

ASTRONOMÍA

La misión Gaia y la historia de nuestra galaxia

La mayor cámara jamás enviada al espacio determinará con una precisión extraordinaria las posiciones, distancias, movimientos y propiedades de más de mil millones de estrellas de la Vía Láctea. ¿Por qué es tan importante este proyecto?

CARME JORDI Y EDUARD MASANA

El universo actual contiene grandes concentraciones de estrellas a las que llamamos galaxias. Estas nacieron a partir de pequeños agregados de estrellas y materia oscura creados en el universo temprano, los cuales fueron uniéndose entre sí a lo largo de la historia cósmica. Así pues, el pasado de nuestra galaxia ha quedado impreso en las propiedades y los movimientos de sus estrellas. Si estudiamos con detalle un gran número de ellas, podremos entender mucho mejor la Vía Láctea en todos sus aspectos.

A tal fin, la Agencia Espacial Europea (ESA) lanzó en 2013 la misión Gaia, cuyos primeros resultados se dieron a conocer

hace unos meses. El objetivo de este ambicioso proyecto consiste en confeccionar un mapa preciso de más de mil millones de estrellas en 6 dimensiones: 3 para situar cada objeto en el espacio y otras 3 para describir su movimiento en cada dirección. Para hacernos una idea de lo que esto supone, cabe recordar que, hasta ahora, solo se conocían las posiciones precisas de unas 120.000 estrellas. Las distancias que las separan de la Tierra fueron medidas con gran precisión entre 1989 y 1993 por la misión Hipparcos, también de la ESA.

Las estrellas más débiles que Gaia puede detectar son un millón de veces más tenues que las más débiles que podemos

apreciar a simple vista. Pero el número de estrellas no constituye el aspecto más relevante de Gaia: su ventaja principal radica en la precisión con la que es capaz de determinar la posición y el movimiento de los astros.

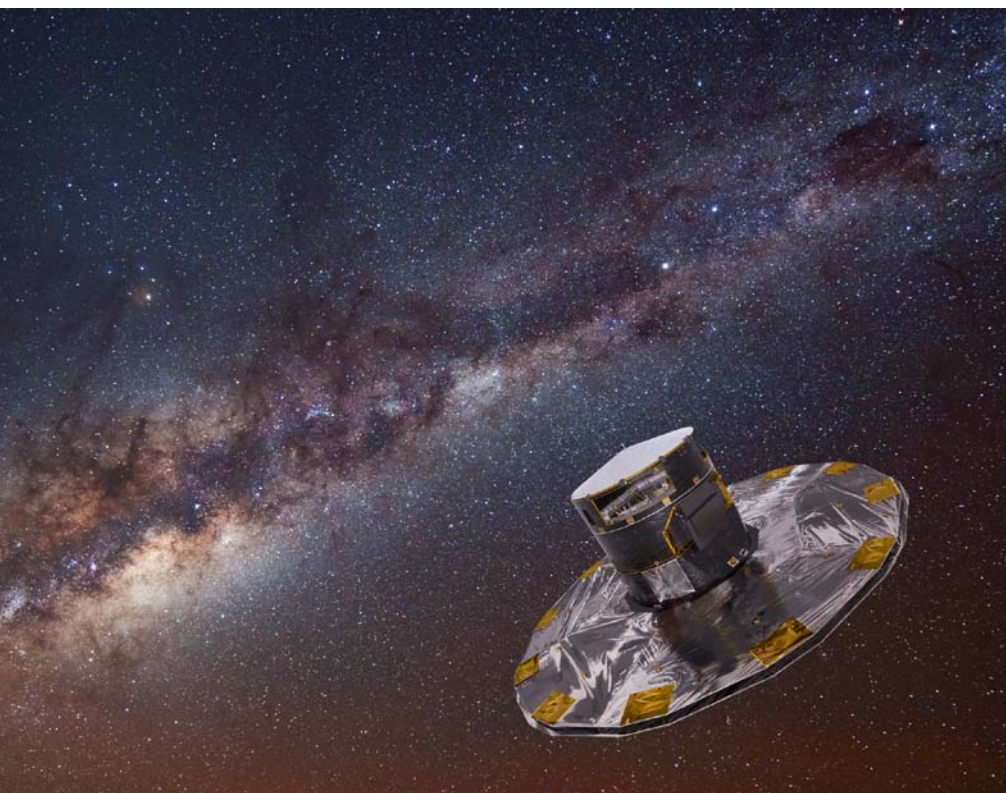
Para calcular la distancia a la que se halla cada estrella, Gaia mide el ángulo de paralaje; es decir, el pequeño desplazamiento que experimenta la posición aparente de un astro como consecuencia del movimiento de la Tierra alrededor del Sol. Tales desplazamientos son minúsculos debido a la enorme distancia a la que se encuentran las estrellas, por lo que resultan inapreciables para la mayoría de los instrumentos. Pero no así para Gaia: su diseño le permite medir ángulos tan diminutos como el que subtenderían los ojos de un astronauta en la Luna visto desde la Tierra. Esa resolución angular aplicada a tantas estrellas es lo que convierte a Gaia en una misión única.

Setenta millones de astros al día

Al igual que cualquier misión espacial, la de Gaia comenzó a fraguarse mucho antes de su lanzamiento. Las primeras ideas se gestaron a finales de los años noventa, tras el éxito del satélite Hipparcos. La misión se planteó a la ESA en el año 2000, se aprobó en 2001 y la construcción comenzó en 2005. La comunidad científica y tecnológica española ha desempeñado desde el principio un importante papel en todas las fases de la misión.

El satélite Gaia se encuentra situado a 1,5 millones de kilómetros de la Tierra, en sentido opuesto al del Sol. Consta de dos telescopios con espejos principales de 1,45 metros por 0,5 metros, los cuales apuntan en direcciones del cielo separadas 106,5 grados. Antes de registrarse en los 106 chips del plano focal, la luz se refleja en otros cinco espejos. En conjunto, este montaje equivale a una cámara de un gigapíxel, la mayor que jamás se haya lanzado al espacio.

Los astros se observan de dos maneras: como imágenes puntuales, para



CARTÓGRAFO GALÁCTICO: La misión Gaia, de la Agencia Espacial Europea, cartografiará con una precisión sin precedentes las estrellas de la Vía Láctea para desenterrar su historia. Esta recreación artística muestra el aspecto del satélite en órbita. La pantalla circular, de unos 10 metros de diámetro, protege al instrumento de la luz solar. Sus dos telescopios se encuentran en el módulo central, de unos 3 metros de alto.

deducir su brillo y posición instantánea, y en forma de espectros, lo que permite deducir la velocidad con que se acercan o alejan de nosotros y sus propiedades físicas. De esta manera podemos saber de qué objeto se trata (estrellas, núcleos galácticos, cuásares...) y, en el caso de las estrellas, cuáles son su composición química, temperatura y edad.

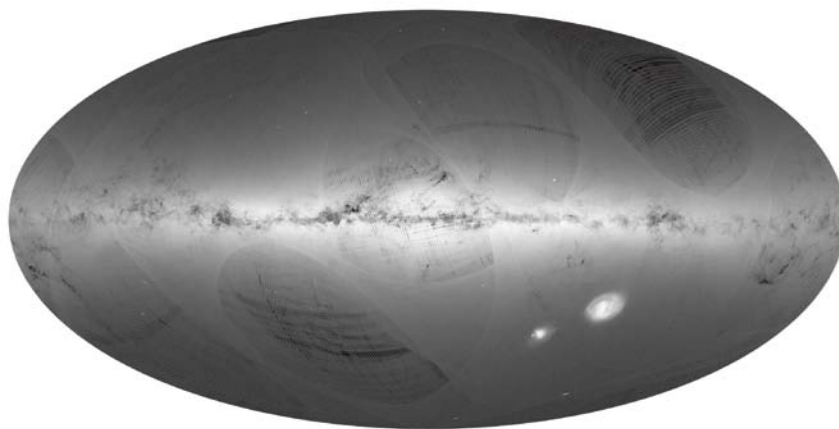
Gaia gira alrededor de su propio eje al ritmo de una revolución cada 6 horas. Los objetos celestes se observan con el primer telescopio y, al cabo de 1,8 horas, con el segundo. Pasadas otras 4,2 horas, los astros vuelven a aparecer en el primero, aunque no exactamente en la misma posición. Ello se debe a que el eje del instrumento ejecuta un movimiento similar al de una peonza, por lo que el campo de visión de los telescopios se desplaza ligeramente en cada revolución. Combinado con el movimiento anual alrededor del Sol, todo ello permite que Gaia observe el cielo completo en unos seis meses.

El satélite analiza unos 70 millones de objetos al día a partir de un total de 640 millones de imágenes puntuales y 170 millones de espectros, lo que supone enviar a la Tierra unos 40 gigaoctetos de datos diarios. Durante los 5 años de misión científica, cada objeto celeste se observará, en promedio, unas 70 veces.

Justo después del lanzamiento se detectaron algunos comportamientos indeseados, como la presencia de luz parásita debida a la difracción de la luz solar en los bordes del parasol y el empañamiento de los espejos. Sin embargo, también se constató que el conjunto formado por los espejos y la cámara era más sensible de lo esperado. Las operaciones de a bordo y el procesamiento de datos en tierra se rediseñaron para adaptarlos a las condiciones reales de Gaia, por lo que el éxito de la misión no se halla en entredicho por tales anomalías.

El primer catálogo estelar

Los primeros 14 meses de observaciones científicas sirvieron para confeccionar un primer mapa con la posición y el brillo de 1143 millones de estrellas; la distancia y el movimiento sobre la bóveda celeste de 2 millones de ellas, así como la serie temporal de 3200 estrellas de brillo variable. El hecho de que solo se publicasen las distancias y movimientos para un subconjunto de objetos se debe a la brevedad del período de observación: tras solo 14 meses, no resulta posible discernir entre el movimiento propio de una estrella y el inducido por la órbita de Gaia alrededor



PRIMER MAPA ESTELAR: El primer catálogo estelar de la misión Gaia, publicado hace unos meses, ya ha dado lugar a más de 50 publicaciones en revistas científicas. Esta imagen reproduce la bóveda celeste a partir de los datos obtenidos hasta ahora por Gaia. Las zonas más brillantes corresponden a las regiones con mayor densidad de estrellas. Se aprecian con claridad las altas densidades del disco galáctico (*franja central*), las nubes de Magallanes (galaxias enanas cercanas a la Vía Láctea, *parte inferior derecha*), así como varios cúmulos globulares y otras galaxias cercanas. Las zonas oscurecidas se deben al polvo interestelar, cuya presencia impide detectar estrellas en la franja visible del espectro.

del Sol. La información proporcionada en su día por la misión Hipparcos permitió solventar este inconveniente para esos 2 millones de estrellas.

Este primer conjunto de datos se hizo público en septiembre de 2016. La expectación de la comunidad científica fue tal que, solo en las primeras 24 horas, más de 11.000 usuarios extrajeron 22 teraocetos de datos, el récord de todos los archivos publicados hasta ahora por la ESA.

Desde entonces, los datos de Gaia han dado lugar a más de 50 publicaciones en revistas científicas. Por citar solo algunos ejemplos, en el ámbito de la física estelar se ha descubierto la naturaleza binaria de algunas estrellas (algo de gran importancia, ya que en los sistemas binarios las masas pueden deducirse a partir de las propiedades orbitales), al tiempo que se ha descartado esa misma característica para otras. También se han derivado las distancias y los movimientos de varios cúmulos estelares en el disco de la galaxia (lo que permite poner a prueba los modelos teóricos de evolución estelar) y se ha determinado la distancia precisa a la que se hallan varias estrellas con planetas a su alrededor.

En lo que respecta a la estructura de la Vía Láctea, se han descubierto 13 nuevas «estrellas fugitivas» (eyectadas de un sistema doble después de que la compañera explotase en forma de supernova) y se han efectuado varios estudios sobre la rotación de la Vía Láctea y el halo galáctico. En este último se han descubierto varias estrellas

con órbitas retrógradas, lo que indica que podrían constituir los restos de pequeñas galaxias engullidas por la nuestra. También se han obtenido resultados en el ámbito de la astronomía extragaláctica, principalmente sobre las nubes de Magallanes y algunos cuásares, los cuales constituyen la base para establecer el sistema de referencia de coordenadas celestes.

Pero las aplicaciones científicas de Gaia no acaban aquí. Conocer con precisión la posición de estrellas lejanas nos proporciona nuevas oportunidades para estudiar los planetas del sistema solar. Al saber con exactitud dónde se encuentra una estrella, podemos predecir cuándo y dónde se producirá su ocultación por parte de un planeta o un asteroide cercano. A su vez, ello permite estudiar la atmósfera del objeto a partir del espectro que esta absorbe cuando la estrella aparece y desaparece tras él.

Ese fue el caso de la estrella UCAC4 345-180315, ocultada por Plutón en julio de 2016. Las posiciones determinadas por Gaia —hechas públicas antes de que se diese a conocer el primer catálogo— permitieron predecir con una precisión de apenas 100 kilómetros desde qué lugares de la superficie terrestre se observaría la ocultación (con anterioridad a Gaia, ese margen de error era de unos 1500 kilómetros). Gracias a ello, las campañas observacionales pudieron planificarse de forma mucho más segura y eficaz.

En rigor, la primera publicación de datos de la misión tuvo lugar ya en 2014,

y correspondió a la detección de una supernova. En su observación diaria, Gaia detecta cuándo una estrella aumenta su brillo de forma notable. Dicho fenómeno puede deberse a una explosión de nova o supernova, al efecto de microlente gravitacional (cuando una estrella, planeta o agujero negro pasa por delante de otra estrella más lejana y desvía sus rayos de luz) o a violentas erupciones estelares. Tales casos se notifican de inmediato a la comunidad científica para que el fenómeno pueda seguirse desde tierra. Hasta finales de 2016, Gaia había comunicado 1800 alertas, la mayoría correspondientes a supernovas.

El futuro de Gaia

Los datos publicados hasta ahora no representan más que un pequeño avance de lo que Gaia nos ofrecerá en el futuro. En abril de 2018 dispondremos del mapa de posiciones (incluidas las distancias) y movimientos de más de mil millones de estrellas, así como su clasificación en tipos estelares. A esta segunda publicación le seguirán otras, cada cual más precisa y con mayor cantidad de información que la anterior. Una vez completada la misión,

en 2019, el catálogo final se prevé que esté concluido para 2022. Las observaciones podrán extenderse otros cinco años (lo que permite el combustible de a bordo) si la ESA aprueba los fondos para mantener las operaciones.

Puesto que Gaia detecta todos los cuerpos celestes hasta el límite de brillo que marca su diseño, no solo observa estrellas, sino cualquier objeto de aspecto puntual. Ello abre la puerta a incontables aplicaciones científicas que van más allá del estudio de la Vía Láctea: entre ellas, numerosas cuestiones de física estelar; el estudio de la forma, composición y masa de los asteroides del sistema solar; la elaboración de un censo completo de exoplanetas en el entorno solar; la observación de estrellas individuales en galaxias cercanas; la determinación del movimiento del Sol con respecto a cuásares y galaxias; o los efectos de la relatividad general sobre la trayectoria de los rayos de luz.

Esperamos con impaciencia el futuro esperanzador que nos depara la próxima década gracias a las sucesivas publicaciones de Gaia. Sus datos prometen cambiar para siempre nuestra visión de la

Vía Láctea y sus componentes y, con ello, ayudarnos a entender mejor la evolución del universo.

—Carme Jordi
—Eduard Masana
Colaboración Gaia
Instituto de Ciencias del Cosmos
Universidad de Barcelona
Instituto de Estudios Espaciales
de Cataluña

PARA SABER MÁS

The Gaia mission. Colaboración Gaia en *Astronomy & Astrophysics*, vol. 595, art. n.º A1, noviembre de 2016.

Gaia data Release 1 — Summary of the astrometric, photometric, and survey properties. Colaboración Gaia en *Astronomy & Astrophysics*, vol. 595, art. n.º A2, noviembre de 2016.

Gaia data Release 1 — Astrometry: One billion positions, two million proper motions and parallaxes. L. Lindegren et al. en *Astronomy & Astrophysics*, vol. 595, art. n.º A4, noviembre de 2016.

EN NUESTRO ARCHIVO

Los fósiles de la Vía Láctea. Kathryn V. Johnston en *lyC*, febrero de 2015.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL

El problema de la caja negra

El aprendizaje automático se está extendiendo tanto en el ámbito de la investigación básica como en el de la industria. Sin embargo, para que los científicos confíen en él, primero necesitan comprender qué hacen las máquinas

DAVIDE CASTELVECCHI

Dean Pomerleau aún recuerda su primera pelea con el problema de la caja negra. Corría el año 1991 y llevaba a cabo un intento pionero por conseguir algo que en la actualidad es común en el campo de la investigación sobre vehículos autónomos: enseñar a un ordenador a conducir.

Para ello se ponía al volante de un vehículo militar Humvee especialmente equipado y lo guiaba por las calles de la ciudad, explica Pomerleau, que por entonces cursaba un doctorado en robótica en la Universidad Carnegie Mellon. En el Humvee llevaba un ordenador que había programado para escrutar a través de una cámara, interpretar lo que ocurría en la calzada y memorizar cada movimiento que efectuaba como respuesta. Esperaba que, con el tiempo, la máquina establece-

ría suficientes asociaciones para conducir por sí sola.

En cada viaje, Pomerleau entrenaba al sistema durante unos pocos minutos y luego lo soltaba para que prosiguiera solo. Todo parecía ir bien hasta que, un día, el coche se acercó a un puente y de repente viró bruscamente hacia un costado. El hombre evitó un accidente porque pudo agarrar rápidamente el volante y recuperar el control.

De vuelta en el laboratorio, Pomerleau trató de entender dónde se había equivocado el ordenador. «Una parte de mi tesis consistía en abrir la caja negra y averiguar qué estaba pensando», explica. Pero ¿cómo? Lo había programado para que actuara como una «red neuronal», un tipo de inteligencia artificial (IA) inspirada en el cerebro y que prometía comportar-

se mejor que los algoritmos estándar a la hora de lidiar con situaciones complejas del mundo real. Por desgracia, estas redes se muestran tan opacas como el cerebro. En lugar de almacenar lo que han aprendido en un bloque ordenado de memoria digital, esparcen la información de un modo que resulta sumamente difícil de descifrar. Descubrió la causa del error de conducción tras analizar exhaustivamente las respuestas del *software* a varios estímulos visuales: la red había utilizado la hierba que crecía al borde de las carreteras para determinar la dirección, de manera que la aparición del puente la había confundido.

Veinticinco años más tarde, el problema de la caja negra se ha tornado exponencialmente más difícil y urgente. La complejidad y las aplicaciones de la tecnología misma se han disparado. Po-