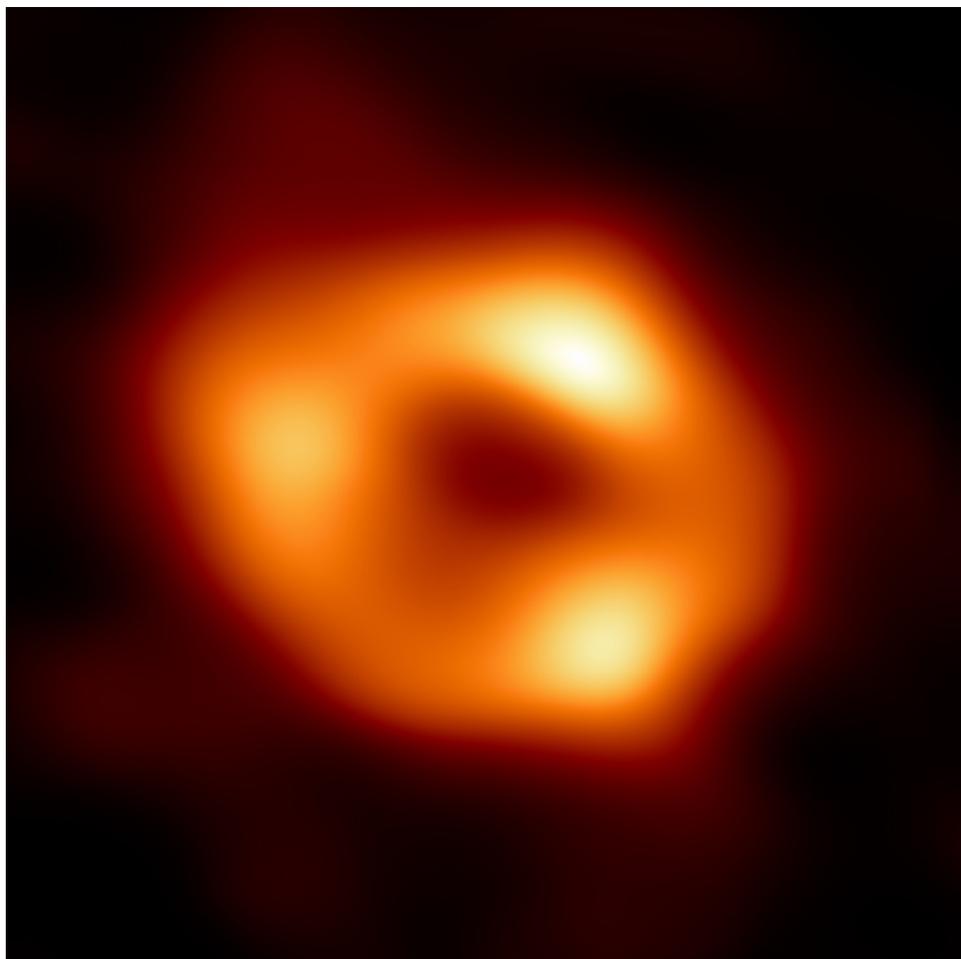


Figura 10. Horizontes lejanos. En 2019 y 2022, se captaron las primeras imágenes de agujeros negros supermasivos, en las galaxias M87 y la Vía Láctea. Dos logros históricos alcanzados gracias a la colaboración internacional del EHT , en el que el IAA-CSIC juega un relevante papel. Actualmente el IAA-CSIC trabaja en la instalación de una nueva antena de la red EHT en el Observatorio del Teide..

Figura 11. Cartografiado de la población estelar en el Centro Galáctico. Resultado del proyecto europeo GALACTICNUCLEUS.





Figura 12. Cartografía galáctica. El IAA-CSIC ha liderado grandes cartografiados de galaxias, como CALIFA, que reveló la historia de 600 galaxias y su evolución. Actualmente colidera J-PAS, un ambicioso cartografiado galáctico que en la próxima década observará miles de grados cuadrados del cielo con cientos de millones de galaxias y estrellas.

Un gran momento en la historia del IAA ha sido la participación muy relevante de investigadores del IAA en la obtención de la primera imagen de un agujero negro supermasivo en el corazón central de M87 (M87*), y posteriormente del agujero supermasivo de la Vía Láctea (SgrA*), que fueron portada de las revistas científicas especializadas y de todos los periódicos de información general del mundo. Los resultados confirman los principios de la Relatividad General (Fig. 10).

Por otro lado, el proyecto ERC Consolidator Grant GALACTICNUCLEUS ha estudiado la cinemática de las estrellas en el Centro Galáctico, con especial atención a la búsqueda de cúmulos jóvenes desconocidos hasta ahora en esta región (Fig. 11).

En cuanto a la evolución de galaxias se refiere, el IAA lidera o colidera varios programas científicos galácticos y extragalácticos como ALHAMBRA, CALIFA y actualmente J-PAS (Fig. 12), que observará más de 8500 grados cuadrados de cielo. Contribuye igualmente al estudio de los vientos producidos en el corazón de galaxias activas, y al de los objetos más antiguos del Universo.

Dando algunas figuras de la actividad científica, destacamos que a lo largo de su historia el IAA ha producido más de 7300 publicaciones incluidas en el Science Citation Index (SCI), En 2024 el IAA ha publicado

427 artículos en revistas con arbitraje. La producción ha aumentado significativamente desde 2019, gracias al ímpetu proporcionado por los proyectos de excelencia Severo Ochoa del IAA.

Otros aspectos a destacar de la investigación científica del IAA son el liderazgo y la internacionalización de estas publicaciones. Más de un tercio de las publicaciones del IAA están dirigidas por científicos y científicas del IAA. El IAA es líder en la internacionalización de sus investigaciones, como se refleja en el elevado número de publicaciones con autoría internacional respecto al número total de publicaciones del IAA, que es superior al 91% de los artículos publicados.

2.2. La actividad tecnológica en el IAA

Desde el punto de vista de las actividades con orientación tecnológica, el IAA lidera desarrollos tecnológicos para el espacio. Destacamos algunos de los últimos lanzamientos, y los instrumentos desarrollados en el IAA, como NOMAD@ExoMars-TGO en 2016 (Fig. 13), BELA@BepiColombo en 2018, PHI@SolarOrbiter en 2020, instrumento del que somos co-IP (Fig. 14), y los instrumentos JANUS y GALA para la misión JUICE, lanzada en abril de 2023, que visitará las lunas jovianas. Y sin olvidar la exitosa misión Rosetta, donde el IAA lideró la contribución española a los instrumentos GIADA y OSIRIS. Y en el futuro PLATO, EnVision, Comet Interceptor y Vigil (ver Fig. 5).



Figura 13. El enigma marciano. Durante años se especuló con la presencia de metano en la atmósfera marciana, incluso de origen biológico. Gracias a EXOMARS (ESA) y su instrumento NOMAD, con destacada participación del IAA-CSIC, se obtuvieron resultados sin precedentes sobre Marte, que descartaron definitivamente su presencia.

Nuestra implicación en la mayoría de las grandes misiones espaciales europeas garantiza nuestra participación en la explotación de los datos resultantes.

El IAA también participa en misiones de Observación de la Tierra de la ESA y la NASA, como MIPAS/Envisat y SABER/TIMED. Además, lideramos la participación española en la misión CAIRT, candidata para la undécima misión del programa Earth Explorer, que ha sido seleccionada para pasar a la siguiente fase de desarrollo (Fase A). Proporcionaría las mediciones necesarias para dar un paso adelante en la comprensión de los vínculos entre el cambio climático, la química atmosférica y la dinámica en el rango de altitud de unos 5 a 115 km.

Asimismo, el IAA desarrolla instrumentación de vanguardia para telescopios terrestres en los observatorios GTC (MEGARA) y CAHA (CARMENES y PANIC), y co-lidera el proyecto para el nuevo espectrógrafo de campo integral, TARSIS@CAHA. Lideramos el desarrollo del módulo MAAT para OSIRIS/GTC. Participamos en los consorcios de ANDES y MOSAIC, instrumentos para el ELT, y en el desarrollo del instrumento TIS para el EST. Contribuimos al modelado y desarrollo del archivo de software de CTA, con una fuerte involucración en Gammapy, que fue el paquete finalmente seleccionado para las Herramientas Científicas del CTAO. El IAA coordina desde 2011 la participación científica y tecnológica de España en el Square Kilometre Array Observatory (SKAO). Además, estamos en posición privilegiada para explotar el excepcional potencial del EHT, en el que el IAA ha reforzado su liderazgo mediante la instalación de la futura antena TEA (Tenerife EHT Antenna) en colaboración con el Harvard Smithsonian Center for Astrophysics y el IAC.



Figura 14. Magnetismo solar. En 2020, la misión Solar Orbiter, con una importante participación del IAA-CSIC, inició su camino al Sol, siendo la primera en explorar sus polos. Solar Orbiter ha logrado un mapa magnético sin precedentes, clave para entender fenómenos solares que impactan a la Tierra.

Por otro lado, el IAA está reforzando su contribución a proyectos con necesidades de utilización de herramientas astrofísicas para datos masivos, abriendo la puerta a eventuales aplicaciones de inteligencia artificial aplicada a la astrofísica y ciencias del espacio y su innegable proyección futura en proyectos internacionales de altísimo impacto, como el legado de telescopio Vera Rubin (antiguo LSST).

2.3. Los observatorios astronómicos que gestiona el IAA

Observatorio de Calar Alto (CAHA). Se encuentra ubicado en la sierra de Los Filabres (Almería), a 2167 metros de altitud. CAHA es operado conjuntamente por el CSIC y la Junta de Andalucía desde 2019, siendo el IAA el centro de referencia para el desarrollo de su estrategia científico-técnica. CAHA cuenta con tres telescopios con aperturas de 1.23m, 2.2m y 3.5m. Las condiciones atmosféricas, ideales para las observaciones astronómicas, y el tamaño de apertura de sus telescopios, convierten a CAHA en el observatorio astronómico más importante en Europa continental.

Los telescopios de CAHA están equipados con instrumentación astronómica de vanguardia que incluye cámaras directas en el visible e infrarrojo cercano y espectrógrafos de dispersión intermedia y alta. El observatorio tiene sus propias instalaciones técnicas: salas limpias, instalaciones electrónicas, mecánicas y de computación, y cámaras y sensores para monitorear la calidad del cielo nocturno. Ofrece, además, servicios de aluminización, con la cámara de aluminización más grande de Europa, que puede albergar espejos con diámetros de hasta 4 m. Actualmente se está en el proceso de construcción de TARSIS, el nuevo instrumento para

el telescopio de 3,5m, que mantendrá a CAHA en la élite de la astronomía internacional en el área de la espectroscopía bidimensional de gran campo.

Observatorio de Sierra Nevada (OSN). Ya hemos hablado del OSN en la primera sección de este artículo. El OSN es operado y provisto por el IAA. Los dos telescopios que alberga son especialmente adecuados para proyectos que requieren una respuesta rápida u observaciones de monitoreo durante largos períodos de tiempo. El observatorio realiza asimismo observaciones relacionadas con actividades educativas y divulgativas.

2.4. La difusión de la investigación en el IAA

La difusión de los resultados de la investigación realizada en el IAA sigue, en primer lugar, el cauce correspondiente a su carácter de centro de investigación, es decir, el de las publicaciones científicas, a las que ya se ha hecho referencia. En segundo lugar, hacemos difusión directa al público general a través de nuestra Unidad de Cultura Científica y de la Innovación (UCC+i), e indirecta a través de las páginas web de CAHA o del CSIC, y de los centros con quienes colaboramos (por ejemplo, a través de notas de prensa de difusión internacional como las de ESO, ESA, SKAO o HST). Algunos de estos resultados tienen un fuerte impacto social, como por ejemplo fue el caso en 2019 de la primera imagen de la sombra del agujero negro en M87.

La UCC+i lidera tres líneas de acción: comunicación, educación y difusión. El impacto de las actividades de comunicación y divulgación científica del IAA en la sociedad es sobresaliente y pareja a la de los grandes centros de investigación internacionales, con numerosas charlas públicas, visitas de grupos escolares, blogs, series documentales, emisiones de radio y la publicación de la revista "IAA – Información y Actualidad Astronómica".

2.5. Formación en el IAA

El personal científico y técnico del IAA está muy implicado en actividades educativas y académicas. Destaca nuestra estrecha colaboración con la Universidad de Granada en diversos programas de Máster y Doctorado, así como con otras universidades nacionales e internacionales, incluyendo alguna online. En todas estas actividades cabe destacar la disponibilidad de las instalaciones telescópicas de CAHA y OSN para

la formación de estudiantes y como laboratorios para que las escuelas de ingeniería desarrollen proyectos tecnológicos. En combinación con sus amplias actividades científicas y tecnológicas, el IAA es capaz de ofrecer proyectos de investigación atractivos en la vanguardia de la investigación astrofísica a estudiantes talentosos. El IAA tiene éxito en la atracción de jóvenes investigadores que no sólo proceden de diferentes instituciones de España y la UE, sino también de Estados Unidos, Sudamérica, Asia, entre otros.

Cabe destacar en este sentido, la ingente cantidad de actividades formativas de primerísimo nivel (SO Training Program) que se suman a las habituales del IAA, gracias a la consecución de las acreditaciones de excelencia Severo Ochoa, y que cubren capítulos formativos muy importantes que van desde la redacción y presentación de trabajos científicos, el uso de herramientas estadísticas para el análisis de los datos, las técnicas de Big Data y Machine Learning aplicadas a la astrofísica, o cursos temáticos específicos, orientados a la puesta al día, con especialistas internacionales del más alto nivel, de las temáticas científicas objeto de nuestro plan estratégico SO-IAA: Ciencias Planetarias, Evolución Galáctica o instrumentación de vanguardia.

3. EN RESUMEN

El IAA es el resultado del excelente trabajo de su personal a lo largo de sus 50 años de historia. Su investigación abarca desde el Sistema Solar hasta el Universo primitivo. El IAA ha contribuido a casi todas las misiones recientes más importantes de la ESA/NASA/JAXA relacionadas con el Sistema Solar y construye instrumentos de última generación para telescopios terrestres. El IAA es un centro internacional de referencia para la radioastronomía, con una participación significativa en el Telescopio del Horizonte de Sucesos (Event Horizon Telescope) y el compromiso de mantener un Centro Regional SKA. El IAA cuenta con una sólida trayectoria, con un gran número de trabajos de gran impacto en campos diversos de la Astrofísica. La nominación como Centro de Excelencia Severo Ochoa desde 2018 ha tenido un impacto transformador en el IAA en términos de atracción de talento internacional, rejuvenecimiento del centro, aumento de nuestra producción científica, puesta en marcha de un novedoso programa de formación, refuerzo del trabajo en infraestructuras estratégicas, visibilidad internacional y divulgación científica.

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.

RENOVACIÓN DE LA JUNTA DIRECTIVA DE LA SEA

El pasado 1 de enero se produjo la renovación de la mitad de la Junta Directiva de nuestra Sociedad. Minia Manteiga (UDC) es la nueva presidenta, con Pepe Vílchez (IAA-CSIC) de vicepresidente y Miriam Cortés como tesorera (UCM). Además, tenemos dos vocales nuevos: Sergio Simón (IAC) y Consuelo Cid (UAH), como responsable del Boletín de la SEA. Los miembros de la Junta anterior que siguen son Olga Muñoz (IAA-CSIC) en la secretaría, y Alberto Manrique (UB) y Luisa Valdivielso (CEFCA) como vocales. Queremos dar las gracias a los miembros salientes Benjamín Montesinos, Ramón Oliver y Josefa Becerra por los años que han dedicado al servicio de nuestra Sociedad.

MIGUEL QUEREJETA, GANADOR DEL PREMIO JOSÉ MARÍA SAVIRÓN

Miguel Querejeta, investigador del Observatorio Astronómico Nacional, ha sido galardonado con el premio José María Savirón a la divulgación, en la categoría "Premio a jóvenes divulgadores", en su XII edición, convocada en 2024. Muchos disfrutamos de su maravilloso trabajo sobre globos celestes, que presentó en la reunión de Granada. ¡Enhorabuena, Miguel!

RELEVO EN LA DELEGACIÓN DE ESPAÑA ANTE EL CONSEJO DE ESO

En marzo estrenamos nuevo delegado de España en el Consejo de ESO: David Barrado (CAB) sustituye a Rafael Bachiller (OAN) en este importante puesto. Agradecemos a Rafael su dedicación en esta labor y nuestros mejores deseos para David.

ANTXON ALBERDI, ACADÉMICO DE LA REAL ACADEMIA DE CIENCIAS

Antxon Alberdi Odriozola, director del Instituto de Astrofísica de Andalucía, ha sido nombrado Académico Correspondiente de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España, formando parte del área de Astronomía con muy alta resolución angular en la sección de Ciencias Físicas y Químicas. ¡Felicidades, Antxon!

CASIANA MUÑOZ RECIBE LA MEDALLA DE ANDALUCÍA

El pasado 28 de febrero, Casiana Muñoz Tuñón (IAC) recibió la Medalla de Andalucía a la Investigación, la Ciencia y la Salud. Se trata de un merecido reconocimiento a su trayectoria como investigadora y divulgadora. ¡Enhorabuena!

LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Alicia Pelegrina López

ISBN: 978-84-1352-507-5

Colección: ¿Qué sabemos de?

Editorial: CSIC/La Catarata

Como astrónomos conocemos bien el poder devastador de la contaminación lumínica. Los observatorios astronómicos hace décadas que abandonaron las ciudades para alejarse del tsunami lumínico en busca de cielos oscuros. Hawái, Canarias, Atacama son las actuales ventanas al universo.

Sin embargo, la luz artificial nocturna no solo es una molestia para los astrónomos, sino que es un agente contaminante ambiental que afecta sobre todo a la biosfera y atenta contra la salud humana. Numerosos artículos científicos han demostrado la fuerza disruptiva de la contaminación lumínica durante los últimos 10 años. Por ello, no solo desde la astronomía, sino también desde la biología, la ciencia ambiental, la medicina, la criminología, la ingeniería, se trabaja en un enfoque pluridisciplinar para caracterizar el problema, evaluarlo, buscar soluciones y, de manera prioritaria, concienciar a la población.

Alicia Pelegrina, doctora en ciencias ambientales y responsable de proyectos institucionales de la Oficina de Calidad del Cielo IAA-CSIC, en **La contaminación lumínica**, nos describe detalladamente una problemática ambiental, “la nueva de la clase”, que existe pero que todavía no percibimos como amenaza.

La vida surgió en nuestro planeta hace miles de millones años bajo el ritmo inalterado del día/noche. La evolución se adaptó a esta alternancia, con cambios de luz, temperatura y humedad. Todos los animales y plantas presentan cambios fisiológicos y de comportamiento que responden a este período de 24 h. Son los ritmos circadianos.

El principal sincronizador de nuestro reloj interno es esta alternancia entre luz y oscuridad. Por tanto, los niveles de luz insuficiente durante el día (una oficina poco iluminada) como la excesiva exposición a la luz artificial nocturna (uso del móvil, intrusión lumínica) alteran el funcionamiento de nuestro reloj principal. Se produce entonces una cronodisrupción, un proceso en el que el cuerpo se encuentra fuera del tiempo real, con mensajes equívocos sobre el momento verdadero en el que nos encontramos.

La luz artificial nocturna ocasiona también estragos sobre la vida silvestre. Aves en su migración, tortugas marinas en su desove, mamíferos durante su caza, entre miles de ejemplos, son gravemente alterados por una noche continuamente crepuscular. Pero los más afectados son los insectos nocturnos que quedan atrapados por las farolas donde mueren

¿QUÉ SABEMOS DE?

La contaminación lumínica

Alicia Pelegrina López



agotados, abrasados o depredados. Por ello, la luz no natural en la noche es uno de los principales factores de la pérdida de la biodiversidad.

En España la legislación para mitigar, que no eliminar, la contaminación lumínica es débil o permisiva salvo en Canarias, Andalucía y Catalunya que poseen legislación específica. Así que, a pesar de los avances técnicos en iluminación y de las acciones de denuncia de los colectivos medioambientales durante los últimos años, la contaminación lumínica no para de crecer. Se ha tratado de paliar un efecto de esta contaminación (el brillo del cielo) mejorando los puntos de luz, pero esa estrategia ya no es suficiente ya que urge ir a la raíz del problema, poner límites al agente contaminante (los fotones que salen de las lámparas) como ocurre en otros contaminantes (límites a las emisiones de los gases de los vehículos, por ejemplo). Este camino necesita un gran consenso de la población.

La contaminación lumínica es un problema ambiental con un enorme componente social. No necesitamos nueva tecnología ni avances científicos para afrontar el problema. Precisamos un cambio radical en nuestra concepción social del uso de la luz artificial durante la noche.

El cambio hacia un alumbrado sostenible pasa por comunicar, por acercar a la sociedad todo ese conocimiento adquirido en los últimos años para aumentar la sensibilización ambiental.

Enric Marco
 Departament d'Astronomia i Astrofísica
 Universitat de València

Extensión de las relaciones de escala de formación estelar hasta $10^8 M_{\odot}$ a $1 < z < 3$ con HST, GTC y ALMA

Autoría: Rosa María Mérida González

Tesis doctoral dirigida por: Pablo G. Pérez

González y Patricia Sánchez Blázquez

Centro: Universidad Autónoma de Madrid

Fecha de lectura: 21 de junio de 2024

Las galaxias de baja masa representan un componente fundamental, aunque esquivo, del Universo. Son objetos poco luminosos, lo que convierte su estudio en un verdadero desafío, especialmente a altos desplazamientos al rojo.

Mientras que las galaxias brillantes y más masivas muestran historias de formación estelar suaves y constantes, las galaxias poco masivas parecen seguir trayectorias explosivas y estocásticas. Aún no se sabe con certeza si sus propiedades, como la tasa de formación estelar o el contenido de gas, encajan en el amplio marco conceptual derivado del estudio de galaxias más masivas.

Este trabajo de tesis aprovecha datos ópticos profundos de la era preJWST y observaciones milimétricas de regiones observadas en el marco del *Great Observatories Origins Deep Survey* (GOODS; Dickinson et al. 2003, Giavalisco et al. 2004) para explorar dos relaciones de escala de formación estelar. Estudiamos la Secuencia Principal de galaxias con formación estelar ("Main Sequence", MS; Mérida et al. 2023), que relaciona la tasa de formación estelar con la masa estelar, y la Secuencia Principal de Masa Molecular ("Molecular Mass Main Sequence", Mmol-MS; Mérida et al. 2024), que conecta los depósitos de gas molecular con la masa estelar. La principal novedad de este trabajo radica en que logramos ampliar los límites de estas observaciones para explorar el régimen de baja masa ($\sim 10^8 M_{\odot}$) a desplazamientos al rojo entre $1 < z < 3$ ($2 < t_{\text{age}} < 6$ Gyr).

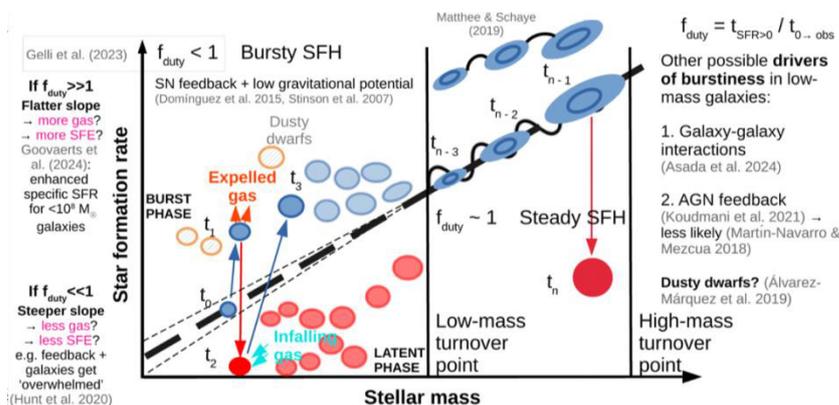
Mediante el apilado ("stacking") de imágenes HST/ACS y GTC/SHARDS (i.e., en el óptico) del campo GOODS-N, descubrimos 34 061 nuevas fuentes no incluidas en catálogos previos, basados en el infrarrojo cercano (NIR). Estas galaxias presentan colores azules, son jóvenes y albergan brotes de formación estelar. Nuestra muestra extiende los límites de masa del catálogo basado en el *Cosmic Assembly Nearinfrared Deep Extragalactic Legacy Survey* (CANDELS; Grogin et al. 2011, Koekoer et al. 2011) en $\sim 0,6$ dex, revelando una pendiente de la MS a baja masa consistente con estudios previos, aunque con indicios de una mayor inclinación a $z > 2$. Esta inclinación podría sugerir una menor eficiencia en la formación estelar y/o un menor contenido de gas en estas fuentes.

Estudiamos el contenido de gas en galaxias poco masivas mediante el "stacking" de emisión de fuentes débiles en el rango milimétrico, utilizando el catálogo de CANDELS en GOODS-S y las observaciones de ALMA en banda 6 de GOODS-ALMA 2.0 (Franco et al. 2018, Gómez-Guijarro et al. 2022). Según nuestro estudio, las extrapolaciones basadas en muestras completas en masa hasta $10^{10} M_{\odot}$ pueden estar sobreestimando el contenido de gas en objetos menos masivos ($10^{8-9} M_{\odot}$). Como resultado de nuestro análisis, conseguimos aportar los primeros límites superiores para los depósitos de gas a estas masas. Este análisis también incluye fuentes más masivas y débiles en el milimétrico, cuyos reservorios resultan ser compatibles con los valores derivados de muestras completas hasta $10^{10} M_{\odot}$. Sin embargo, estos valores son bajos comparados con el contenido de gas obtenido de fuentes catalogadas en ALMA (más rojas y polvorientas que la población media).

Este trabajo no solo subraya la necesidad de ampliar el censo de galaxias poco masivas, sino también la importancia de mejorar las herramientas típicas de análisis, basadas en el estudio de las distribuciones espectrales de energía, para lidiar con objetos poco luminosos.

Tesis disponible en:

<https://drive.google.com/file/d/1YmlTglWoew8dkDuo2b6rWJypgocPLskX/view?usp=sharing>



Esquema del posible escenario que describiría la evolución de las galaxias poco masivas en el marco de la Secuencia Principal. Colores azules indican fases de formación estelar. Colores rojos indican una fase de latencia o transición hacia la quiescencia. Los símbolos sombreados representan formación estelar polvorienta. Mostramos las galaxias de baja masa con tamaños compactos, incluyendo estructuras tipo disco. Se muestra una extrapolación de la Secuencia Principal, con una pendiente cercana a la unidad, representada por una línea gruesa discontinua. Las líneas más finas señalan las opciones de cambio en la pendiente. A la izquierda del gráfico incluimos referencias que apoyarían cada uno de estos cambios. 't' denota diferentes momentos en la evolución. Las líneas verticales resaltan los puntos de cambio de régimen. El "low-mass turnover point" fue derivado en este trabajo de tesis. Entre los dos límites, la formación estelar ocurre de manera suave, con diferentes fases de compactación y agotamiento (Tacchella et al. 2016). Esta no es la única interpretación de la Secuencia Principal y añadimos una referencia a Matthee & Schaye (2019), que estudia un escenario alternativo. Por debajo del "low-mass turnover point", la formación estelar se vuelve explosiva, "bursty". A medida que nos movemos hacia masas más bajas, "f_{duty}" (la fracción de tiempo empleada en formar estrellas) disminuye y aumenta el número de galaxias en fase latente. Esta historia de formación estelar puede deberse a la combinación del "feedback" de supernova junto con el bajo potencial gravitatorio de estos sistemas, así como a la incidencia de "mergers" o la presencia de "Active Galactic Nuclei" (AGN).

Proyecto Lockman-SpReSO. Propiedades ópticas de una muestra de galaxias seleccionadas en el infrarrojo

Autoría: Mauro González Otero

(mauromarago@gmail.com)

Tesis doctoral dirigida por: Jordi Cepa y

Carmen P. Padilla Torres

Centro: Instituto de Astrofísica Canarias y

Universidad de La Laguna

Fecha de lectura: 28 de junio de 2024

Históricamente, los mapas celestes han sido la principal fuente de datos astronómicos, utilizados para explorar y comprender el Universo en profundidad. Este trabajo está dedicado al estudio de uno de ellos: el proyecto Lockman-SpReSO. Este es un seguimiento espectroscópico óptico cartográfico de fuentes seleccionadas por su emisión infrarroja, a partir de observaciones previas con el *Telescopio Espacial Herschel*. Las observaciones del cartografiado se llevaron a cabo utilizando el instrumento OSIRIS instalado en el *Gran Telescopio Canarias*.

La muestra del cartografiado la componen 956 fuentes infrarrojas y 188 objetos adicionales de interés, todas ellas situadas en el campo extragaláctico de *Lockman Hole*. Hasta la fecha, el proyecto Lockman-SpReSO es el estudio más exhaustivo y estadísticamente significativo sobre contrapartidas ópticas de fuente infrarrojas, lo que lo convierte en un proyecto de alto interés científico.

El trabajo de investigación desarrollado en esta tesis se ha centrado en determinar las propiedades ópticas de las galaxias infrarrojas. Para ello se han obtenido medidas como la tasa de formación estelar (SFR, por sus siglas en inglés), la metalicidad del gas, la extinción del polvo interestelar, la masa estelar (M^*) y la luminosidad total infrarroja (L_{TIR}). Estas propiedades se han comparado con las obtenidas para muestras de galaxias no seleccionadas por su emisión infrarroja para comprobar posibles similitudes o diferencias entre ambos casos.

Durante esta tesis, se ha llevado a cabo la reducción completa desde cero de los datos de Lockman-SpReSO. Esto supuso un proceso complejo y delicado que requirió múltiples iteraciones y del diseño de procedimientos específicos, como el realizado para la sustracción de la emisión del cielo en los espectros. A su vez, se elaboró el catálogo al completo del cartografiado, incluyendo toda la información disponible sobre los objetos del proyecto en la bibliografía. La siguiente etapa del proceso consistió en el análisis de los espectros, con el objetivo de detectar y medir las líneas espectrales y determinar el desplazamiento al rojo espectroscópico de los objetos. Además, a partir del desplazamiento al rojo y de todos los datos fotométricos recopilados en el catálogo, se realizaron ajustes a las distribuciones de energía espectral, de los que se derivaron parámetros como la M^* , la L_{TIR} o el exceso de color E(B-V).

Posteriormente, se seleccionó una muestra de galaxias con formación estelar (SFGs, por sus siglas en inglés) a partir de los objetos del catálogo de Lockman-SpReSO. Se analizaron en detalle las líneas espectrales medidas para corregir la ex-

tingción producida por el polvo interestelar y se utilizaron para determinar la SFR y la metalicidad del gas en las SFG. En este punto, la investigación se centró en el análisis de las relaciones globales mostradas por las SFGs. Por un lado, se estudió la secuencia principal de las SFGs, donde se analizó conjuntamente la M^* y la SFR. Esto mostró que las SFGs del catálogo poblaban la región de galaxias con intensos estallidos de formación estelar. También se estudió la relación entre la M^* y la metalicidad de las galaxias. Este análisis demostró que la muestra de SFGs seleccionada por la emisión infrarroja tendía a presentar metalicidades más bajas de lo esperado a partir de su M^* y desplazamiento al rojo. Por último, se estudió la relación en el espacio tridimensional formado por la M^* , la SFR y la metalicidad del gas. Se comprobó que las SFG seleccionadas por el infrarrojo están bien representadas por las calibraciones existentes de esta relación tridimensional, apoyando así la idea de la universalidad de la relación.

Además, la tesis aborda el estudio de los flujos de material observados en una pequeña fracción de los objetos del catálogo. Este material puede ser expulsado de la galaxia por eventos como estallidos de formación estelar, muertes estelares por supernovas o núcleos galácticos activos dando lugar a la salida de material de la galaxia. Por otro lado, este material puede ser capturado por la galaxia debido a su potencial gravitatorio produciendo una caída de material. El análisis de las líneas de absorción en el rango ultravioleta, como las líneas de MgII y FeII, permite investigar las correlaciones entre la velocidad del viento y la anchura equivalente de las líneas con las propiedades de la galaxia anfitriona, incluyendo la M^* , la SFR y la tasa específica de formación estelar.

Tesis disponible en:

<https://www.educacion.gob.es/teseo/mostrarRef.do?ref=2532612>

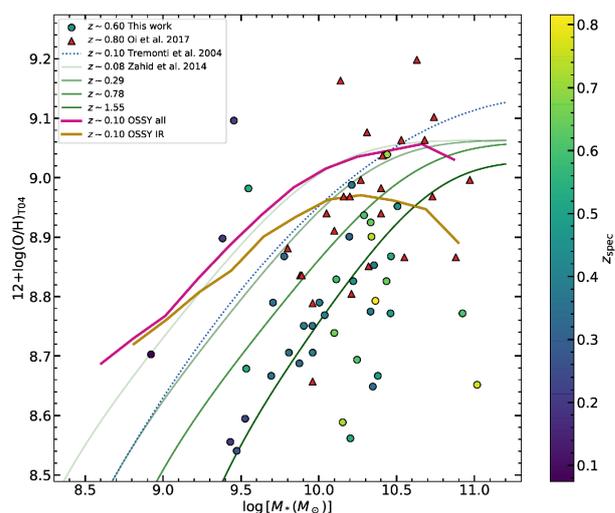


Diagrama de la relación M^* -metalicidad utilizando la calibración de Tremonti et al. (2004). Los círculos representan la muestra de Lockman-SpReSO con un desplazamiento al rojo medio ~ 0.6 y los triángulos rojos representan las galaxias infrarrojas de Oi et al. (2017) con desplazamiento al rojo medio ~ 0.8 . La línea magenta representa la mediana de metalicidad para cada agrupamiento de masa de todo el catálogo OSSY, mientras que la línea marrón representa el mismo agrupamiento, pero solo para los objetos OSSY con información infrarroja en HELP. Las líneas verdes representan el modelo MZR de Zahid et al. (2014) aplicado a galaxias de los cartografiados SDSS ($z \sim 0.08$), SHELS ($z \sim 0.29$), DEEP2 ($z \sim 0.78$) y COSMOS ($z \sim 1.55$). Tanto en el catálogo OSSY como en los objetos Lockman-SpReSO, se observa que los objetos infrarrojos tienden a ser menos metálicos que los objetos ópticos al mismo desplazamiento al rojo.

Propiedades observacionales de los vientos del disco de acreción en binarias de rayos X poco masivas

Autoría: Guayente Panizo Espinar

Tesis doctoral dirigida por: Teodoro Muñoz

Darias y Montserrat Armas Padilla

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

Fecha de lectura: 12 de julio de 2024

El depósito de materia sobre objetos compactos (acreción), como agujeros negros y estrellas de neutrones, es uno de los fenómenos más energéticos del Universo, que involucra grandes intercambios de masa y energía. Si bien se observa en multitud de sistemas astrofísicos, su estudio es especialmente relevante en las binarias de rayos X, dado que evolucionan en tiempos característicos relativamente cortos, accesibles para los seres humanos. En el caso concreto de las binarias de rayos X poco masivas, la acreción se produce por la incorporación al objeto compacto de gas proveniente de una estrella menos masiva que el Sol a través de un disco de acreción. Estos sistemas experimentan erupciones (*outbursts*) en las que el ritmo de acreción se incrementa considerablemente, produciendo eyecciones de masa (*outflows*) que pueden estudiarse en varias longitudes de onda. En esta tesis analizamos algunos de los fenómenos asociados a estas eyecciones de materia en tres binarias de rayos X poco masivas.

Los dos primeros trabajos consisten en búsquedas espectroscópicas de un tipo concreto de eyecciones, los vientos poco ionizados, en dos sistemas con inclinación baja o intermedia (siendo la inclinación el ángulo entre la perpendicular al plano

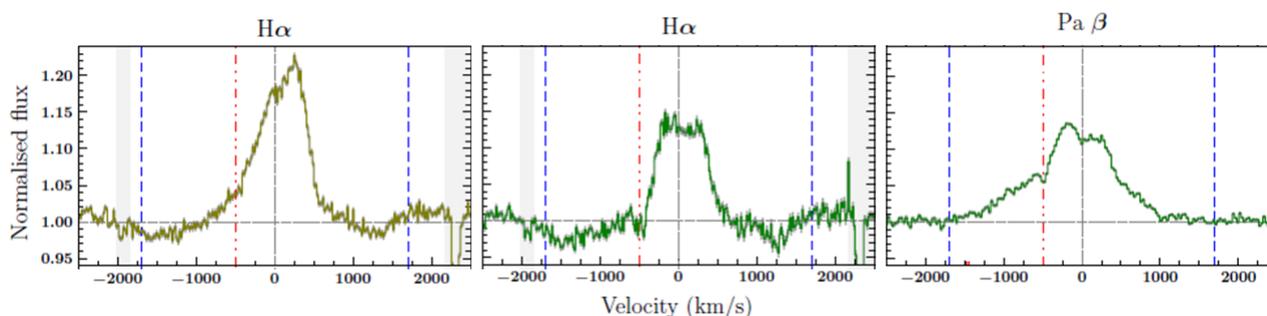
orbital y nuestra línea de visión). En primer lugar estudiamos el sistema Aquila X-1, cuyo objeto compacto es una estrella de neutrones. Para ello, analizamos espectros en el visible obtenidos con el *Gran Telescopio Canarias* durante la erupción de 2016, que fue particularmente brillante. Nuestro trabajo revela características espectrales durante las fases finales de la erupción que son consistentes con la presencia de un viento en el sistema. Se trata de uno de los primeros estudios de este tipo en una binaria de rayos X con estrella de neutrones.

En el segundo trabajo analizamos espectros en el visible y el infrarrojo cercano durante la erupción de un sistema con agujero negro recientemente descubierto, MAXI J1348-630. El estudio de estos espectros, obtenidos con el *Very Large Telescope*, revela características espectrales compatibles con la presencia de vientos (ver la figura). Nuestro trabajo sugiere que estas, apenas estudiadas anteriormente en sistemas de baja inclinación, se observan tanto en el visible como en el infrarrojo durante toda la erupción.

Por último, en el tercer trabajo presentamos un análisis fotométrico del sistema de alta inclinación Swift J1357.2-0933, cuyo objeto compacto es también un agujero negro. Concretamente, este estudio se centra en los *dips*, disminuciones de brillo cuasiperiódicas observadas en su curva de luz en el visible. Estos *dips* ya se habían encontrado anteriormente en otras erupciones del sistema, siendo menos frecuentes a medida que evolucionaba el evento.

Dado que se ha sugerido que este fenómeno podría estar relacionado con las eyecciones en forma de vientos, en este trabajo estudiamos la recurrencia de los *dips* de forma global, abarcando todas las erupciones conocidas de la fuente. Los resultados muestran una correlación con la luminosidad del sistema en el visible y en rayos X.

En resumen, esta tesis se centra en el estudio de vientos poco ionizados en binarias de rayos X, haciendo especial hincapié en la dependencia de sus propiedades con la inclinación del sistema. Los tres trabajos presentados fueron publicados en *Astronomy & Astrophysics* entre los años 2021 y 2024.



Arriba. Ejemplo de las distintas características espectrales encontradas, que asociamos con la presencia de vientos de baja ionización en las binarias de rayos X: alas anchas y asimetrías (panel izquierdo), perfiles con la parte superior plana (panel central) y absorciones desplazadas hacia el azul (panel derecho, marcada con una línea roja).

Derecha: Diagrama HR de todas las estrellas O y B galácticas analizadas dentro del proyecto IACOB, limitadas hasta una distancia de 4000 pc. Las estrellas con más de 100 km s^{-1} de velocidad de rotación proyectada se indican con círculos cian, mientras que el resto se muestran en naranja. Las incertidumbres típicas se indican con una barra de error en la esquina inferior izquierda. La TAMS propuesta se marca con una línea discontinua morada. Las trazas evolutivas se han obtenido de la herramienta web MIST para metalicidad solar y sin rotación inicial. La línea verde discontinua corresponde a un ajuste polinómico de segundo orden a los puntos de las trazas donde $v \text{crit} \sim 220 \text{ km s}^{-1}$. Los sistemas binarios espectroscópicos de doble línea están excluidos.

La naturaleza evolutiva de las supergigantes masivas de tipo B: una reevaluación empírica moderna utilizando datos de IACOB, Gaia y TESS

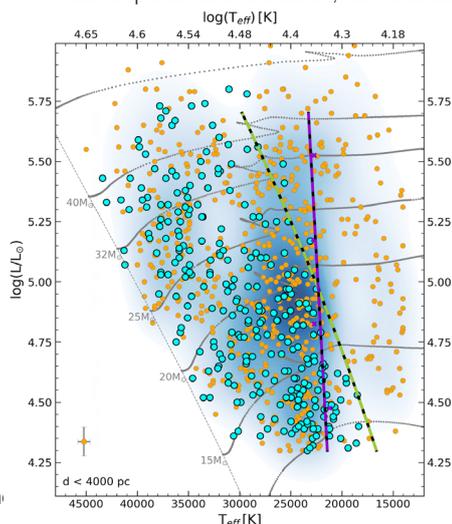
Autoría: Abel de Burgos Sierra (adeburgo@eso.org)

Tesis doctoral dirigida por: Sergio Simón-Díaz y Miguel A. Urbaneja Perez

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

Fecha de lectura: 4 de octubre de 2024

Esta tesis se enmarca en el estudio de las estrellas masivas, las cuales desempeñan un papel clave en la evolución química y dinámica de las galaxias y del propio Universo. Su intensa radiación ionizante, fuertes vientos estelares y energéticos finales, contribuyen a una importante retroalimentación con el espacio circundante. Pese a su importancia, comparaciones entre datos observacionales y modelos teóricos han revelado distintas discrepancias que desafían nuestra comprensión de las estrellas masivas. La fase evolutiva en la que transitan desde la secuencia principal hacia la fase de supergigante roja es una de las más esquivas y, sin embargo, importantes. Comprender las propiedades de las estrellas en esta fase transitoria es crucial para testar las predicciones teóricas de evolución estelar y para nuestro conocimiento general de las estrellas masivas. En los años ochenta, se asumía que las supergigantes de tipo B (BSGs) eran objetos transitorios posteriores a la secuencia principal. En los años noventa se constató la existencia de una sobrepoblación de BSGs en el diagrama *Hertzsprung-Russell* (HR) donde los modelos evolutivos predicen la terminación de la secuencia principal (TAMS). Se sigue sin saber si la posición de la TAMS debe ser redefinida o si la sobredensidad es el resultado de poblaciones superpuestas siguiendo caminos evolutivos diferentes. Una posibilidad es que las BSGs incluyan estrellas en la secuencia principal y estrellas regresando de una fase post-supergigante roja. Ahora también sabemos que una gran fracción de estrellas masivas nacen en sistemas binarios, creando canales evolutivos adicionales. Además, algunas propiedades fundamentales de las BSGs no están tan bien definidas como en el caso de las estrellas O. Entre ellas se encuentran las propiedades rotacionales o las tasas de pérdida de masa, ambas con un impacto significativo en su evolución. Para superar esta situación, es necesario emplear muestras



estadísticamente significativas de BSGs, objetivo principal de esta tesis. Combinando datos espectroscópicos ópticos de alta resolución procedentes del proyecto IACOB (I.P. Simón-Díaz) y del archivo de ESO, en esta tesis se estudiaron casi un millar de estrellas O y B, siendo la mayoría BSGs (mostradas en la figura por debajo de 35000K). Además, la llegada de *Gaia* DR3 y TESS permitió incluir propiedades adicionales, convirtiendo esta tesis en el mayor estudio empírico holístico de las propiedades físicas, químicas y pulsacionales de estos objetos realizado hasta la fecha.

Para lograrlo, una parte significativa pero crucial de este trabajo se dedicó a obtener un alto nivel de completitud entre las BSGs. Esto se hizo mediante la revisión individual de los espectros y la exitosa planificación y ejecución de varias campañas observacionales, alcanzando ~6000 espectros de ~700 de estos objetos, que corresponde al ~70% de las BSGs localizadas hasta 2500 pc de nosotros. El análisis de ensanchamiento de líneas, utilizado para derivar la velocidad rotacional proyectada y el ensanchamiento por macroturbulencia, se hizo utilizando la herramienta *iacob-broad*. La temperatura efectiva, gravedad superficial, microturbulencia, el parámetro de fuerza del viento y las abundancias superficiales de helio, silicio, carbono, nitrógeno y oxígeno, se obtuvieron utilizando un emulador estadístico para espectros sintéticos FASTWIND combinado con un método Monte Carlo, permitiendo un análisis homogéneo. Además, se identificaron las binarias espectroscópicas en la muestra empleando los datos multiépoca.

Estos y otros resultados reunidos en una muestra única de volumen limitado permitieron proporcionar una reevaluación empírica de las principales propiedades de las BSGs y abordar diferentes cuestiones con importantes implicaciones en la evolución de las estrellas masivas:

- Se observó que la distribución de las velocidades de rotación proyectadas de estrellas O y BSGs favorece una baja rotación inicial y un pasado binario para la conocida cola de objetos de rotación rápida.
- Se encontró una correlación positiva entre microturbulencia y macroturbulencia, cuyos orígenes físicos exactos aún se desconocen.
- Nuevas estimaciones de tasa de pérdida de masa revelaron la ausencia del aumento teóricamente previsto y ampliamente aceptado de dicha tasa en la región de biestabilidad del viento.
- Se propuso una nueva localización de la TAMS basada en la caída del número relativo de objetos (línea morada en la figura), coincidiendo con el descenso del número de binarias espectroscópicas.
- La falta de objetos de rotación rápida por debajo de una temperatura efectiva se explica mejor a partir del hecho de que las estrellas llegan al final de la secuencia principal o, alternativamente, alcanzan su velocidad crítica.
- Reuniendo las propiedades físicas, químicas y pulsatorias de la muestra, se investigaron nuevas pistas sobre la naturaleza de las BSGs. En este sentido:
 - Se descubrió un subgrupo de BSGs con atmósferas enriquecidas en helio situadas más allá de la TAMS y con mayores masas espectroscópicas que aquellas con helio normal, siendo fuertes candidatas a productos de interacción binaria.
 - No se encontraron evidencias preliminares de la presencia de post-supergigantes rojas dentro de la secuencia principal.

Como conclusión, los resultados de esta tesis han revelado o constatado importantes propiedades de las BSGs, proporcionado además nuevos puntos de anclaje para futuros modelos evolutivos de estrellas masivas y sentando las bases para los próximos grandes sondeos espectroscópicos como WEAVE-SCIP y 4MOST-4MIDABLE.

Tesis disponible en: <https://arxiv.org/abs/2412.09454>

Modelado de turbulencia y análisis de datos de ondas gravitatorias para fusiones de binarias de estrellas de neutrones

Autoría: Miquel Miravet Tenés
(miquel.miravet@uv.es)

Tesis doctoral dirigida por: José Antonio Font Roda y Pablo Cerdá Durán

Centro: Universitat de València

Fecha de lectura: 10 de octubre de 2024

La plétora de observaciones de ondas gravitatorias procedentes de varios sistemas astrofísicos está cambiando nuestra comprensión de nuestro Universo a un ritmo sin precedentes. En concreto, las observaciones multimensajero de fusiones de binarias de estrellas de neutrones han proporcionado información importante sobre la materia a densidades extremas, la generación de brotes de rayos gamma cortos, la producción de elementos pesados y el ritmo de expansión del Universo.

La comprensión de la compleja física presente en este escenario astrofísico se ha ampliado gracias al uso de simulaciones numéricas. Para describir correctamente estos sistemas, las simulaciones necesitan recursos computacionales prohibitivos para capturar toda la física del problema: una ecuación de estado realista para la materia densa, un esquema preciso de transporte de neutrinos o el tratamiento de la turbulencia a pequeña escala, etc. Simulaciones realistas de fusiones binarias de estrellas de neutrones pueden proporcionar señales de ondas gravitatorias que pueden compararse directamente con detecciones reales. El estudio de la señal de ondas gravitatorias tras la fusión puede restringir la ecuación de estado y aportar información sobre la dinámica y la estabilidad del remanente de la fusión.

Esta tesis presenta un estudio exhaustivo de la turbulencia desencadenada por las principales inestabilidades magnetohidrodinámicas que se desarrollan durante y después de la fusión de dos estrellas de neutrones: la inestabilidad *Kelvin-Helmholtz* y la inestabilidad magneto-rotacional. Además, en esta tesis se muestran diversas aplicaciones de reconstrucciones no modeladas de señales gravitatorias de binarias de estrellas de neutrones y un nuevo enfoque para clasificar rápidamente sistemas binarios de objetos compactos que emiten ondas gravitatorias.

La primera parte de la tesis se centra en el desarrollo de un nuevo modelo de turbulencia en el contexto de fusiones binarias de estrellas de neutrones. Este nuevo modelo, que consiste en resolver ecuaciones de evolución para densidades de energía turbulentas, pretende reproducir los efectos de la física a pequeña escala con una resolución moderada en simulaciones numéricas. La versión del modelo para la inestabilidad magneto-rotacional se ha implementado en simulaciones en gravedad newtoniana de estrellas de neutrones con un campo magnético poloidal y rotación diferencial, y se ha visto que el modelo es capaz de reproducir el transporte de momento angular hacia el exterior de la estrella. Además, esta parte de

la tesis presenta un nuevo estudio analítico del mecanismo de saturación de la inestabilidad magneto-rotacional. El crecimiento de esta inestabilidad se detiene debido a la aparición de inestabilidades parasíticas, las cuales crecen muy rápidamente hasta alcanzar una amplitud similar a la de la inestabilidad magneto-rotacional. Este estudio ha permitido obtener una simple expresión para la amplitud de saturación del campo magnético en función de las amplitudes iniciales de estas dos inestabilidades.

La segunda parte de la tesis está dedicada al análisis de las señales de ondas gravitatorias generadas durante la fase posterior a la fusión de dos estrellas de neutrones. Debido a la naturaleza estocástica de la señal durante esa fase, se han aplicado reconstrucciones no modeladas para estudiar la inferencia de modos inerciales y la detectabilidad de diferencias en el tratamiento de los efectos térmicos con la ecuación de estado. Se ha observado que es posible detectar los modos inerciales, de pequeña amplitud, con observatorios de ondas gravitatorias de tercera generación, como *Cosmic Explorer* o *Einstein Telescope*. Estos modos pueden dar información sobre la ecuación de estado de las estrellas de neutrones y sobre la dinámica del remanente de la fusión, ya que están relacionados con inestabilidades convectivas que se desarrollan en el interior de la estrella. También se ha visto que un tratamiento aproximado de los efectos térmicos en la ecuación de estado puede llevar a diferencias detectables en el espectro de ondas gravitatorias. Por tanto, es importante utilizar una representación tabulada de la ecuación de estado para introducir efectos térmicos de manera consistente. Además, esta segunda parte presenta un nuevo método para clasificar rápidamente sistemas binarios de objetos compactos que son fuente de ondas gravitatorias. Mediante el uso de algoritmos de *machine learning*, se ha desarrollado un método bayesiano para traducir los productos de estos algoritmos de clasificación a probabilidades más realistas que nos dan información sobre la naturaleza del sistema binario, el cual puede estar formado por dos agujeros negros, un agujero negro y una estrella de neutrones, o dos estrellas de neutrones. En los dos últimos casos, puede existir una emisión de radiación electromagnética, por lo que es importante obtener información rápida y fiable sobre la naturaleza del sistema para así llevar a cabo observaciones electromagnéticas de seguimiento.

Los hallazgos de esta tesis han mejorado nuestra comprensión de las inestabilidades que juegan un papel importante en las fusiones de sistemas binarios de estrellas de neutrones mediante el desarrollo de turbulencia magnetohidrodinámica, la cual puede tener un gran impacto en la estabilidad del remanente de la fusión. Además, el trabajo relacionado con el análisis de datos de ondas gravitatorias puede tener implicaciones para futuras aplicaciones de la astronomía de ondas gravitatorias en el estudio de la ecuación de estado de la materia en condiciones extremas y en las observaciones multimensajero de sistemas binarios compactos.

Tesis disponible en: <https://hdl.handle.net/10550/101268> (en embargo hasta mediados de octubre de 2025).

Análisis combinado del efecto de lente gravitacional débil y el agrupamiento de galaxias con cartografiados fotométricos de galaxias

Autoría: David Sánchez Cid

Tesis doctoral dirigida por: Ignacio Sevilla Noarbe, Francisco Javier Sánchez Lopez y Eusebio Sánchez Álvaro

Centro: Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat)

Fecha de lectura: 21 de octubre de 2024

La cosmología observacional ha experimentado avances significativos en las últimas décadas, impulsados por cartografiados fotométricos de la Fase-III como *Dark Energy Survey* (DES), *Hyper Suprime-Cam* (HSC) y *Kilo-Degree Survey* (KiDS). Estos sondeos han permitido mediciones precisas de los parámetros cosmológicos y han puesto de relieve la importancia de abordar la incertidumbre sistemática en la teoría, especialmente a pequeña escala. La reducción de los errores observacionales ha llevado a una leve discrepancia en la amplitud del agrupamiento de materia, σ_8 , derivada de estudios del Universo temprano y tardío, lo que podría indicar una posible tensión en el modelo cosmológico estándar o, potencialmente, nueva física.

Esta tesis contribuye al desarrollo de la cosmología observacional optimizando y validando el marco teórico para el análisis del efecto de lente gravitacional débil y el agrupamiento de galaxias en el contexto del DES Año 6 ($3 \times 2pt$), así como presentando un proyecto precursor para el *Vera C. Rubin Observatory Legacy Survey of Space and Time - Dark Energy Survey Collaboration* (LSST-DESC). La combinación de estas técnicas permite establecer restricciones rigurosas sobre los parámetros cosmológicos clave: la abundancia de materia Ω_m , la amplitud de fluctuaciones σ_8 y su combinación $S_8 = \sigma_8 (\Omega_m/0.3)^{1/2}$.

Hemos desarrollado y aplicado modelos avanzados para el análisis de cizalladura cósmica en el DES Año 6, así como para el análisis conjunto del agrupamiento de galaxias y el efecto de lente galaxia-galaxia ($2 \times 2pt$). Exploramos escalas más pequeñas modelando el espectro de potencia de la materia con HMCode 2020, incluyendo una contribución fija de bariones ($\log T_{AGN} = 7.7$), mitigando la contaminación residual mediante cortes de escala optimizados. Además, el modelado del agrupamiento de galaxias se extendió hasta escalas no lineales de 4 Mpc/h utilizando teoría de perturbaciones euleriana para describir el sesgo de la distribución de galaxias respecto a la materia oscura.

Se optimizó la parametrización de la alineación intrínseca de galaxias mediante una combinación del modelo de Alineación No Lineal para la cizalladura cósmica y una versión reducida del modelo de Alineación de Mareas y Torsión de Mareas para los análisis $2 \times 2pt$ y $3 \times 2pt$. También exploramos escalas angulares mayores, extendiendo el análisis de las funciones de correlación angular de cizalladura cósmica hasta 1000 arcmin, sin hallar mejoras significativas en el poder de restricción de

parámetros. Esto subraya la importancia de explotar escalas menores con modelado teórico mejorado.

Nuestros resultados indican que el análisis de $3 \times 2pt$ de DES Año 6 mejora en un factor de 2 la precisión de los parámetros cosmológicos con respecto al análisis de DES Año 3.

Además, como preparación para LSST-DESC, realizamos un proyecto precursor reanalizando datos de HSC Año 1 con herramientas de medición e inferencia desarrolladas por LSST-DESC. Esto permitió simular el análisis futuro de LSST-DESC Año 1 ($3 \times 2pt$) y comprender los desafíos que enfrentará la próxima generación de sondeos de galaxias. Contribuimos al desarrollo y validación de TXPipe y *Firecrown*, herramientas clave para la medición e inferencia de LSST-DESC, respectivamente.

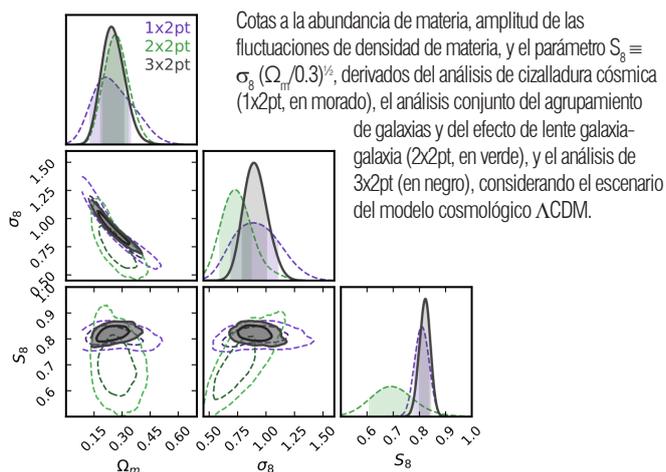
Medimos espectros de potencia angular de la señal $3 \times 2pt$ en condiciones de cielo parcial con TXPipe, implementamos la corrección pseudo-Cl, realizamos pruebas de robustez y aplicamos por primera vez la deproyección al campo de densidad de galaxias y cizalladura cósmica. En *Firecrown*, implementamos el cálculo de inferencia estadística para parámetros cosmológicos, abordando sistemáticas clave como la alineación intrínseca, la calibración de distribuciones fotométricas de corrimiento al rojo y la calibración de la cizalladura en la forma de las galaxias.

Nuestros principales resultados para HSC Año 1 ($3 \times 2pt$) en el espacio armónico son: $\Omega_m = 0.236^{+0.065}_{-0.055}$, $\sigma_8 = 0.922^{+0.111}_{-0.098}$ y $S_8 = 0.815^{+0.021}_{-0.025}$. También reproducimos los resultados oficiales de cizalladura cósmica de HSC Año 1 con la herramienta de inferencia de LSST-DESC, validando su implementación. Extendimos el análisis para considerar modelos más allá de Λ CDM, incluyendo neutrinos masivos, magnificación por galaxias lente y el modelo wCDM, realizando pruebas de robustez de los resultados obtenidos.

En general, esta tesis contribuye al desarrollo teórico y técnico de análisis conjuntos de lentes débiles y agrupación de galaxias, estableciendo las bases para futuros estudios cosmológicos con sondeos de galaxias de Fase IV. Abordar estos retos permitirá extraer el máximo contenido de información de estos sondeos, impulsando nuestra comprensión del Universo tardío y potencialmente revelando nueva física más allá del modelo estándar de la cosmología.

Tesis disponible en:

https://drive.google.com/file/d/1q2FOjtiZXNt2GS0ZwoYJBHITIEIBEy1i/view?usp=share_link



Gas y galaxias: trazadores de los cartografiados cosmológicos de cuarta generación

Autoría: Bernhard Vos Gines

Tesis doctoral dirigida por: Violeta González Pérez y Santiago Ávila

Centro: Universidad Autónoma de Madrid

Fecha de lectura: 4 de noviembre de 2024

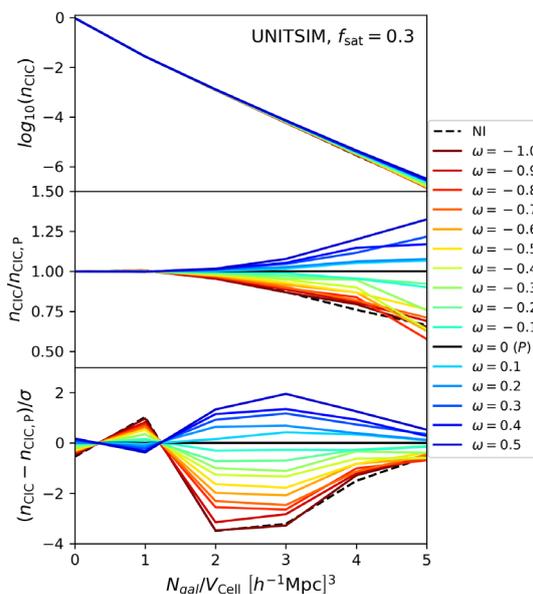
El objetivo de esta tesis es ayudar a analizar e interpretar los resultados de los cartografiados espectroscópicos de galaxias y de hidrógeno neutro, ambos trazadores de la materia oscura. Para maximizar la extracción de información cosmológica de estos observables, necesitamos tener en cuenta los errores sistemáticos de cada cartografiado para no sesgar nuestras conclusiones cosmológicas.

La estructura a gran escala exhibida por los cartografiados espectroscópicos de galaxias contiene información cosmológica. Los cartografiados espectroscópicos de galaxias considerados en este trabajo son el *extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey* (eBOSS) y el *Dark Energy Spectroscopic Instrument* (DESI). eBOSS ha ayudado a constreñir la historia de expansión del Universo a lo largo del 80% de su historia cósmica. DESI es un cartografiado en curso que está ayudando a constreñir los modelos de Energía Oscura, es decir, a comprender mejor la naturaleza de la Energía Oscura.

Los cartografiados de hidrógeno neutro detectan la señal de 21 cm del hidrógeno neutro (HI) en el Universo. En particular, la técnica de *Intensity Mapping* integra la señal de varias fuentes de HI en un píxel tridimensional llamado voxel. El *Square Kilometer Array Observatory* (SKAO) llevará a cabo en el futuro un cartografiado que mapeará el hidrógeno neutro (HI) hasta $z = 6$, sondeando por primera vez vastos volúmenes del Universo en la época del Amanecer Cósmico.

En el Capítulo 2 determinamos si la señal de las Oscilaciones Acústicas de Bariones (BAO) puede recuperarse considerando la técnica de *Intensity Mapping* en hidrógeno neutro para el cartografiado SKA a $z = 1.3$. Para simular un cartografiado realista de HI nos centramos en modelar los siguientes efectos sistemáticos observacionales: el haz del telescopio y el *foreground removal*, que afectan de manera diferente a la señal cosmológica. Construimos funciones de correlación bidimensionales de la distribución de hidrógeno neutro considerando diferentes intensidades para el haz del telescopio y para el *foreground removal*. Para un caso particular del SKA1-mid a $z = 1.3$, encontramos que la señal de BAO puede recuperarse considerando una función radial y una función de correlación de dos puntos en cuña (*mu-wedge* 2PCF), ya que son capaces de eliminar los modos cosmológicos contaminados y conservar la señal de BAO.

En el Capítulo 3 nos centramos en expandir el espacio de parámetros de los modelos empíricos que simulan la conexión galaxia-halo, para mitigar posibles sesgos futuros en la determinación de información cosmológica. Desarrollamos el marco matemático para permitir un rango continuo de varianzas para la función de distribución de probabilidad (PDF) aplicada para modelar las galaxias satélite. En particular, introducimos las distribuciones binomial y binomial extendida como nuevas PDFs en los modelos de *Halo Occupation Distribution* (HOD). Esta PDF aplicada a las satélites es uno de los ingredientes de los modelos HOD que asignan galaxias a halos de materia oscura. Los modelos



Count-in-Cells nCIC (N_{gal}) a partir de simulaciones UNIT considerando una fracción de satélites de $f_{sat}=0.3$. Se analizan distintas distribuciones: la binomial negativa ($\omega > 0$), la de Poisson ($\omega=0$), Bsub-P ($-1 \leq \omega < 0$) y la Nearest Integer. Arriba: estimador Count-in-Cells nCIC (N_{gal}). Medio: la razón entre todos los valores de nCIC y el correspondiente a Poisson nCIC,P ($\omega=0$). Abajo: diferencia entre nCIC y nCIC,P de Poisson, normalizada por el error de *Jackknife* σ .

HOD son rápidos y pueden aplicarse a las simulaciones cosmológicas más grandes, que son necesarias para analizar cartografiados actuales y futuros. Construimos varios catálogos de galaxias variando la fracción de satélites f_{sat} y la varianza de la PDF, controlada por el parámetro ω . Ajustamos estos parámetros libres en nuestro modelo HOD a las Galaxias con Líneas de Emisión (ELG) del cartografiado eBOSS usando varias escalas del monopolo y cuadrupolo de la función de correlación de dos puntos y la función de correlación proyectada. Encontramos que la fracción de satélites y su PDF están degeneradas. Esto indica que *constraints* previos utilizando estadísticas de dos puntos sobre f_{sat} pueden verse afectadas cuando la varianza de la PDF de satélites se fija a un valor Poissoniano. Obtuvimos un mejor ajuste a los datos de eBOSS al variar un tercer parámetro que controla el perfil radial de las satélites. También exploramos la inclusión de *Counts in Cells* (CIC) para constreñir dos de los parámetros libres en nuestro modelo HOD. En una prueba realizada con solo datos del modelo, CIC tiene el mayor poder de restricción sobre la varianza de la PDF.

En el Capítulo 4 validamos un método para extraer información sobre no Gaussianidades primordiales (PNG) no locales, usando catálogos HOD de Galaxias Luminosas Rojas (LRG). Tenemos que diferentes modelos sobre inflación predicen la existencia de una señal no gaussiana en la distribución de materia en el Universo temprano. En particular, las parametrizaciones no locales de PNG producen una fuerte señal en determinadas configuraciones del bispectro. Usamos un modelo teórico para ajustar el espectro de potencias y el bispectro de catálogos de galaxias, para medir las amplitudes PNG equilateral y ortogonal. Este trabajo nos permite explorar posibles sesgos o problemas presentes en el modelo teórico, que solo ha sido testado con halos de materia oscura hasta ahora. A pesar de que los estadísticos de *clustering* están afectados por la elección del modelo HOD, todos los valores obtenidos para las amplitudes equilateral y ortogonal-LSS de las PNG no locales están de acuerdo dentro de $1,3\sigma$ con los valores fiduciales de los catálogos de LRGs.

Análisis químico y búsqueda de estrellas ricas en fósforo

Autoría: Maren Brauner

(maren.brauner@gmail.com)

Tesis doctoral dirigida por: Domingo Aníbal García Hernández y Thomas Masseron

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

Fecha de lectura: 25 de marzo de 2025

En esta tesis doctoral se investiga el origen galáctico del fósforo (P), un elemento esencial para la vida tal y como la conocemos, pero cuya producción estelar en la Vía Láctea sigue siendo poco comprendida. El trabajo parte del descubrimiento reciente de un grupo de 16 estrellas gigantes, pobres en metales, que presentan abundancias de P entre diez y cien veces superiores al valor solar. Este hallazgo resulta particularmente desafiante para los modelos actuales de nucleosíntesis estelar y la evolución química de la Galaxia, ya que se trata de estrellas de baja masa que no son capaces, por sí mismas, de sintetizar P en tales cantidades. Así, el objetivo central de la tesis es descubrir pistas sobre el progenitor o contaminador de estas estrellas. A largo plazo, identificar el origen de estas anomalías en P podría proporcionar conocimientos valiosos sobre la fuente de P en nuestra Galaxia.

Como primer paso, se amplió la muestra de estrellas ricas en P mediante el análisis de espectros de alta resolución en el infrarrojo cercano (banda H) del sondeo APOGEE-2 DR17. Utilizando el código de síntesis espectral en equilibrio termodinámico local (1D LTE) BACCHUS, se determinaron las abundancias químicas de trece elementos en una muestra seleccionada de estrellas gigantes enriquecidas en silicio (Si), basándonos en la hipótesis de que podría existir una correlación entre las abundancias de P y Si. Esta estrategia resultó exitosa y se identificaron 78 estrellas con sobreabundancias confirmadas de P, lo que convierte esta muestra en la más amplia hasta la fecha. La nueva muestra incluye, además, la primera detección de una estrella rica en P dentro de un cúmulo globular galáctico. Las abundancias de elementos como oxígeno, aluminio, silicio y cerio presentan incrementos significativos (respecto a los valores solares), mientras que otros elementos, como el magnesio o la combinación C+N, no muestran patrones comunes en toda la muestra, probablemente debido a las incertidumbres de las abundancias derivadas.

Uno de los hallazgos más llamativos es la fuerte sobreabundancia de Si, un elemento α , sin que se observe un aumento similar en otros elementos del mismo grupo, como el calcio o el azufre. Esta anomalía no es consistente con los modelos estándar de nucleosíntesis en estrellas masivas, lo que sugiere que las estrellas ricas en P podrían haber sido contaminadas por fuentes aún no bien caracterizadas (o incluso aún no descubiertas). Además, el análisis de los movimientos orbitales indica que estas estrellas no pertenecen a ninguna subpoblación local diferenciada en la Galaxia, lo cual reduce enormemente la probabilidad de un origen extragaláctico.

La segunda parte del trabajo se centró en el análisis químico detallado de las cuatro estrellas ricas en P más brillantes con espectros ópticos disponibles. Gracias a datos del *Espectrógrafo Echelle Ultravioleta y Visual* (UVES, instrumento del VLT)

y utilizando, de nuevo, el código BACCHUS en 1D LTE, se determinaron abundancias de 48 elementos, incluidos aquellos formados por captura de neutrones, como estroncio, bario y plomo. Estos elementos son clave para entender los procesos de captura de neutrones lentos (s) y rápidos (r). Se observaron importantes sobreabundancias en los elementos del pico s, especialmente en bario, e incrementos más moderados en algunos elementos entre rubidio y estaño. Sin embargo, al comparar los patrones químicos obtenidos con varios modelos teóricos de nucleosíntesis, se concluyó que ningún escenario —ni un único proceso i o s, ni una combinación s e i— logra reproducir completamente las abundancias observadas. Aunque el modelo combinado s e i es el que ofrece el menor número de discrepancias en tres de las cuatro estrellas, la falta de simulaciones hidrodinámicas multidimensionales para el proceso i impide confirmar esta hipótesis con certeza.

Debido a las limitaciones en el entendimiento teórico, la última parte de la tesis se centró en la identificación de nuevas estrellas ricas en P mediante técnicas de aprendizaje automático no supervisado aplicadas al conjunto de datos espectrales de APOGEE-2 DR17. Se utilizaron tres enfoques de agrupamiento: el algoritmo *t-Distributed Stochastic Neighbor Embedding* (t-SNE), un autocodificador de desenredo (dAE) —aplicado por primera vez a espectros estelares reales— y el *clustering jerárquico aglomerativo* (HAC). Cada uno de estos métodos permitió extraer candidatos potenciales, que luego fueron comparados entre sí para proponer estrategias de validación y establecer prioridades en futuros análisis de abundancias.

La combinación de estos enfoques ha permitido no solo ampliar considerablemente la muestra de estrellas ricas en P, sino también aportar una base sólida para estudiar su origen. Este trabajo demuestra el valor de combinar análisis espectroscópicos detallados con herramientas modernas de inteligencia artificial para abordar preguntas abiertas en la nucleosíntesis estelar y la evolución química de nuestra Galaxia. En última instancia, comprender el origen de estas estrellas peculiares podría ser clave para descubrir la fuente principal de P en la Vía Láctea y, por extensión, en entornos propicios para la vida.

Tesis disponible en:

<https://www.educacion.gob.es/teseo/mostrarRef.do?ref=2602182>

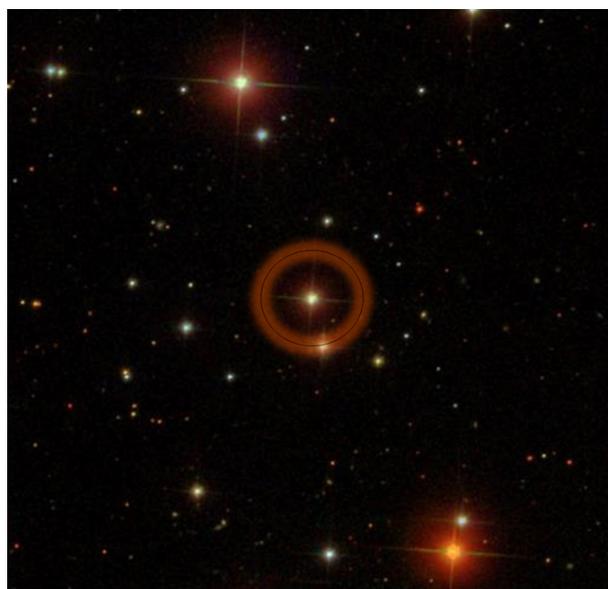


Imagen obtenida del Sloan Digital Sky Survey (SDSS) de una estrella rica en fósforo, M22480199+1411329, analizada en detalle en esta tesis.

Atardecer terrestre desde la Estación Espacial Internacional. Créditos: NASA.



**Sociedad Española
de Astronomía**

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

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