

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@fq.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).

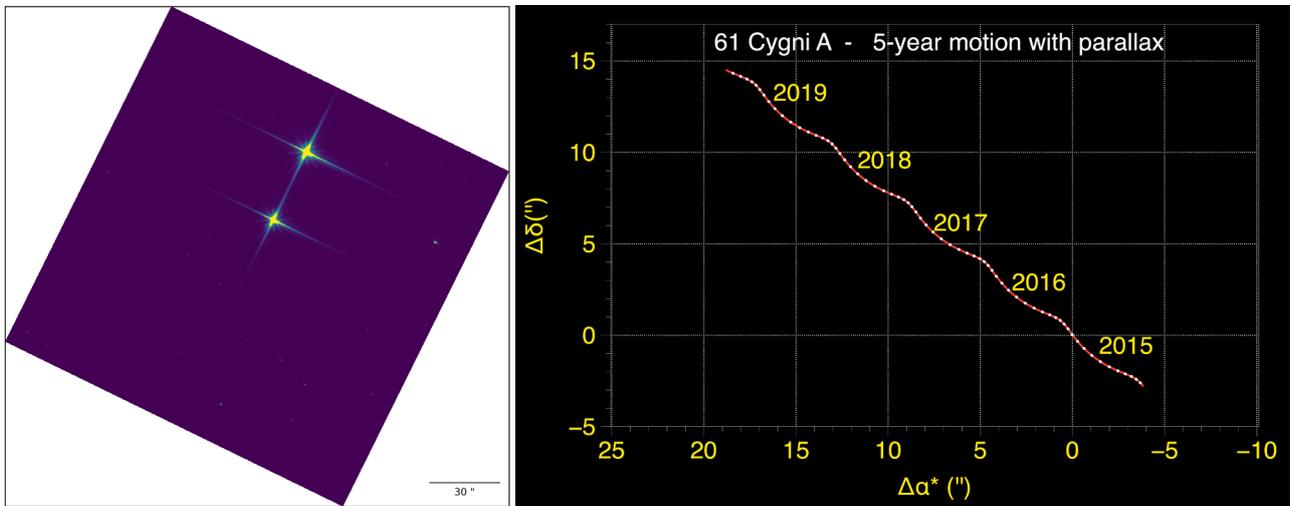
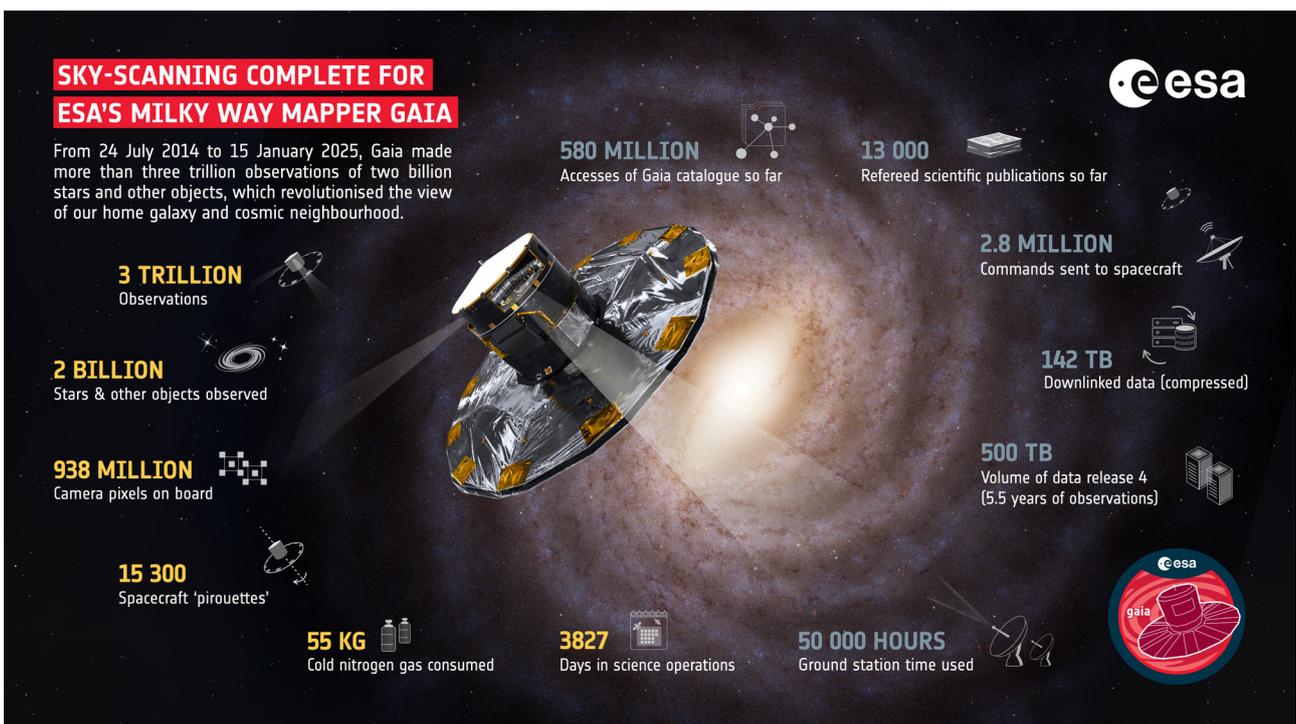


Figura 1. Izquierda: Visión final de 61 Cygni por Gaia el 10 de enero de 2025. Norte arriba y este a la izquierda. La escala se indica en la esquina derecha inferior. En la figura se ven 61 Cygni A (la más brillante al norte), 61 Cygni B más al sur y otras estrellas detectadas por Gaia. La escala de 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).



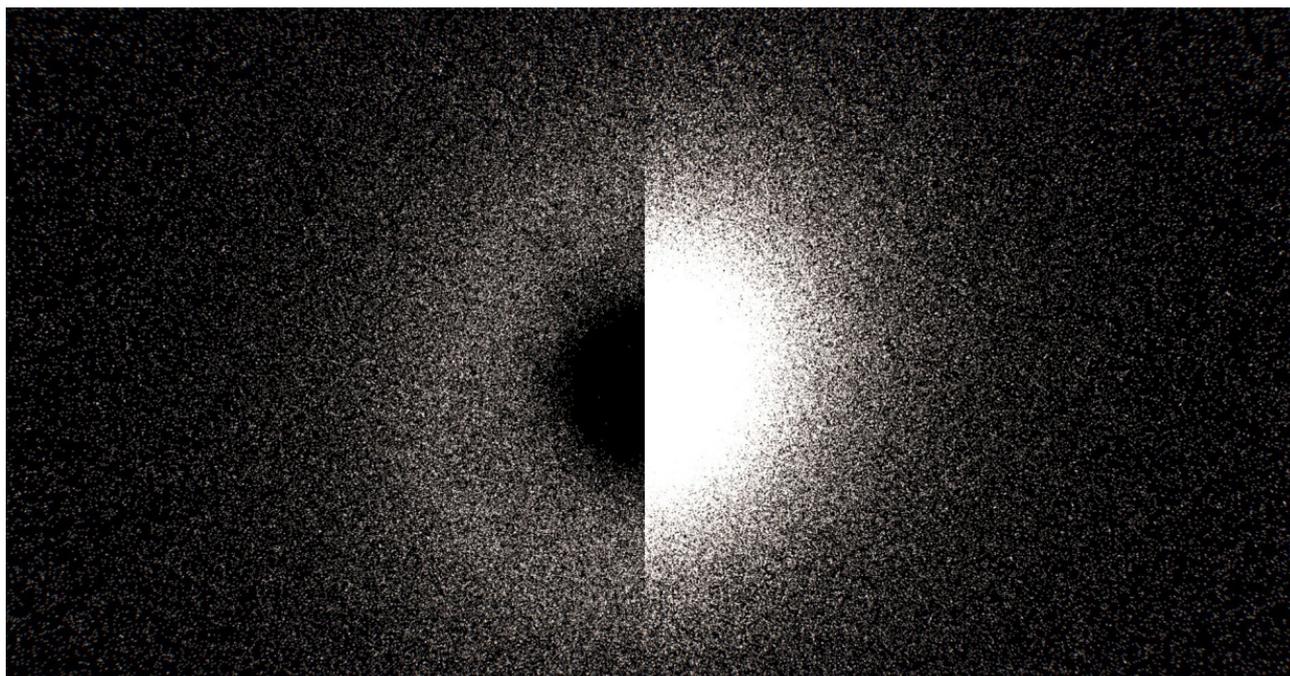
GAIA DR4: ¿CÓMO SERÁN LOS NUEVOS DATOS?

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).



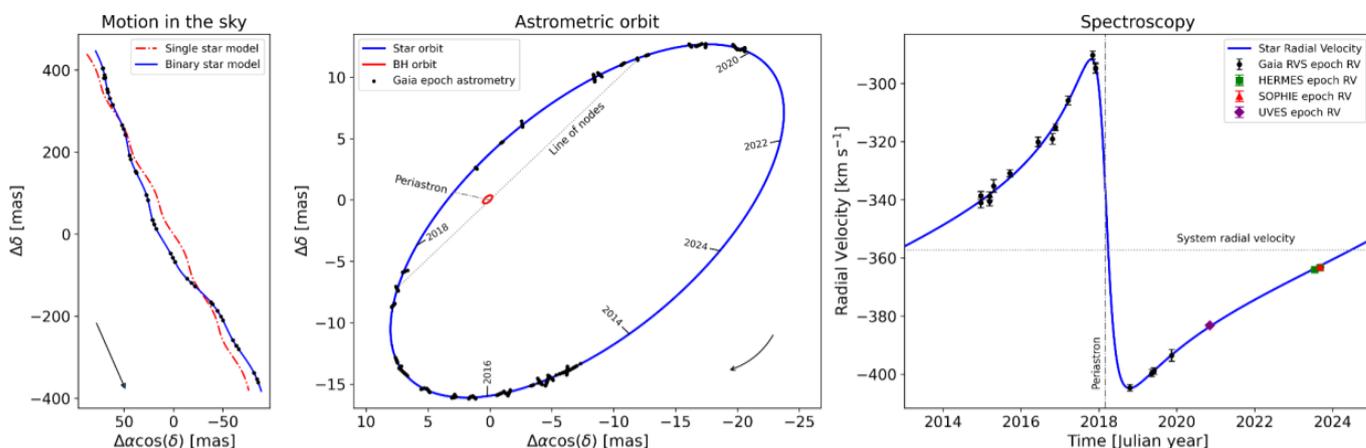


Figura 4. Izquierda: vista del ajuste astrométrico de GaiaBH3 y su estrella compañera en el plano del cielo. Medio: órbitas proyectadas en el plano del cielo. Derecha: evolución temporal de la velocidad radial de la estrella compañera (Gaia Collaboration: P. Panuzzo et al., 2024). Créditos: ESA/Gaia/DPAC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

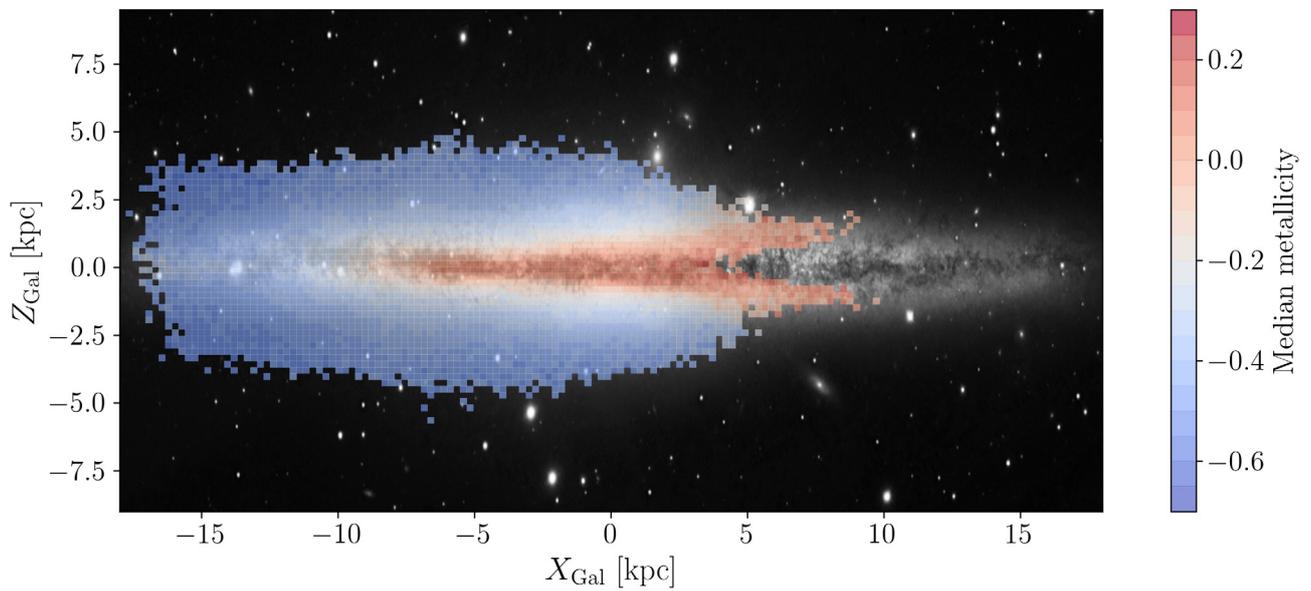
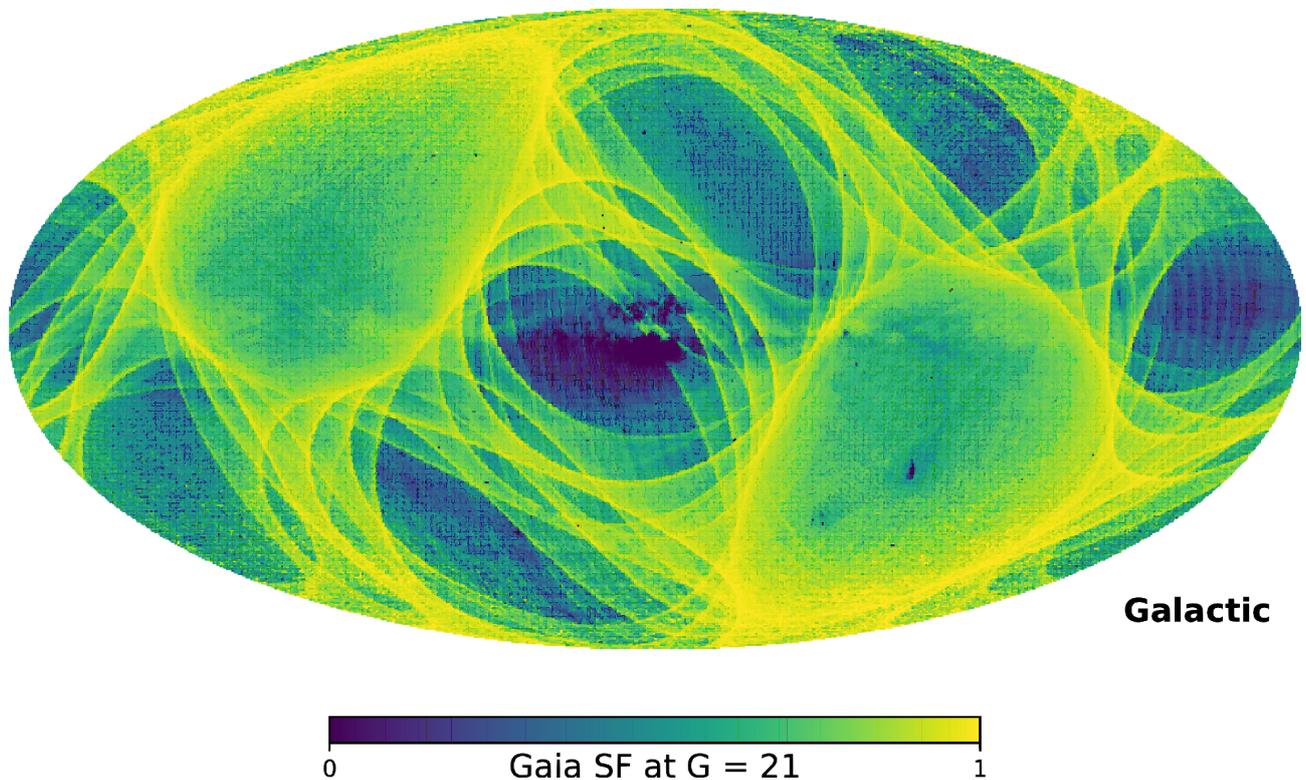


Figura 5. Mapa de metalicidad en coordenadas galactocéntricas (con el Sol a $X_{Gal} = -8.2$ kpc) obtenido a partir de 7.5 millones de espectros de Gaia XP para estrellas del *red clump* (apelotonamiento rojo), superpuesto sobre una imagen de la galaxia NGC 891 (Khalatyan, Anders et al. 2024).

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



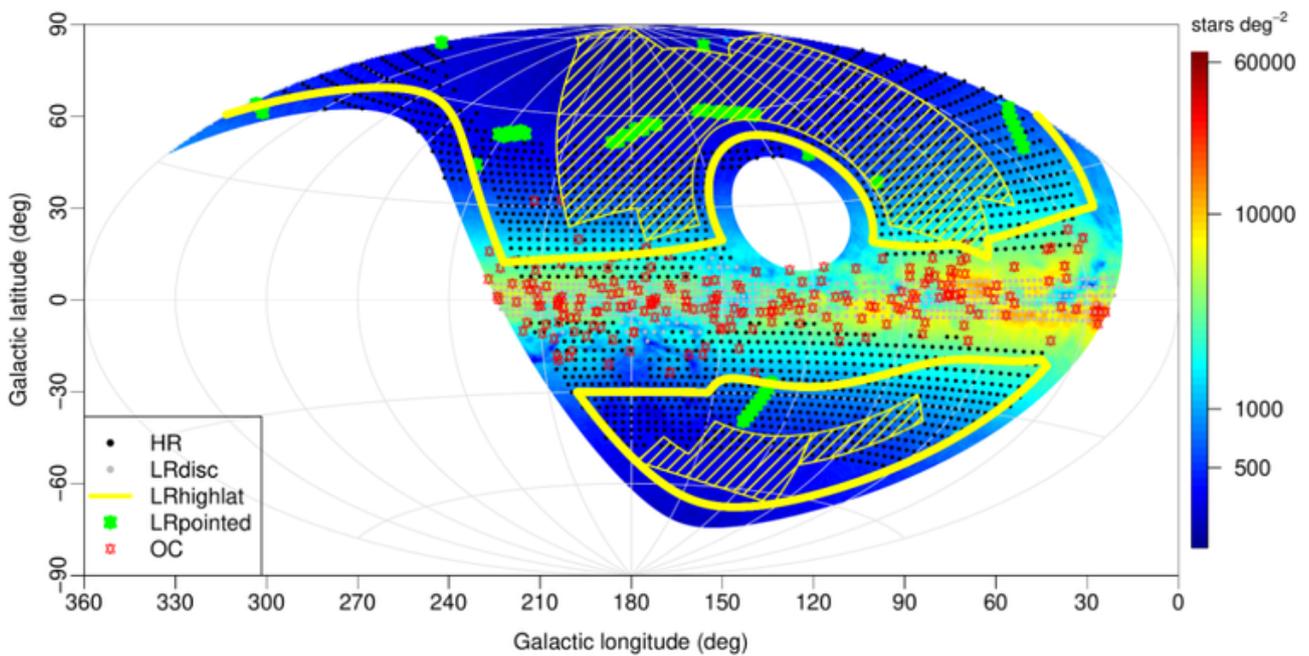
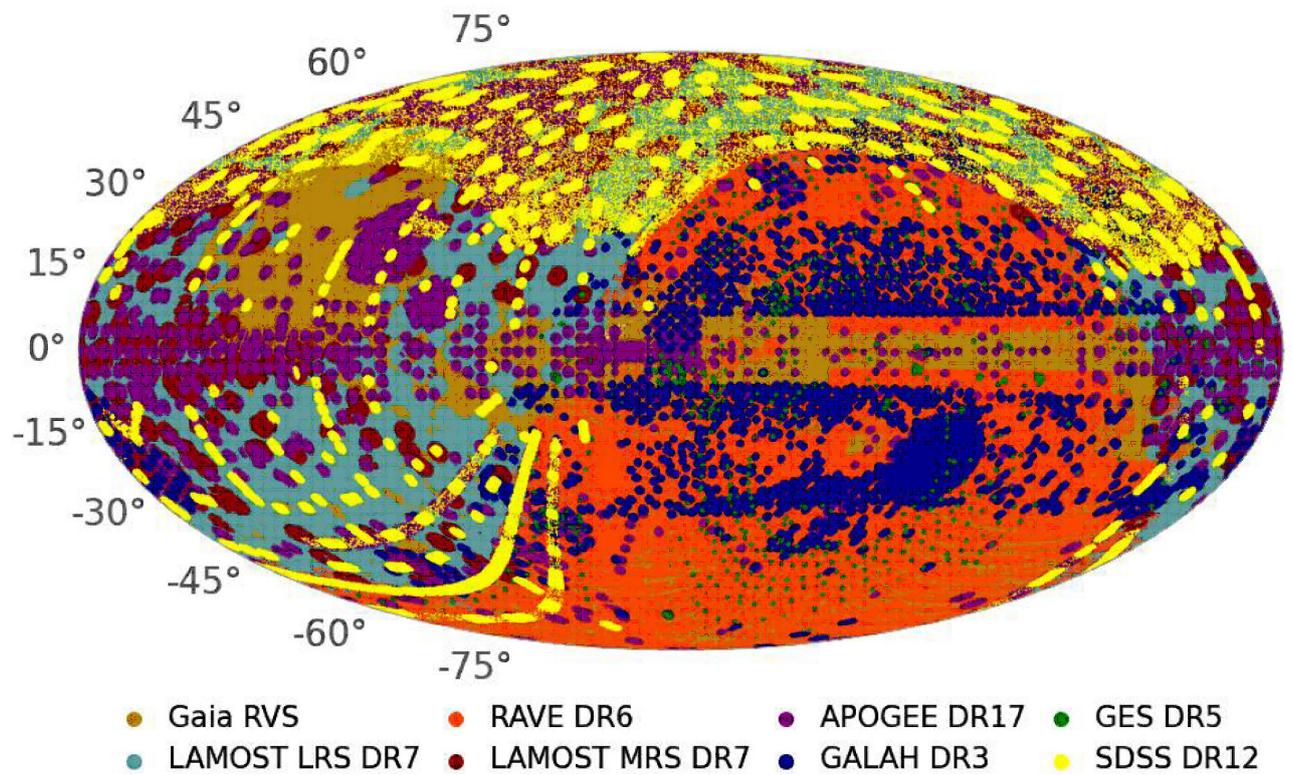


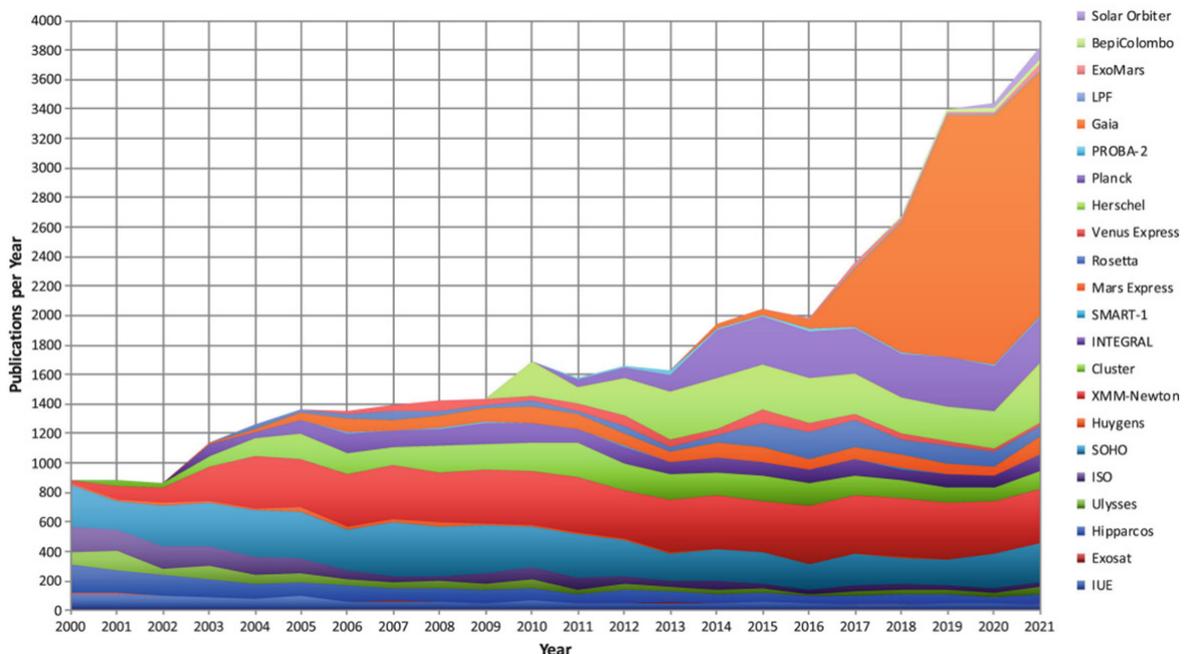
Figura 7. Panel superior: Cobertura del cielo por surveys espectroscópicos estelares concluidos actuales y pasados (Queiroz et al. 2023). Panel inferior: Plan de observaciones del survey de arqueología galáctica de WEAVE con fase de verificación científica en el modo multi-objeto (MOS) en 2025 (Jin et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