



Mil millones de ojos
para ~~mil~~ millones de estrellas

1.800

El Grupo de Sistemas Estelares (SSG) estudia agrupamientos de gas y estrellas a diferentes escalas espaciales, tanto en la Vía Láctea como en el Grupo Local de galaxias, con el objetivo de profundizar en nuestra comprensión de la formación, estructura y evolución de los cúmulos estelares, analizar la física de la formación estelar y estudiar la estructura, historia y origen del Centro Galáctico y de la propia Vía Láctea.

Emilio J. Alfaro Navarro y Antonio Delgado Sánchez crearon el grupo de investigación en 1988. En 1993 se fusionó con un grupo de radioastrónomos, liderados por Jose María Torrelles Arnedo, para formar el departamento de Radioastronomía y Estructura Galáctica que es, hoy en día, uno de los cuatro departamentos científicos del IAA-CSIC.

El SSG ha desarrollado, a lo largo de los años, tareas de formación de grado y doctorado, de gestión científica a diferentes niveles, de divulgación y difusión de resultados y por, supuesto de investigación científica. Cuatro miembros del grupo se incorporaron con becas Ramón y Cajal: David Martínez-Delgado, Jorge Peñarrubia, Jesús Maíz Apellániz y Rainer Schödel. A su vez, Rainer y Jesús generaron sus propios equipos de investigación: Centro Galáctico y Estrellas Masivas, respectivamente. Los equipos Centro Galáctico y Cúmulos Estelares constituyen actualmente el SSG.

El SSG ha participado activamente en proyectos internacionales complementarios a la misión Gaia como GES (Gaia ESO Survey) y es miembro de REG, el consorcio español que engloba a los equipos de investigación cuyos objetivos científicos se asientan fundamentalmente en los datos proporcionados por Gaia.

Grupo de Sistemas Estelares



El grupo de Sistemas Estelares (SSG) en Sierra Mágina, 2012.

La misión Gaia de la ESA, lanzada en 2013, ha revolucionado nuestra comprensión del universo en solo una década. Su telescopio espacial se ha convertido en un arqueólogo cósmico, desvelando los secretos de mil ochocientos millones de objetos celestes. Este ambicioso proyecto ha generado una avalancha de descubrimientos, sorprendiendo a la propia comunidad astronómica.

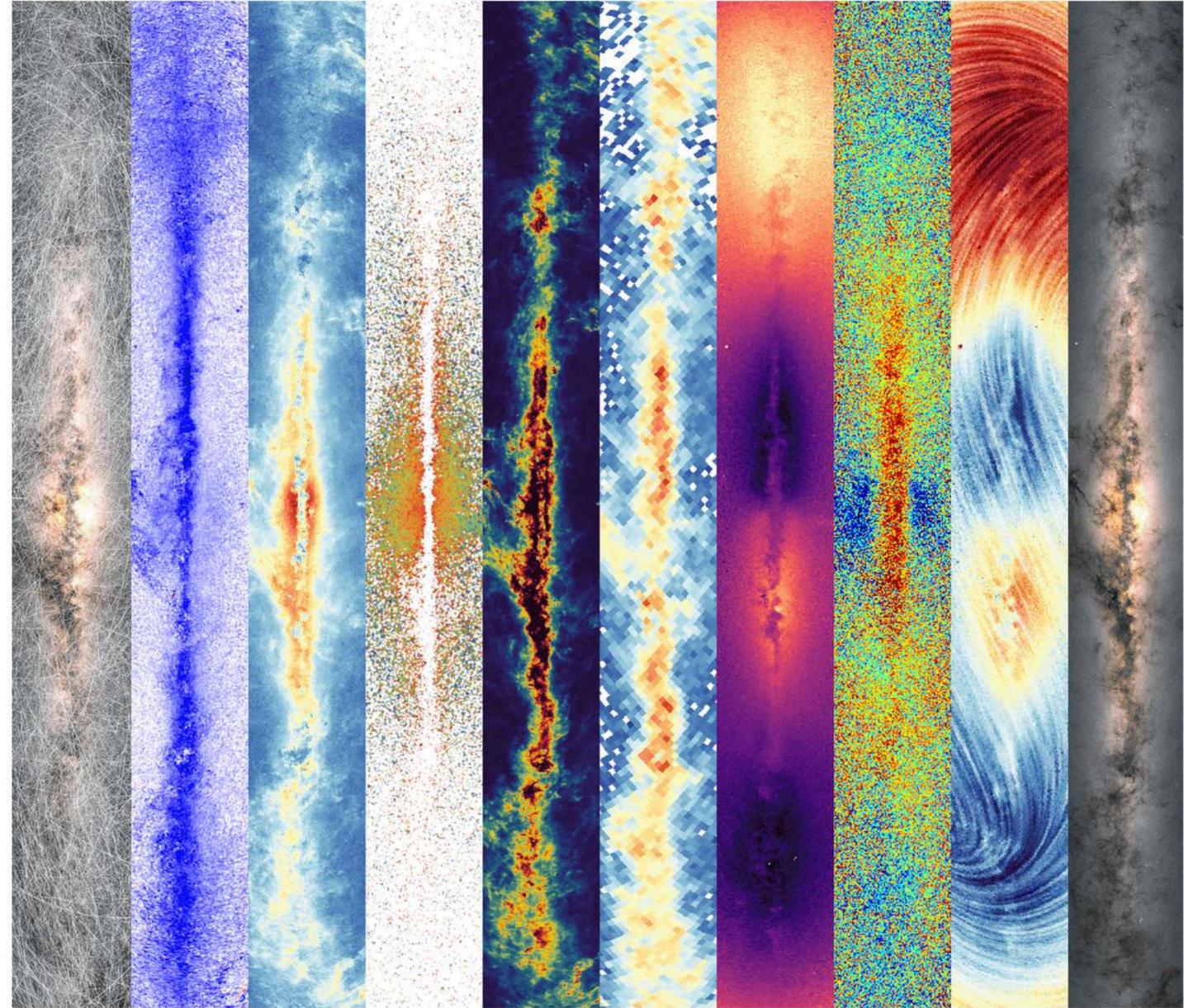
Con los catálogos estelares proporcionados por la misión, Gaia ha trazado el mapa estelar más detallado jamás imaginado, determinando las coordenadas celestiales y movimientos de estas luminarias cósmicas con una precisión asombrosa. Pero sus logros no se detienen ahí: ha desvelado la estructura interna de nuestra Galaxia, descubierto estrellas antes invisibles, incluso ha analizado las oscilaciones de estrellas variables, como si estuviera sintonizando una sinfonía celestial.

Pero no se trata solo de estrellas: Gaia también ha observado una multitud de asteroides y cuerpos celestes cercanos a la Tierra, vecinos cósmicos que podrían afectar a nuestro planeta. Además, la misión ha puesto a prueba la Teoría de la Relatividad de Einstein, mostrando cómo la gravedad de las estrellas masivas deforma el tejido del espacio-tiempo.

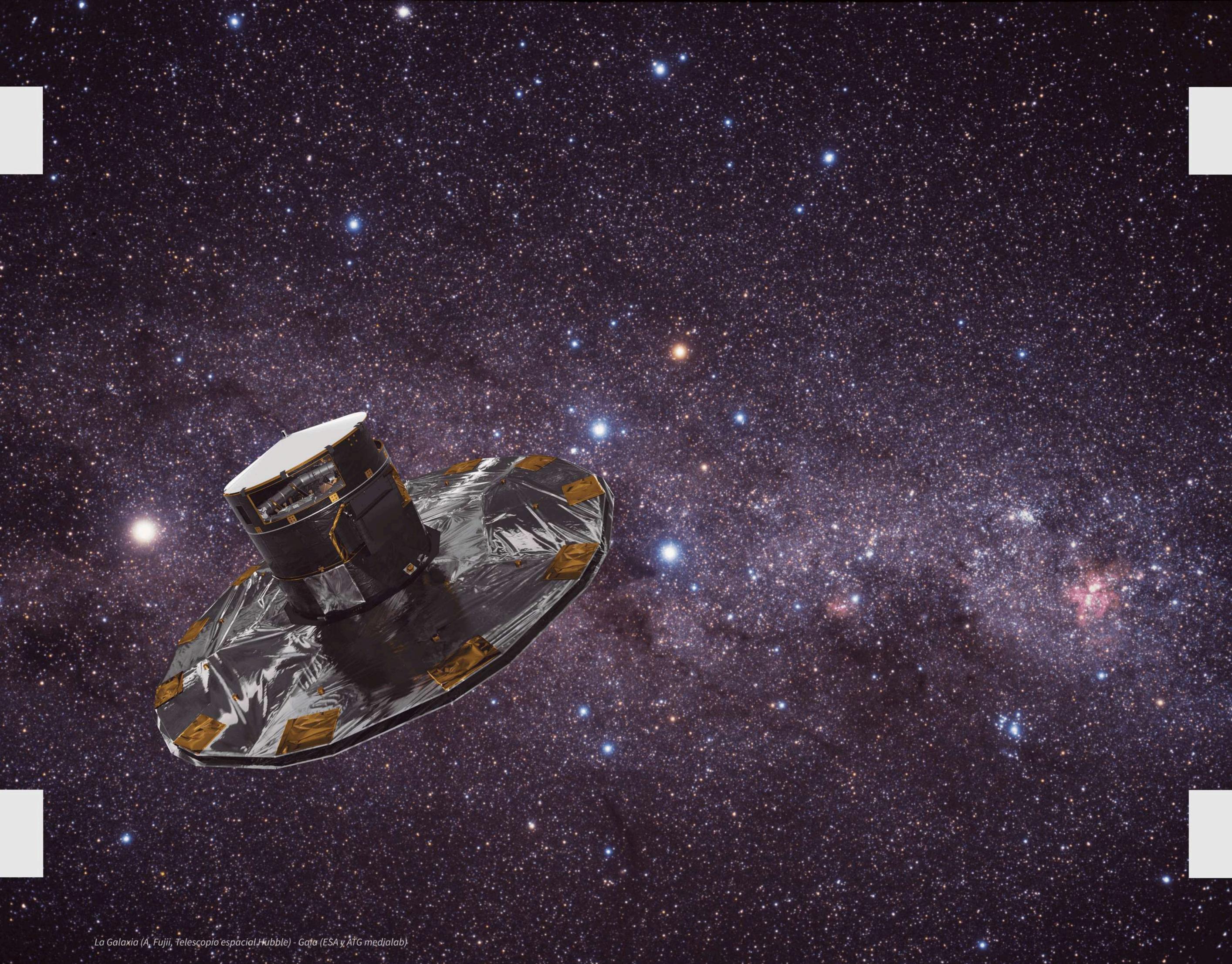
En definitiva, Gaia es un faro de conocimiento, que ilumina el cosmos y desafía los límites tecnológicos. Los datos recopilados continúan inspirando a científicos y soñadores, demostrando que nuestra curiosidad no tiene fronteras cuando se trata de explorar los misterios del universo.

Esta exposición es una pequeña inmersión en el universo Gaia. Un principio a partir del cuál comenzar a explorar por nosotros mismos.

La Misión Gaia



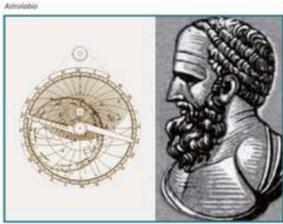
Una composición de mapas del cielo de Gaia, basados en diferentes tipos de datos de Gaia DR3. Créditos: ESA/Gaia/DPAC-CC BY-SA 3.0 IGO. Agradecimientos: creado por Tineke Roegiers, basado en diferentes mapas del cielo de Gaia generados por ESA/Gaia/DPAC - CC BY-SA 3.0 IGO e inspirado en las Imágenes de la Vía Láctea en Longitudes de Onda Múltiples de la NASA.



La conquista del cielo

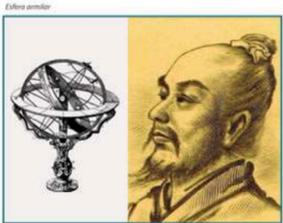
Las civilizaciones antiguas ya sabían que los cuerpos celestes se mueven con regularidad y que su observación podía resolver problemas prácticos, como fijar las fechas óptimas para la siembra y la cosecha. Esto supuso el inicio de la astrometría, la rama de la astronomía que estudia las posiciones y los movimientos de los astros.

300 a.n.e. Primeros catálogos celestes en China y Egipto.



Hiparco de Nicea catalogó 1080 estrellas con una precisión de un grado en las posiciones.

150 a.n.e.



Zhang Heng construyó la primera esfera armilar ecuatorial conectada a un reloj de agua, mejorando la precisión de las medidas.

s. II



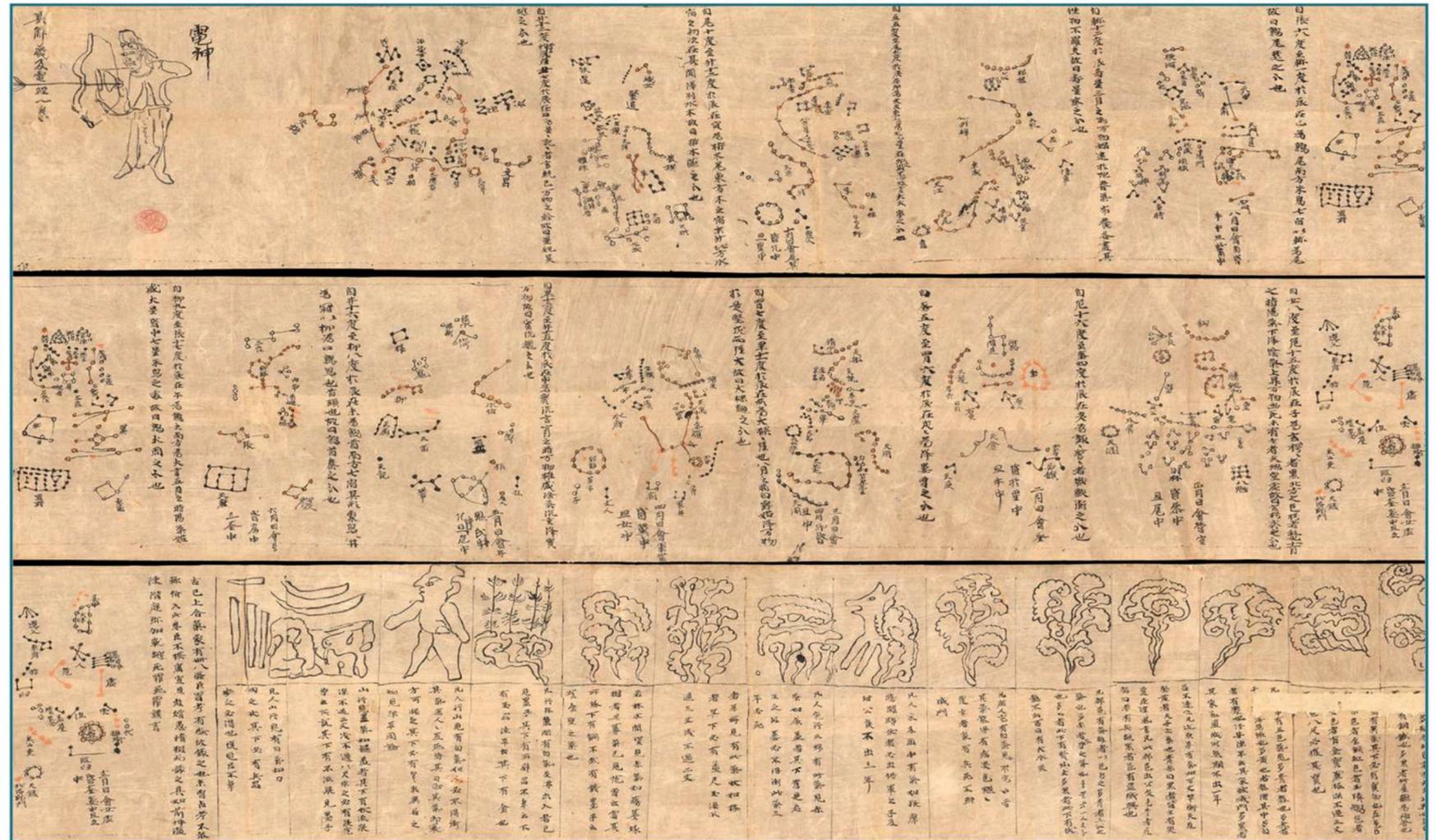
Tycho Brahe elaboró un catálogo con una precisión de un minuto de arco, al límite del ojo humano.

s. XVI



Galileo Galilei utilizó por primera vez el telescopio que permitió precisiones de segundos de arco.

s. XVII



Mapa celeste más antiguo que se conserva del hemisferio norte completo (Dinastía Tang, China 649 - 684). Manuscritos Dunhuang - <http://idp.bl.uk/>

El satélite Hipparcos (ESA 1989-1993) consiguió precisiones de milisegundos de arco para 120.000 estrellas. Los datos de Hipparcos han supuesto una revolución en muchos campos de la astrofísica.



ESA

Gaia permite medir ángulos de microsegundo de arco para 1.800 millones de objetos celestes.



ESA (C. Carreau)



Gaia es capaz de medir una mariposa en la Luna vista desde la Tierra.

El satélite Hipparcos fue capaz de medir un elefante en la Luna desde la Tierra.

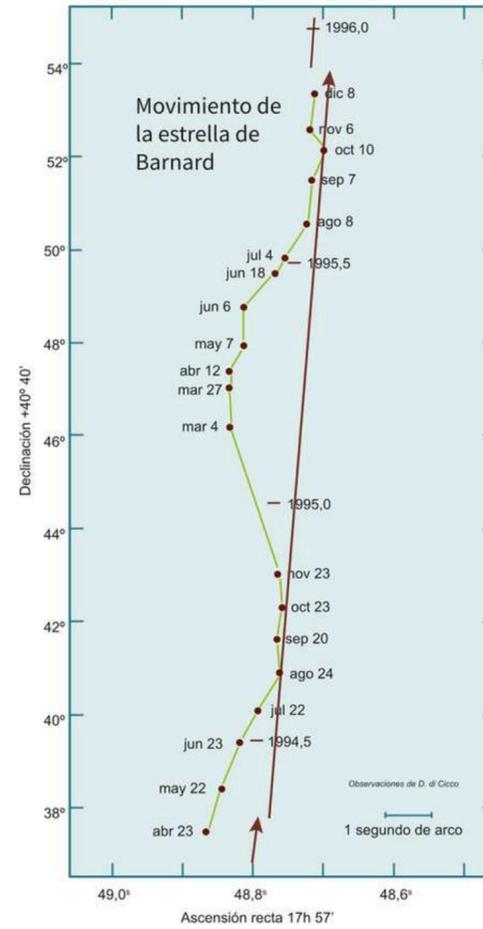
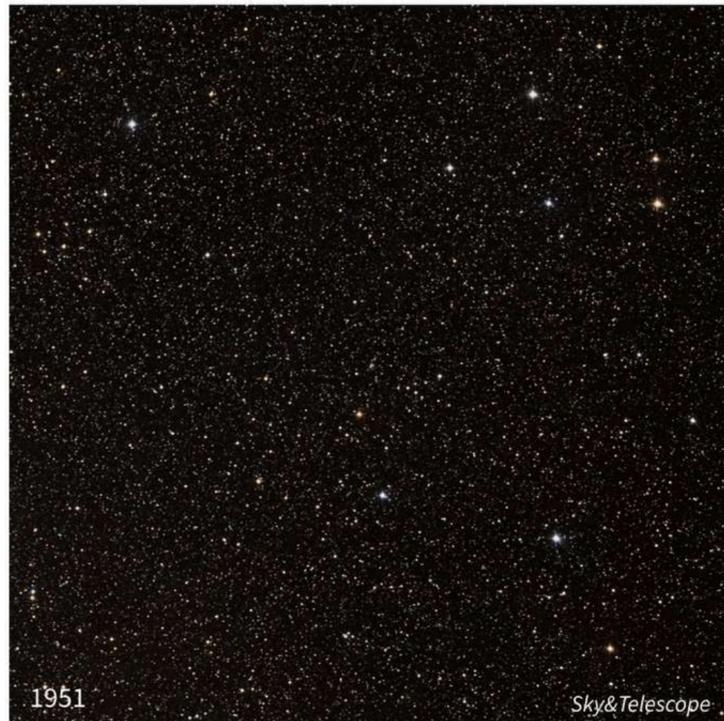
La Luna llena que vemos en el cielo ocupa medio grado (1.800 segundos de arco).

1989-1993

2013-2019

Las estrellas se mueven

Hace 300 años se descubrió que las estrellas no están fijas y que las constelaciones cambian de forma lentamente. Una estrella se mueve unas docenas de km por segundo.

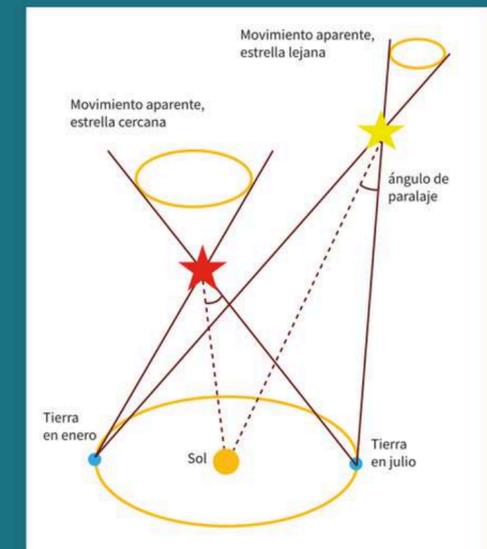


Las imágenes muestran la estrella de Barnard, la que tiene el movimiento aparente más rápido. Se mueve 10,4 segundos de arco al año y tiene una paralaje de 0,55 segundos de arco. ¿Sabes localizarla en las fotos?

Con un telescopio pequeño y durante un año y medio se puede apreciar el movimiento rápido de la estrella y la variación anual debida al movimiento de la Tierra alrededor del Sol.

La paralaje

El hecho de que la Tierra cambie su posición respecto del Sol durante el año hace que las estrellas describan una pequeña elipse en el cielo. El tamaño de esta elipse (ángulo de paralaje) nos proporciona la distancia a la estrella. Cuanto más pequeña es la paralaje más lejana se encuentra la estrella.

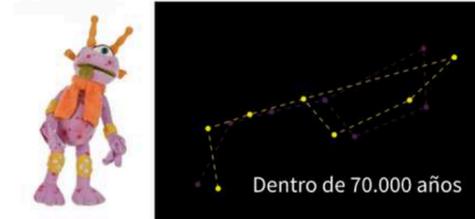
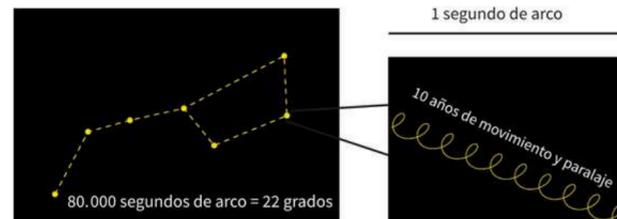


Las paralajes son muy pequeñas

La estrella más cercana tiene una paralaje de solo 0,74 segundos de arco. Una estrella en el centro de la Galaxia tiene una paralaje de 0,0001 segundos de arco. Para medir ángulos tan pequeños hace falta un instrumento como Gaia.

En 1838 se publicó la primera paralaje, correspondiente a la estrella 61 Cyg.

La Osa Mayor a lo largo de los tiempos



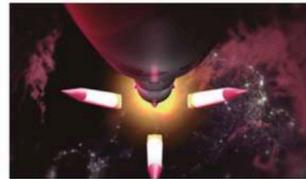
El lanzamiento de Gaia

Gaia empieza su misión a bordo de un lanzador Soyuz-Fregat en la base de lanzamiento de la ESA en Kourou, en la Guayana Francesa. Un viaje de 30 días lo sitúa en una órbita alrededor del punto L2 del sistema Sol-Tierra, a 1,5 millones de km de la Tierra.



t_0 = instante del lanzamiento

Los motores de la primera y segunda etapa se encienden y el lanzador deja la plataforma de lanzamiento.



$t_0 + 118$ s

Los cuatro motores de la primera etapa se apagan y sus cuatro unidades se separan del resto del vehículo.



$t_0 + 208$ s

El lanzador ya ha alcanzado suficiente altura para que el carenado se pueda separar. El satélite está ahora al descubierto.



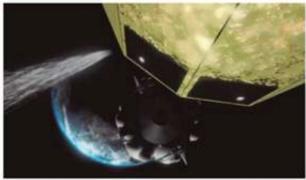
$t_0 + 288$ s

La tercera etapa enciende los motores y se separa de la segunda etapa.



$t_0 + 562$ s

La tercera etapa se separa de la etapa superior. La etapa superior da una vuelta alrededor de la Tierra antes de dejar la órbita.



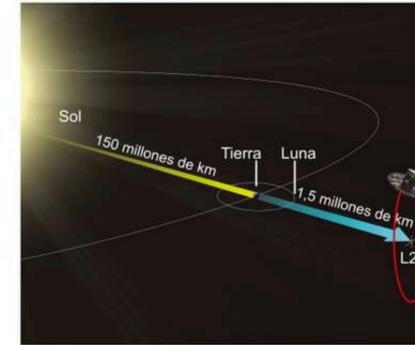
$t_0 + 50$ min

Después de que la etapa superior haya fijado la dirección de Gaia hacia el punto de Lagrange L2, se separa.



$t_0 + 60$ min

Mientras dura el vuelo hasta L2 Gaia abre su parasol para proteger los instrumentos sensibles a la radiación del Sol.

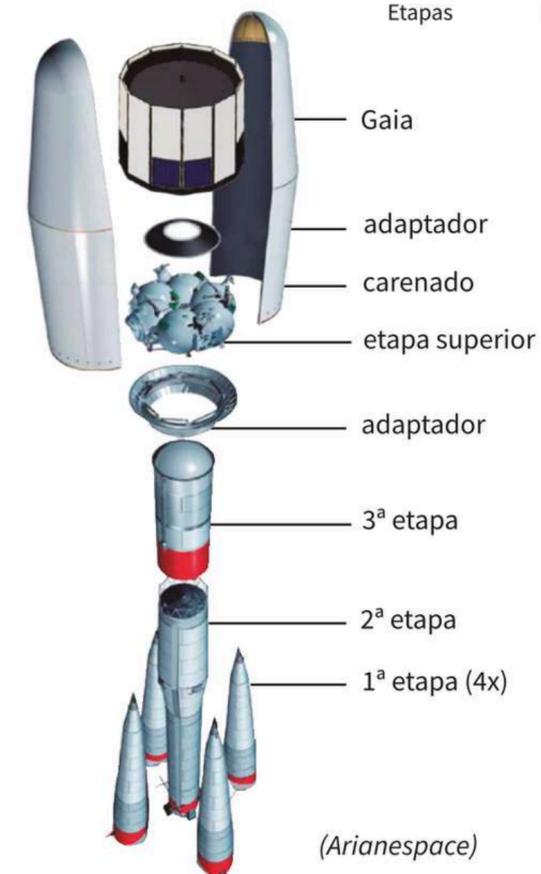


La órbita alrededor de L2

L2 es uno de los puntos estables en el sistema gravitatorio Sol - Tierra. Además de Gaia, satélites como Plank y Herschel orbitan alrededor de L2.

El lanzador Soyuz-Fregat

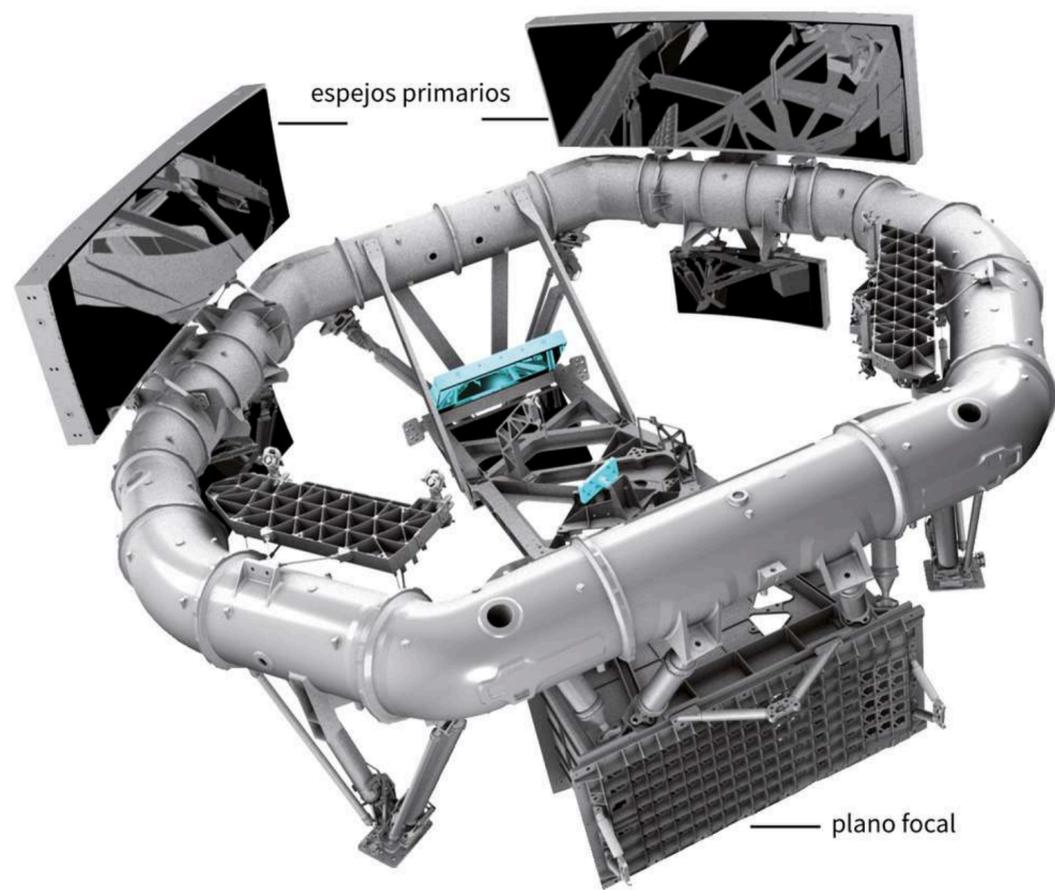
Longitud	46,2 m
Diámetro	10,3 m
Masa	308 toneladas
Combustible	queroseno, oxígeno líquido
Etapas	3+ etapa superior Fregat



(Arianespace)

Una máquina de descubrimientos

Gaia es uno de los instrumentos más precisos y tecnológicamente avanzados que se han construido nunca.



Módulo de carga (ESA)

La fuente de energía de Gaia

Los paneles solares generan la energía que Gaia necesita. Están situados sobre el parasol, que tiene la función de hacer sombra al módulo central del satélite, manteniéndolo a una temperatura estable de aproximadamente -110 °C.

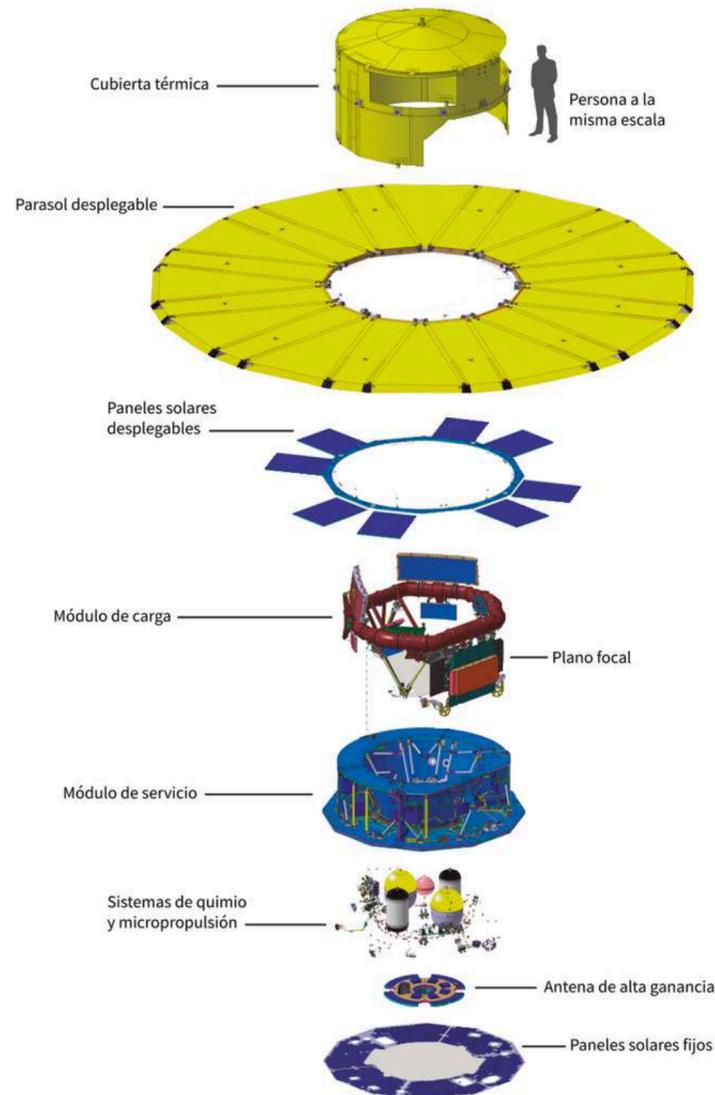


Diagrama de Gaia (ASTRIUM)

Los telescopios

Gaia tiene dos telescopios que envían la luz a un único plano focal, donde se registran las imágenes de los objetos observados.

La forma de los espejos se ha pulido con una precisión de unas pocas milésimas de milímetro.



ESA / EADS Astrium / Safran-Sagem

¿De qué está hecho Gaia?

La estructura y los espejos de Gaia están hechos de carburo de silicio, un material muy resistente y casi tan duro como el diamante, pero a la vez muy ligero.

Gaia en cifras

Masa	2.030 kg
Dimensiones	
Diámetro del parasol	11 m
Diámetro de la cubierta térmica	3 m
Altura de la cubierta térmica	2 m
Número de telescopios	2
Distancia focal de los telescopios	35 m
Tamaño de los espejos primarios	1,45 m × 0,5 m
Número total de espejos	10
Consumo energético	1720 W
Vida útil	~10 años
Coste	700 millones de €

¿Sabías que Gaia consume sólo un poco más que un lavaplatos?

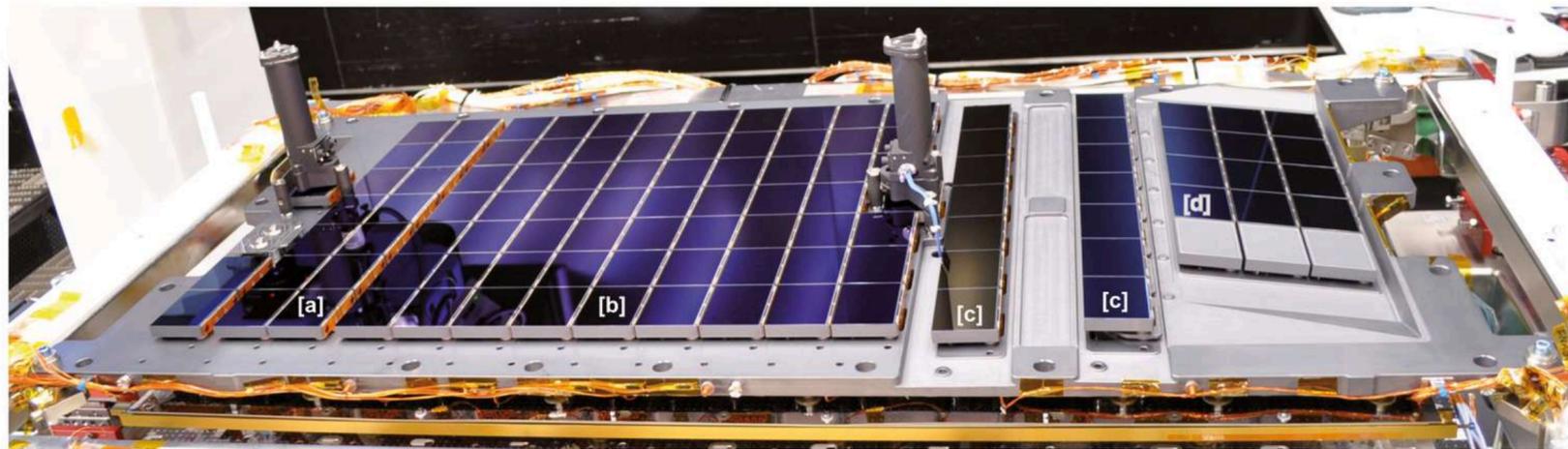


ESA (C. Carreau)

Los ojos de Gaia

Los chips registran las imágenes como lo harían cámaras digitales con un total de mil millones de píxeles. Es el plano focal más grande construido para operar en el espacio.

La luz de las estrellas y galaxias incide en los 106 chips del plano focal



Plano focal con todas las CCD's. (Astrium SAS)

[a] Chips para detectar los objetos celestes.

[b] Chips para la medida de la posición y el brillo de los objetos.

[c] Chips detrás de dos prismas azul y rojo.

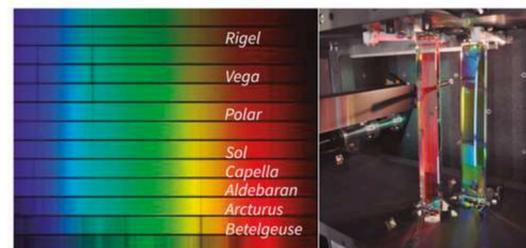
[d] Chips detrás del espectrógrafo, un conjunto de prismas que descompone la luz con mucho detalle.



Dispersión de la luz

Cuando la luz pasa por un prisma se dispersa en colores como el arco iris.

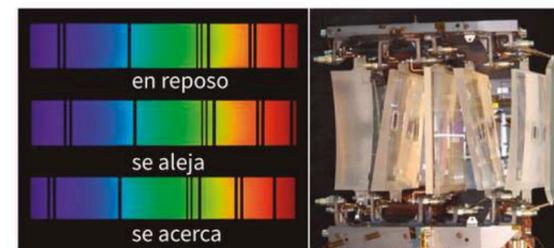
El contraste de colores y las líneas oscuras (por falta de luz) permiten saber qué tipo de estrella o galaxia observamos.



Prismas

Astrium

La posición de las líneas oscuras permiten deducir a qué velocidad se acerca o se aleja una estrella.



Espectrógrafo



Astrium

El montaje

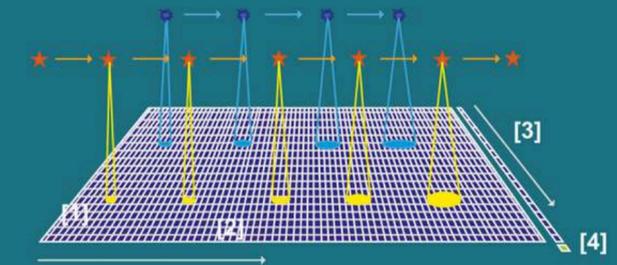
Colocación precisa de los chips por expertos ingenieros. El conjunto ocupa 104 cm x 42 cm. El montaje duró más de un año.

¿Cómo funciona un chip de Gaia?

A diferencia de las cámaras fotográficas digitales, los píxeles se llenan y se vacían continuamente, sincronizados con el movimiento de las estrellas sobre el plano focal.

[1] En los píxeles se acumulan electrones, más cuanto más luz llega. Son, pues, contadores de luz.

[2] La imagen se desplaza a los píxeles contiguos al mismo ritmo que la estrella se mueve sobre el chip. El tiempo de exposición aumenta y la imagen se va haciendo más intensa.



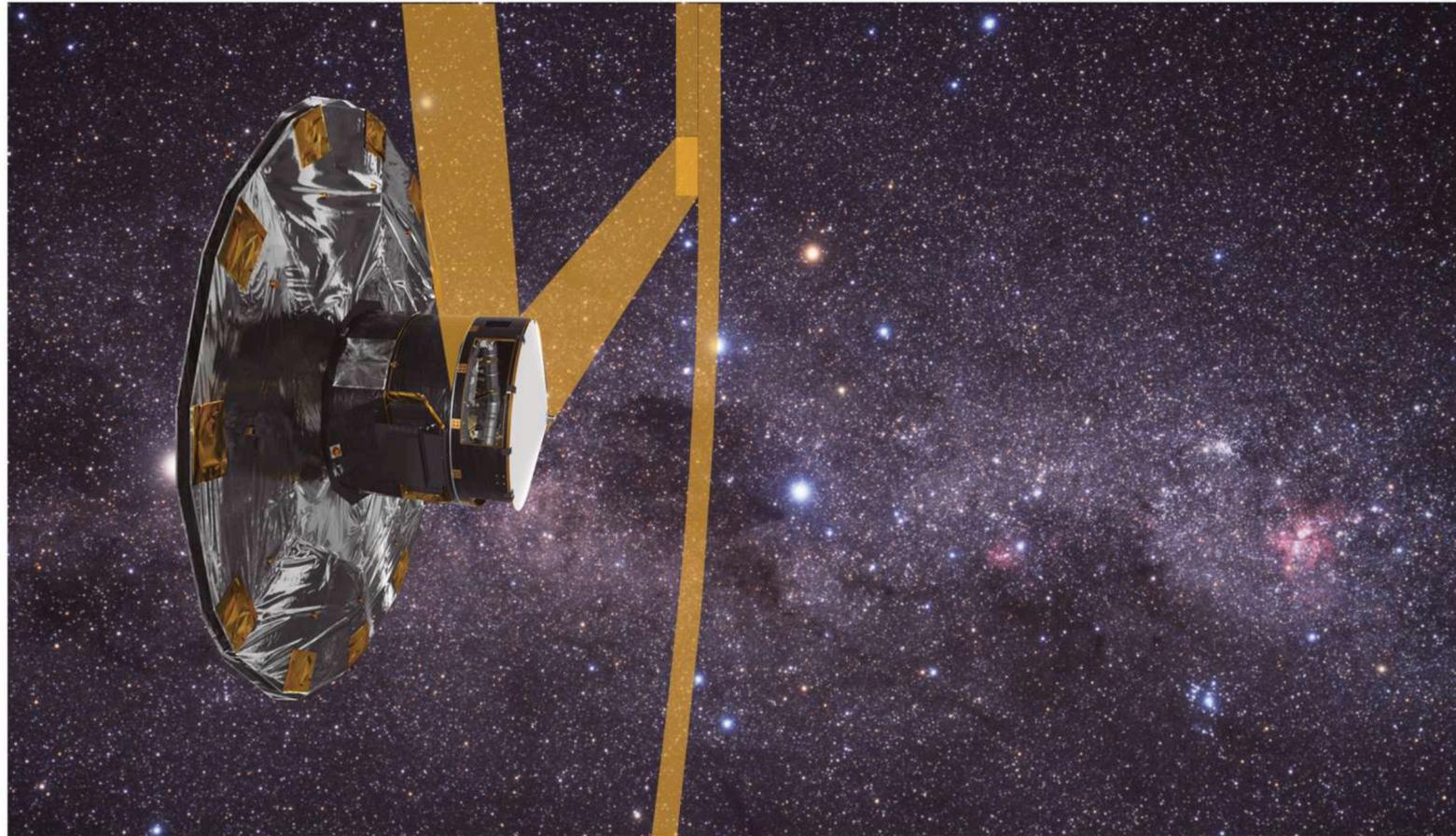
[3] En estos píxeles no expuestos a la luz, la imagen se desplaza perpendicularmente hacia el píxel lector.

[4] El píxel lector: el número de electrones acumulados se convierte a un número digital que se almacena en memoria para enviarlo a Tierra posteriormente.

¿Sabes la temperatura de los chips?
¡Los chips trabajan a -110°C y producen el calor de 30 neveras!

Modo de observación

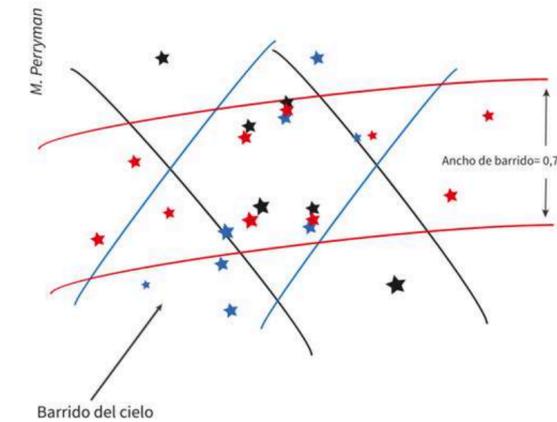
En seis horas los dos telescopios de Gaia barren un gran círculo en el cielo y hacen 10 millones de observaciones.



La Galaxia (A. Fujii, Telescopio espacial Hubble) - Gaia (ESA y ATG medialab)

Los cálculos

En la figura se ven, en tres colores, observaciones hechas en días diferentes. Hace falta combinar todas las observaciones de una estrella para calcular con precisión su posición y su movimiento.

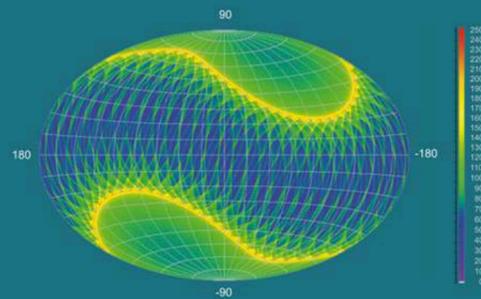


1. Identificación de las observaciones de un mismo objeto.
2. Determinación de las características del instrumento.
3. Resolución de las posiciones de los objetos.
4. Se añaden más observaciones.
5. Repetición del proceso.

Pasos del procesamiento de los datos

Cubriendo el cielo

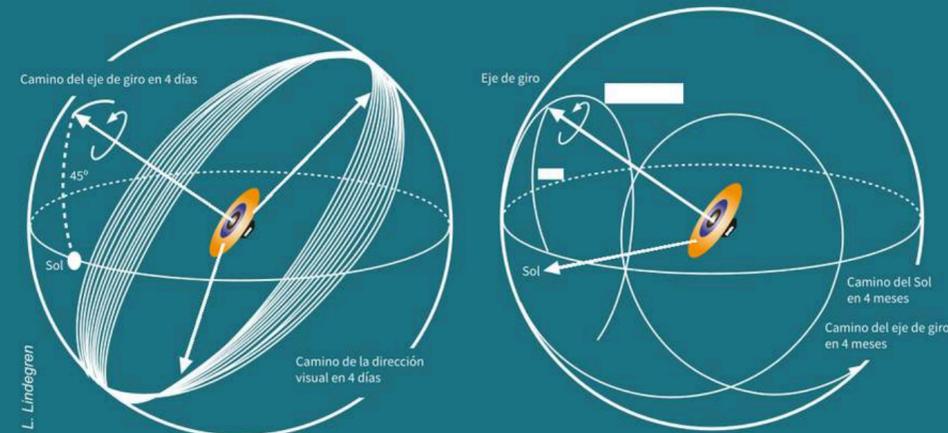
Gaia mide los ángulos entre estrellas separadas unos 106 grados. El círculo de barrido cambia poco a poco y combinando observaciones de muchos días podemos calcular las posiciones y movimientos de las estrellas. En cinco años, Gaia observa todo el cielo unas 70 veces.



Número de observaciones por objeto en 5 años
B. Holl

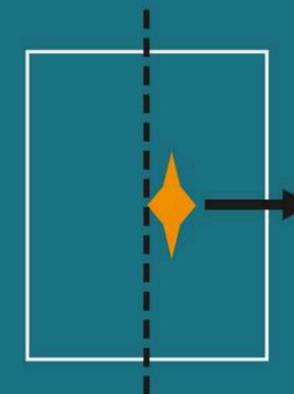
El movimiento de Gaia

Gaia gira una vez cada seis horas sobre sí mismo. A la vez el eje de rotación se mueve alrededor del Sol formando siempre un ángulo de 45°. La combinación de estos movimientos permite que Gaia observe todo el cielo.



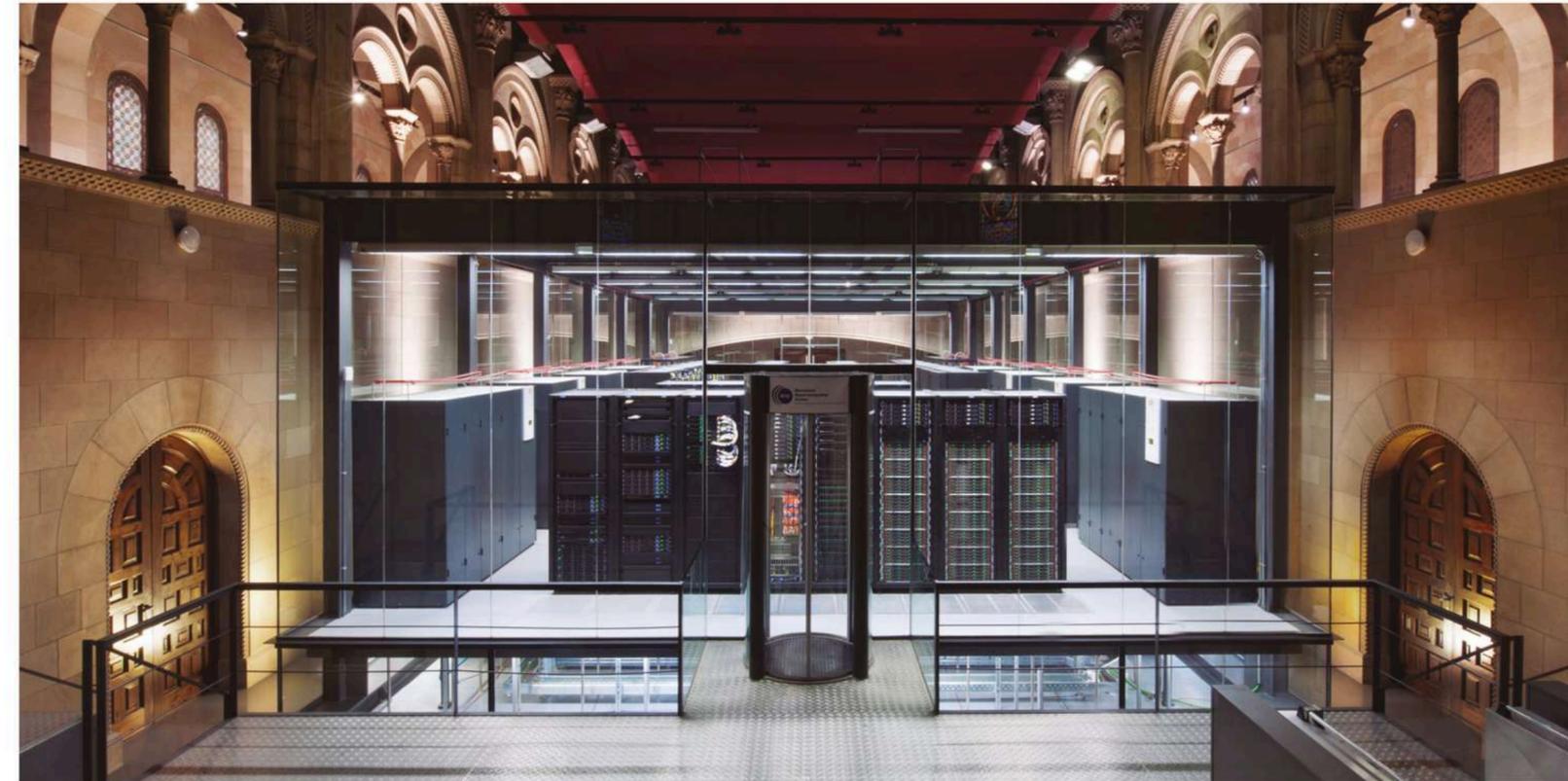
El dato fundamental

El dato fundamental que Gaia necesita para obtener la posición de una estrella es el instante de tiempo en que la estrella pasa por un chip.



La Galaxia en un petabyte

El procesamiento de datos transforma las imágenes de estrellas adquiridas por el satélite en datos de interés científico.



Barcelona Supercomputing Center (Centro Nacional de Supercomputación)

¿Sabías que un petabyte es el equivalente a lo que ocuparía la vida de una persona que viviese más de 200 años grabada en alta definición?

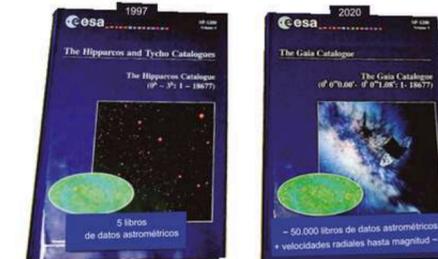
Centros de procesamiento de datos



El consorcio responsable del tratamiento y análisis de datos está formado por seis centros de procesamiento y 400 científicos e ingenieros de una quincena de países europeos.

Volumen de datos

- 8 Mbps - ocho horas al día
- 60 GB diarios - 600 millones de imágenes
- 100 TB de datos durante los 5 años de misión (más de 1 billón de imágenes recibidas)
- 1 PB al final de la misión, considerando telemetría más datos finales.



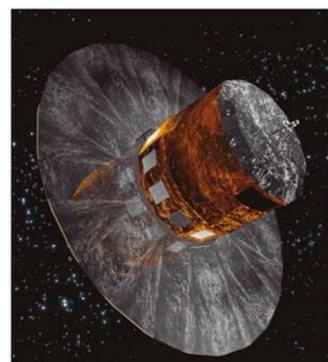
Cadena de procesamiento

La precisión de microsegundos de arco en los datos finales y el gran volumen de datos generado durante los cinco años de misión requieren un conjunto de programas y soluciones de supercomputación muy complejos

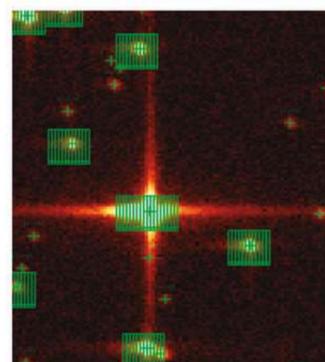
Las imágenes obtenidas diariamente son procesadas de una manera preliminar en menos de 24 horas. Cada seis meses

todos los datos acumulados se reprocesan iterativamente, mejorando los resultados.

Si se tardase un segundo en procesar cada imagen recibida, el catálogo final no estaría listo hasta dentro de unos 31 000 años. La fecha estimada de publicación de este catálogo está prevista para el 2026.



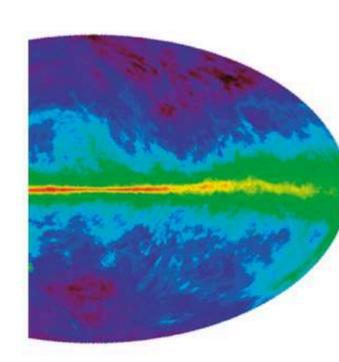
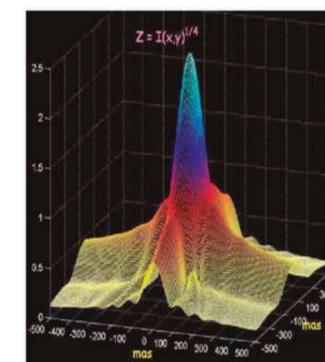
ESA (C.Carreau)



ESA - Cebreros



BSC-CNS



Las estrellas son los ladrillos de las galaxias

Las estrellas, de las más jóvenes a las más viejas, son el constituyente más importantes de las galaxias.

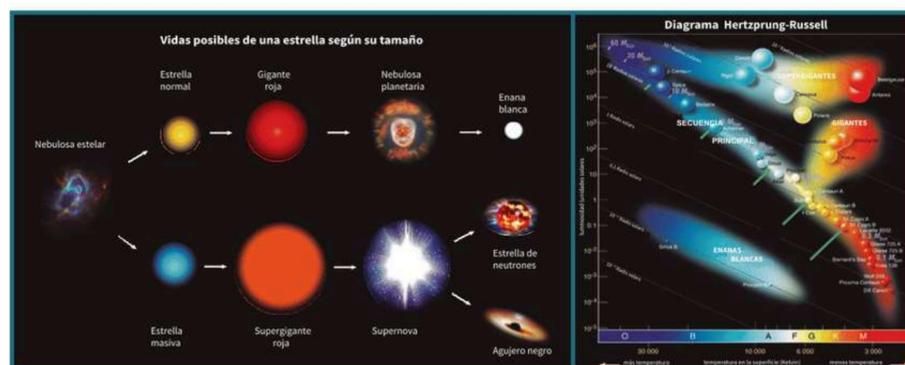
¿Cómo obtenemos su brillo?

Conociendo la distancia a la que está la estrella (a partir de su paralaje) y midiendo su brillo aparente (la luz que recibimos de la estrella) podemos saber cual es el brillo real de la estrella.



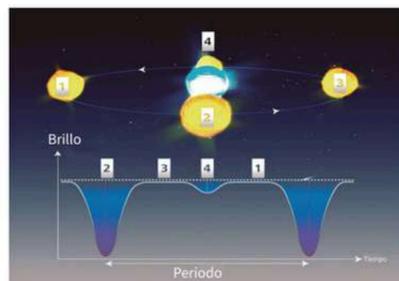
Una estrella con el mismo brillo real que otra pero más cercana parece que brille más.

La evolución de las estrellas



El diagrama Hertzsprung-Russell relaciona el brillo de cada estrella con su color y su temperatura. Representa la foto familiar de las estrellas. La posición de una estrella en el diagrama nos permite conocer su estado evolutivo y su historia pasada y futura.

Estrellas binarias



Gaia puede "pesar" las estrellas que viven en parejas: la gravedad que las mantiene atadas define la órbita que observamos visualmente. Cuando las estrellas se eclipsan mutuamente, la duración de los eclipses nos permite deducir el tamaño de las estrellas.

¿Sabías que Gaia proporcionará la edad, la temperatura, la masa y la composición química de casi el 1% de las estrellas de la Galaxia?



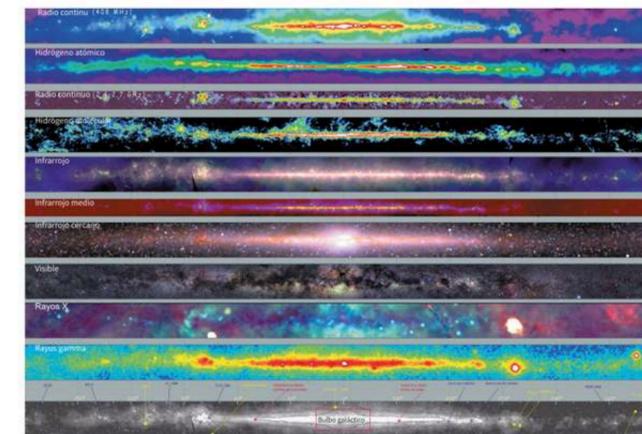
La Vía Láctea. En el centro la constelación del Centauro.

Nuestra Galaxia

Gas, polvo, materia oscura y 100.000.000.000 de estrellas

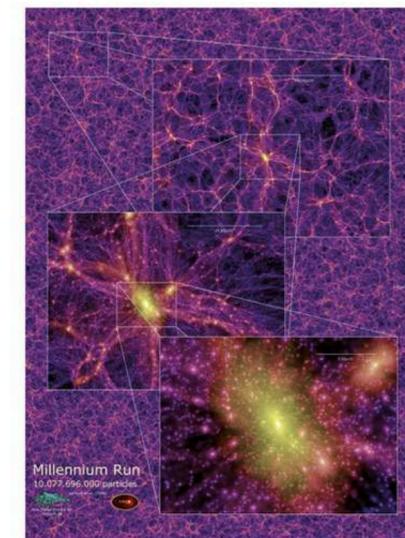
Una visión de conjunto

Hemos conseguido fotografiar el disco de nuestra galaxia en todo el espectro electromagnético. Las ondas radio (arriba) nos muestran el gas, las de infrarrojo (en medio) el polvo y los rayos gamma (abajo) los procesos más violentos de la formación estelar. Gaia aporta una mirada profunda en el visible, donde domina la luz de las estrellas.



El disco galáctico a diferentes longitudes de onda. (NASA)

¿Cómo se forman las galaxias?



Gaia nos permite determinar la edad de las estrellas y los elementos químicos que las forman. Esto nos debe servir para averiguar como se formó nuestra galaxia hace cerca de 13 mil millones de años.

La llamada Simulación del Milenio intenta modelar la distribución de materia oscura del Universo, desde el inicio hasta el momento actual. De acuerdo con los modelos aceptados hoy en día las galaxias como la nuestra se formarían a partir de condensaciones como la observada en la figura.

¿Cómo gira todo?

Todavía no sabemos si nuestra galaxia tiene dos o cuatro brazos espirales y tampoco cómo reaccionan las estrellas al cruzarlos. El movimiento de las estrellas situadas a miles de años luz del Sol permitirá conocer como se han formado y como giran los brazos espirales.

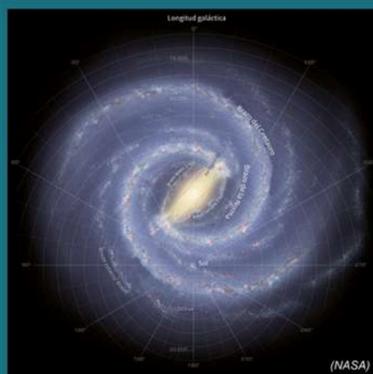
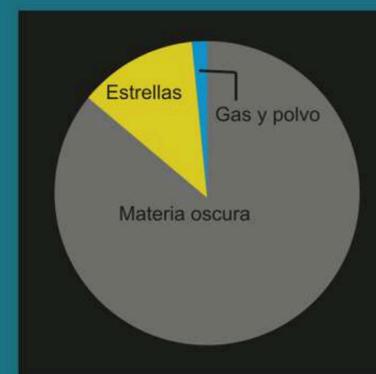


Ilustración artística del disco de nuestra galaxia. (NASA)

El Sol está a unos 27 000 años luz del centro donde se encuentra un agujero negro con una masa tres millones de veces la masa del Sol.

Materia oscura

Gracias a Gaia podremos estudiar como está repartida la materia oscura, esta sustancia desconocida que mantiene a la Galaxia unida.



Si la materia oscura no existe, quizá se deba cambiar la ley de la gravedad. El movimiento de las estrellas vuelve a ser la clave.

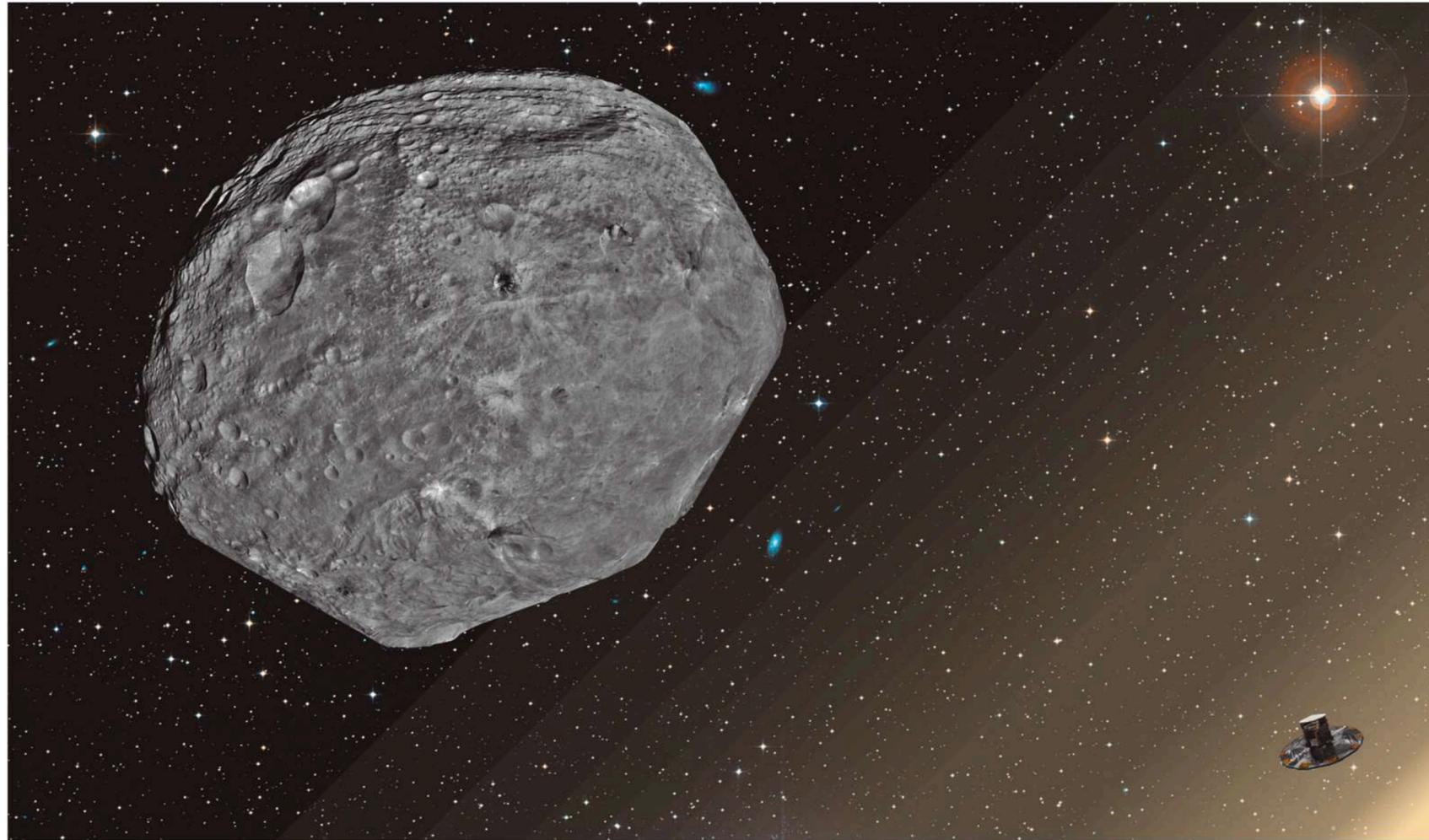
Vera Rubin

Descubridora de la materia oscura.



Montañas que vuelan y otros mundos

Gaia puede determinar la órbita de más de 200 000 asteroides y detectar un millar de objetos con órbitas próximas a la Tierra.



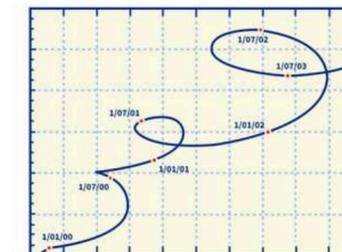
Asteroide Vesta, 575 km de longitud (Sonda Dawn, NASA) - fondo (ESO/Digitized Sky Survey 2)

Planetas extrasolares

Se han descubierto cerca de un millar de planetas alrededor de otras estrellas. Gaia puede detectar cerca de 5.000 nuevos planetas con el método fotométrico y 2.000 más con el método astrométrico.

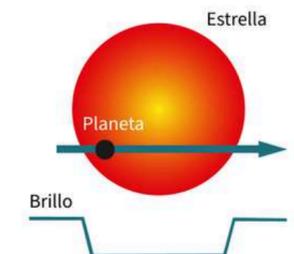
Método astrométrico

La pequeña atracción gravitatoria del planeta sobre la estrella perturba su movimiento en el cielo. Gaia es capaz de detectar estas pequeñas perturbaciones.



Método fotométrico

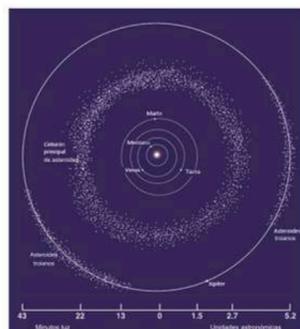
La disminución de brillo de la estrella cuando el planeta pasa entre ella y nosotros permite detectarlo.



¿Sabías que...
el 15 de febrero de 2013 impactó en Chelyabinsk (Rusia) un meteorito y provocó una explosión 30 veces superior a la bomba atómica de Hiroshima?

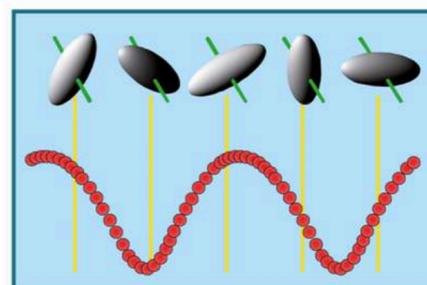
Asteroides

Los asteroides son pequeños cuerpos del Sistema Solar situados en su mayoría entre las órbitas de Marte y de Júpiter. Son detectables gracias a su gran movimiento aparente.



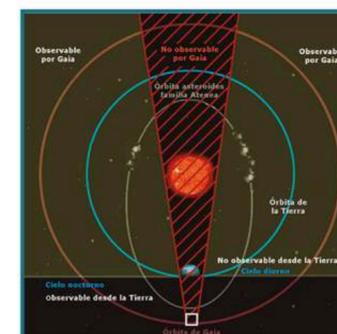
¿Qué forma tienen?

Su brillo cambia cuando giran, lo que permite deducir su forma y su periodo de rotación. Con sus espectros podemos conocer su composición química.



¡Atención, peligro!

Gracias a Gaia se pueden observar miles de objetos potencialmente peligrosos que no pueden observarse desde la Tierra.



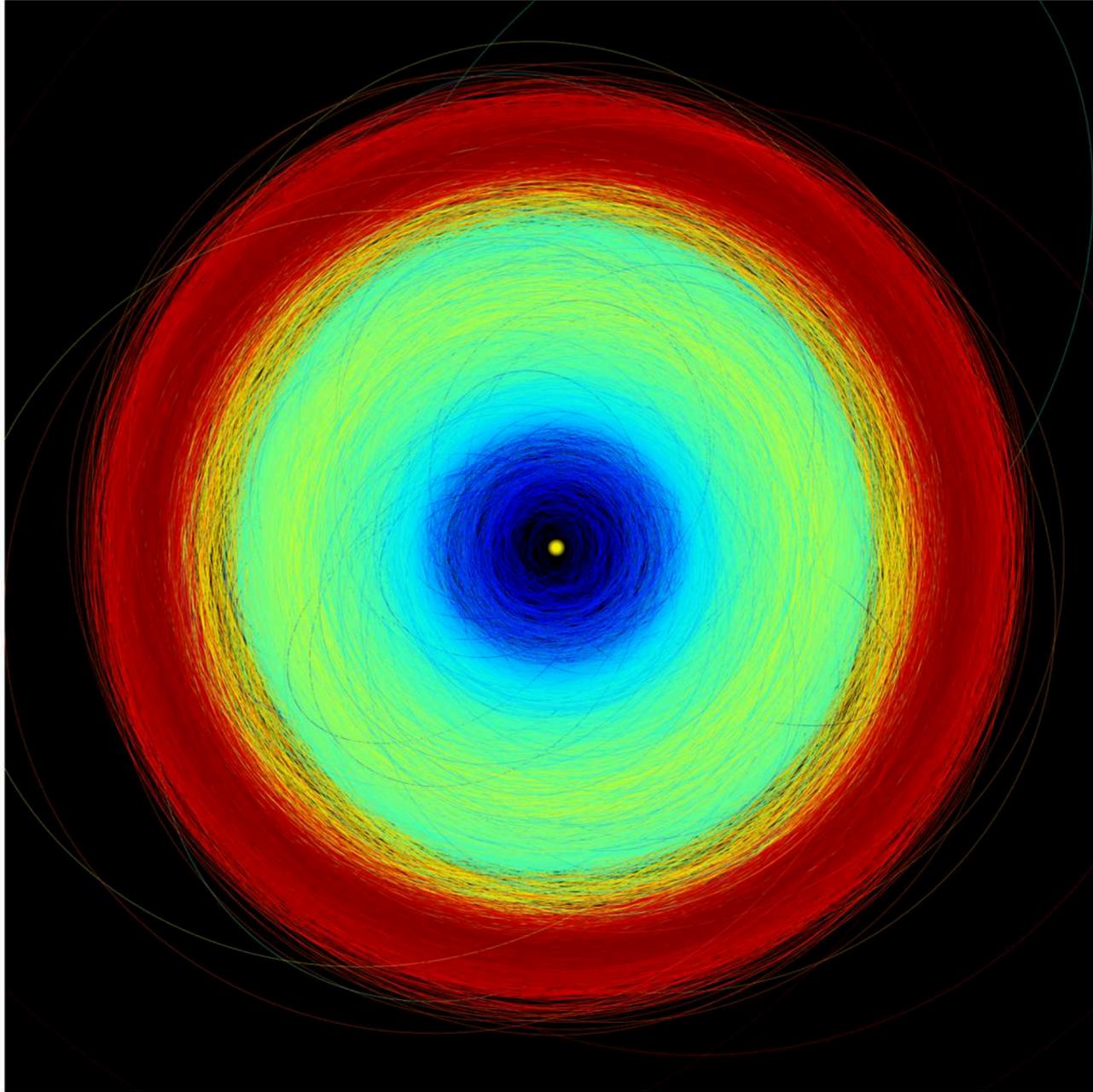
ESA - Medialab

Más allá de Neptuno

Tan solo un centenar de objetos transneptunianos son lo bastante brillantes como para ser detectados con Gaia.

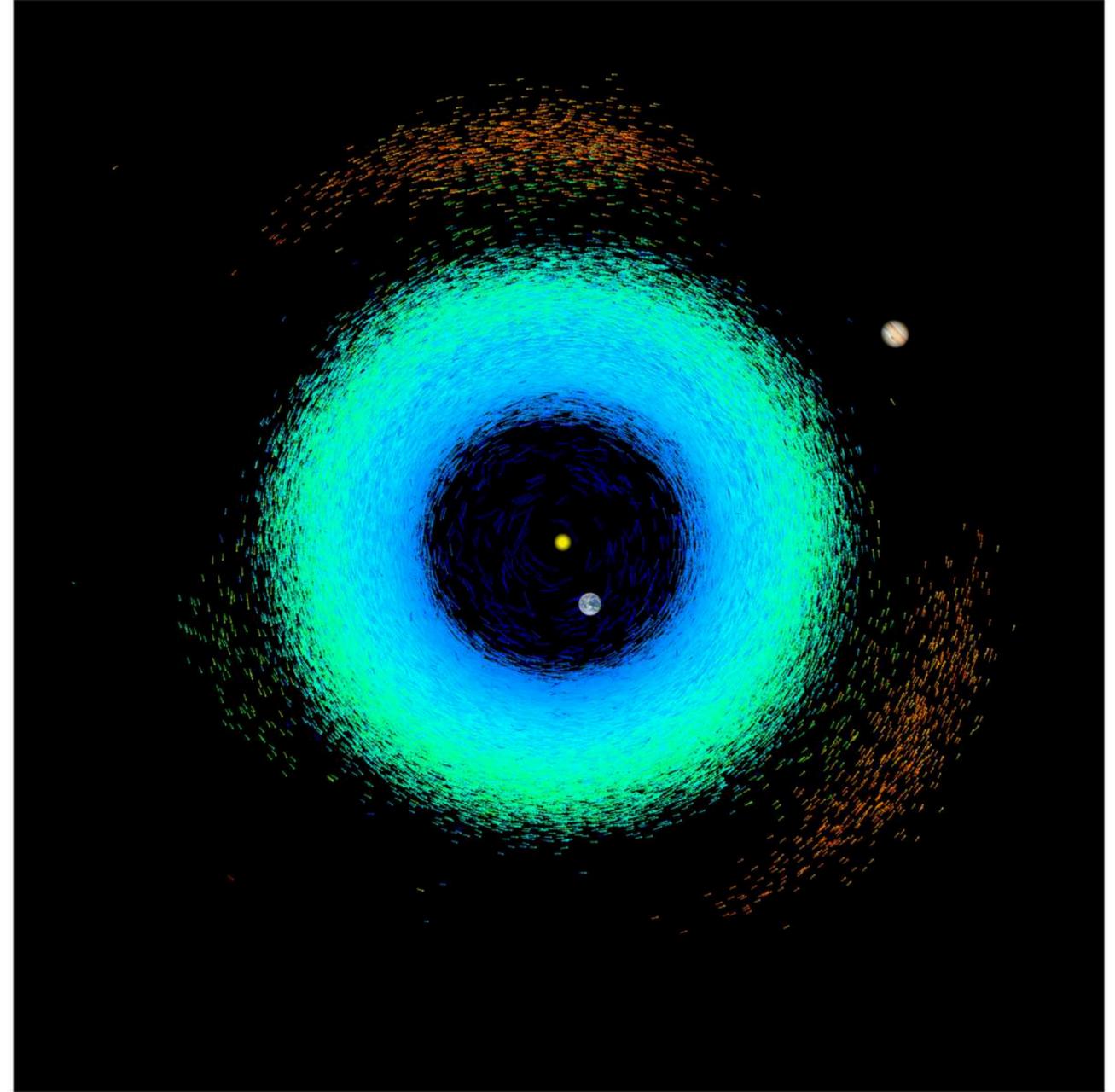


Asteroides



Los asteroides detectados y analizados por Gaia han incrementado considerablemente al aumentar el número de órbitas efectuadas.

A la derecha se representa la posición de cada asteroide a las 12:00 CEST del 13 de junio de 2022. Cada asteroide es un segmento que representa su movimiento a lo largo de 10 días. Los cuerpos interiores se mueven más rápido alrededor del Sol (círculo amarillo en el centro). El azul representa la parte interior del Sistema Solar.



El Cinturón Principal, entre Marte y Júpiter, es verde. Las dos nubes naranjas corresponden a los asteroides troyanos de Júpiter.

La imagen de la izquierda muestra las órbitas de los más de 150.000 asteroides de Gaia DR3 desde las partes internas del Sistema Solar hasta los asteroides troyanos a la distancia de Júpiter, con los mismos códigos de color.

Más allá de la Galaxia

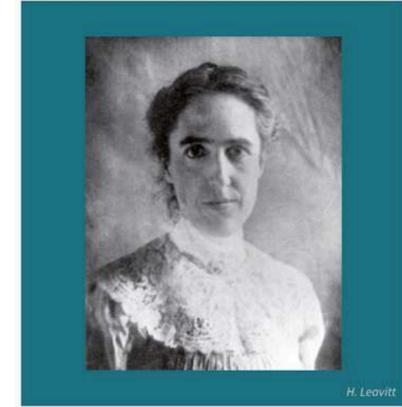
Fuera de nuestra Galaxia, Gaia observa desde estrellas individuales en las galaxias más cercanas hasta los objetos más lejanos y más antiguos que se conocen, los quásares y las galaxias primigenias.



Galaxia de Andrómeda (Jason Ware)

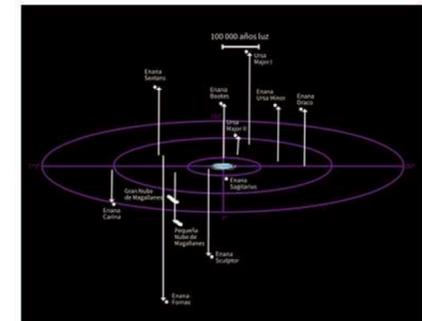
Las Cefeidas y la escala de distancias

Las estrellas Cefeidas son un tipo especial de estrella que permite, indirectamente, conocer la distancia a otras galaxias. Gaia puede observar muchas permitiendo conocer la escala de distancias del Universo. Este método fue descubierto por H. Leavitt en 1912.



Galaxias satélite

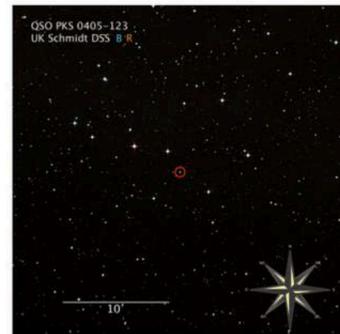
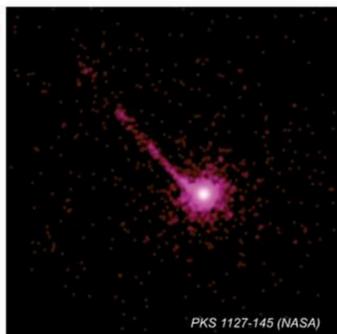
A principios del 2013 se conocían una quincena de galaxias satélite de la nuestra. Gaia puede descubrir muchas más.



El espacio profundo

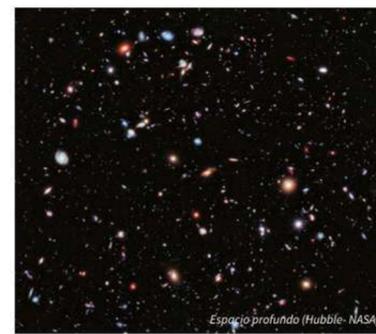
En los límites del universo visible observamos las galaxias en sus primeros estadios de evolución. Algunas, en su centro, contienen unos objetos muy brillantes llamados quásares.

Gaia también permite conocer las características generales de galaxias demasiado alejadas como para distinguir sus estrellas individuales.



Galaxias lejanas

Gaia utiliza estos objetos tan lejanos, que parecen estar inmóviles, como referencia para detectar los movimientos de objetos más cercanos. Para Gaia, los quásares marcan los puntos cardinales del universo.



Andrómeda y las Nubes de Magallanes

De la vecina galaxia de Andrómeda y de las Nubes de Magallanes (satélites de la Galaxia), Gaia puede determinar la distancia y la distribución de materia oscura.



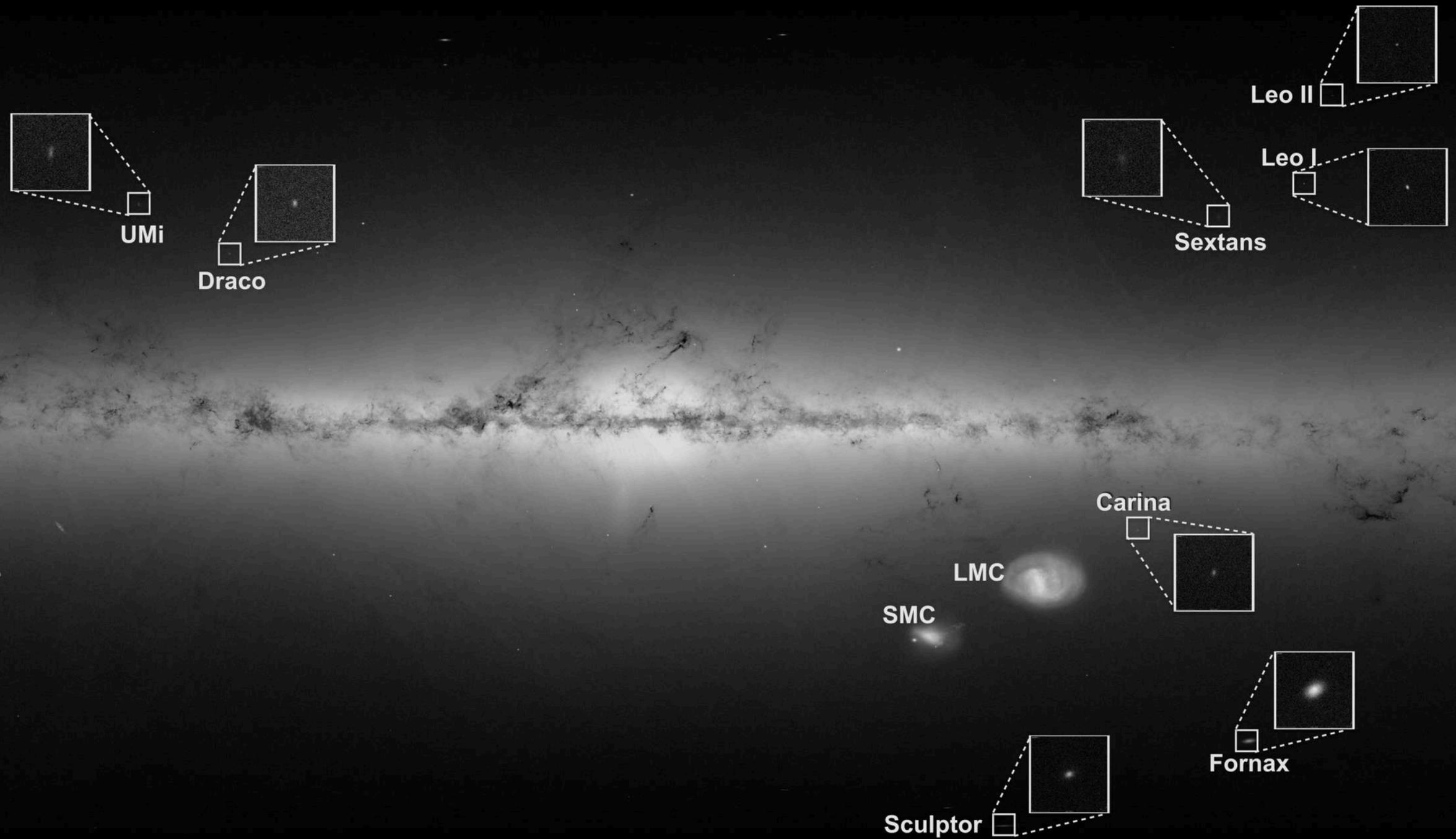
La Gran Nube de Magallanes

La Gran Nube de Magallanes (LMC), una de las galaxias más cercanas a la Vía Láctea, vista por el satélite Gaia de la ESA utilizando información de Gaia DR2.



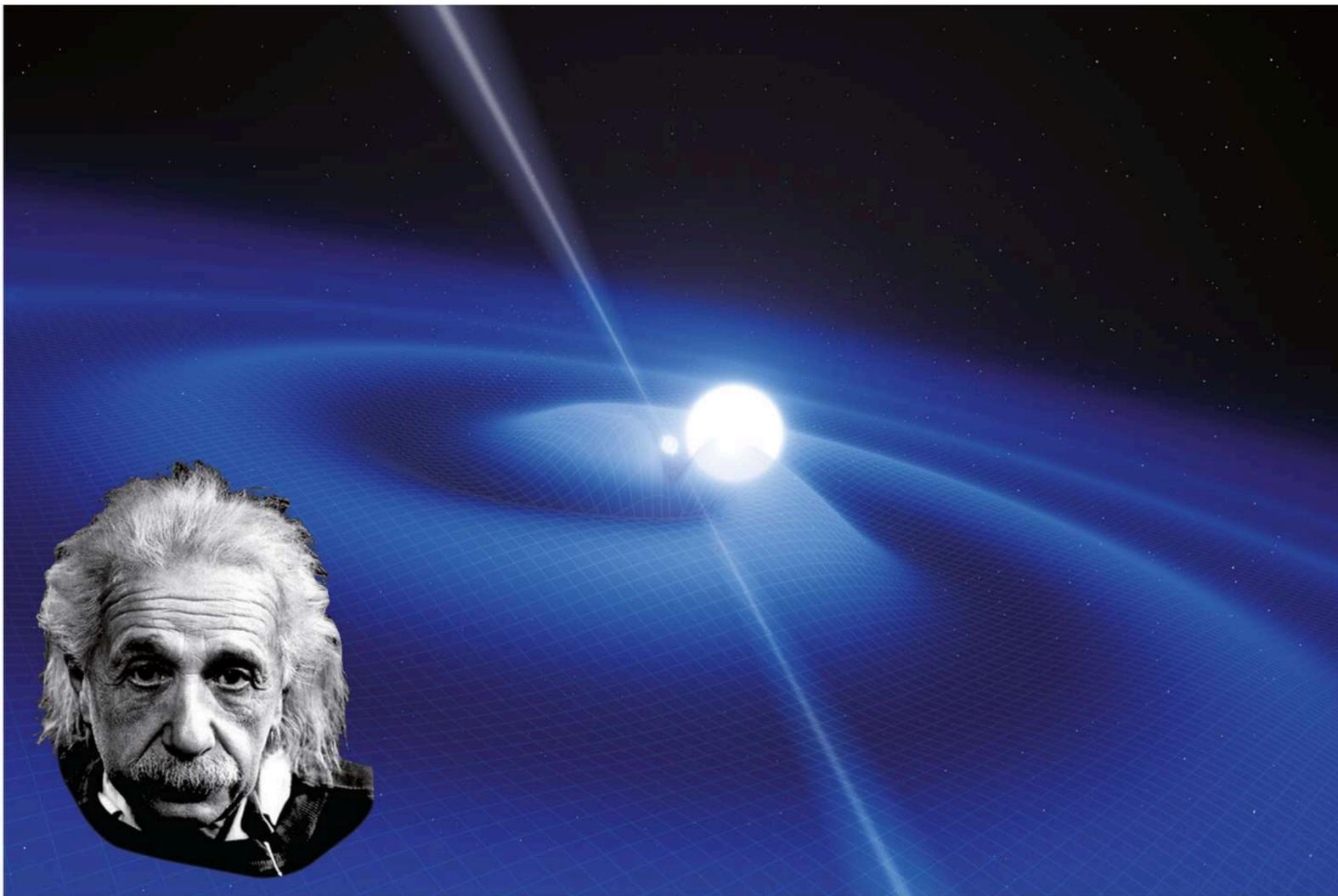
Galaxias enanas

La Vía Láctea, está rodeada por unas cincuenta galaxias satélites. La mayoría de estas galaxias sólo son identificables a través de telescopios y han recibido el nombre de la constelación en la que aparecen en el cielo (por ejemplo, Draco, Sculptor o Leo). Sin embargo, las dos galaxias cercanas más conspicuas se denominan Gran Nube de Magallanes (LMC) y Pequeña Nube de Magallanes (SMC), y son fácilmente visibles a simple vista. Tradicionalmente, estas galaxias se han considerado que estaban orbitando alrededor de la Vía Láctea desde hace miles de millones de años. Ahora, sin embargo, los nuevos datos de Gaia han demostrado que la mayoría de estas galaxias están pasando por la cercanía de la Vía Láctea por primera vez.



Un laboratorio de física fundamental

Las observaciones de Gaia permiten verificar la teoría de la relatividad general en detalle. La comparación entre sus predicciones y las observaciones de Gaia será un test muy exigente para esta teoría.

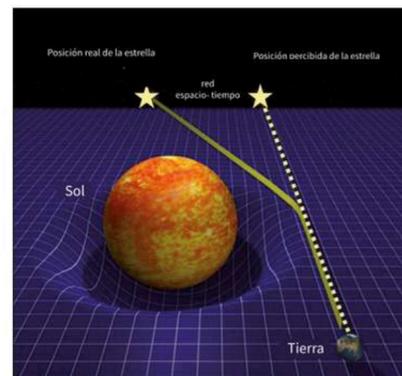


Versión artística del púlsar PSR J0348 0432 y su enana blanca (ESO / L. Calçada)

Las observaciones: un reto relativista

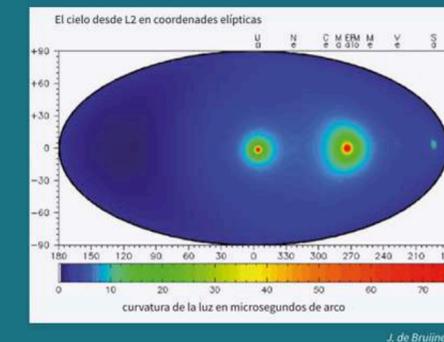
El efecto de la gravedad del Sol y los planetas hace que la luz no viaje en línea recta sino que siga una trayectoria curva.

Este es un efecto pequeño pero la gran precisión de las observaciones de Gaia hace que se deba tener en cuenta. Ha sido necesario desarrollar un modelo basado en la teoría de la relatividad para predecirlo con una precisión mejor que un milisegundo de arco.



Verificando la teoría de la relatividad

El modelo relativista de Gaia está caracterizado por un parámetro llamado γ . Si Einstein tiene razón, su valor es 1 y Gaia lo puede verificar con una precisión de una parte entre diez millones.



Verificando la constancia de G

La constante de la gravitación G que aparece en las fórmulas de la fuerza de la gravedad formulada por Newton, ¿es realmente constante? Esta es la hipótesis habitual. Gaia puede verificar, con las observaciones de asteroides y enanas blancas, si a lo largo de la historia del universo este parámetro ha variado su valor.

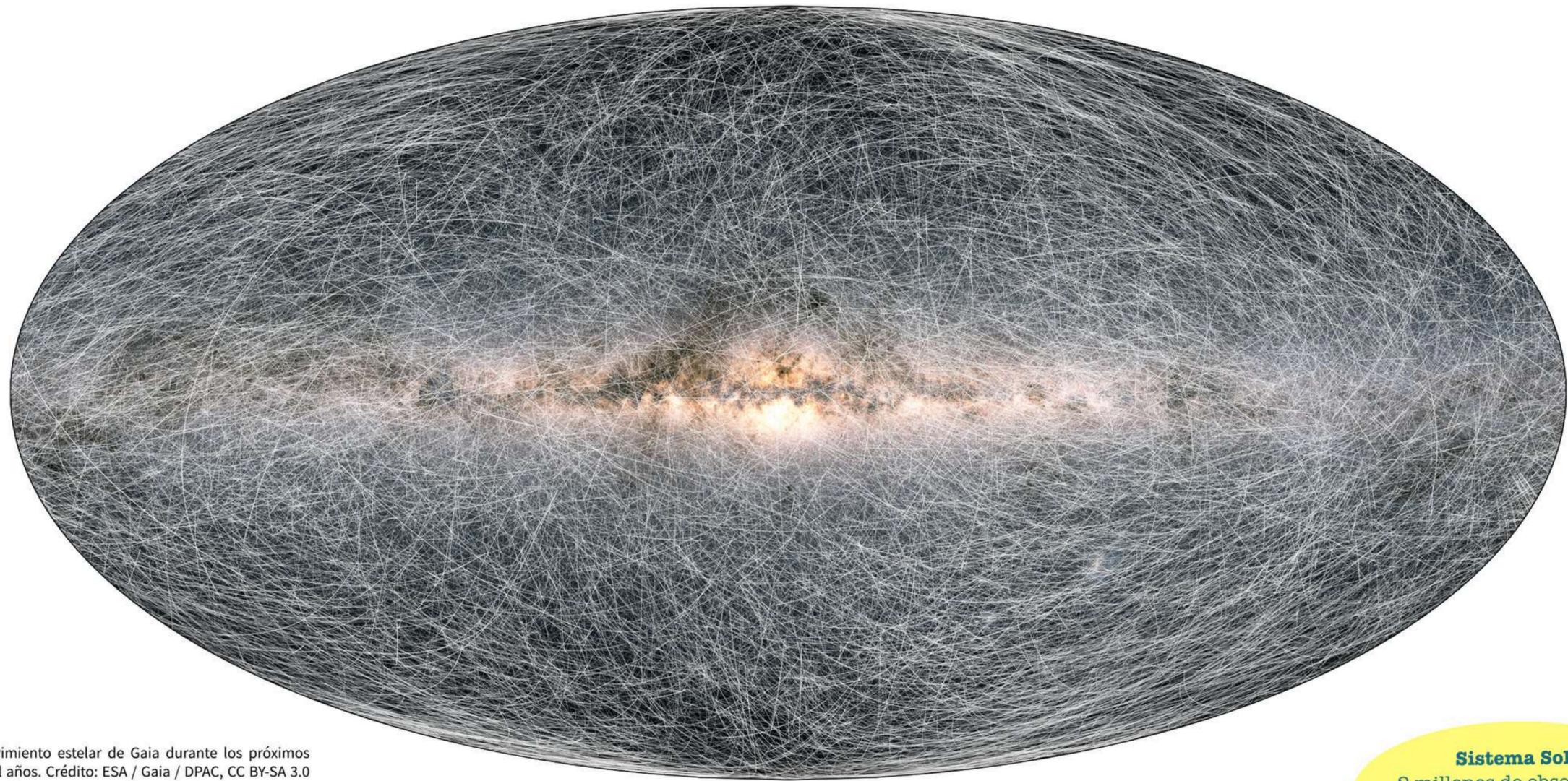
$$F = -G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$



Versión artística del sistema binario NLTT 11748 formado por dos enanas blancas.

Los primeros 34 meses: una cartografía de la Galaxia y del Sistema Solar

El 3 de diciembre de 2020 la Agencia Espacial Europea publica la tercera entrega de datos de la misión Gaia. El catálogo de estrellas más extenso y preciso elaborado hasta la fecha, donde se revelan los secretos de la Vía Láctea.



El movimiento estelar de Gaia durante los próximos 400 mil años. Crédito: ESA / Gaia / DPAC, CC BY-SA 3.0 UP. Agradecimiento: A. Brown, S. Jordan, T. Roegiers, X. Luri, E. Masana, T. Prusti y A. Moitinho

La misión Gaia

El satélite Gaia de la Agencia Espacial Europea empezó la cartografiar el cielo en julio de 2014. Los datos obtenidos hasta mayo de 2017, que incluyen 34 meses de la misión, han permitido elaborar un catálogo que cubre el cielo en su totalidad.

Acceso a los datos de Gaia

El archivo de datos de Gaia:
<http://archives.esac.esa.int/gaia/>

Más información sobre Gaia:
<http://sci.esa.int/gaia/>



Estrellas

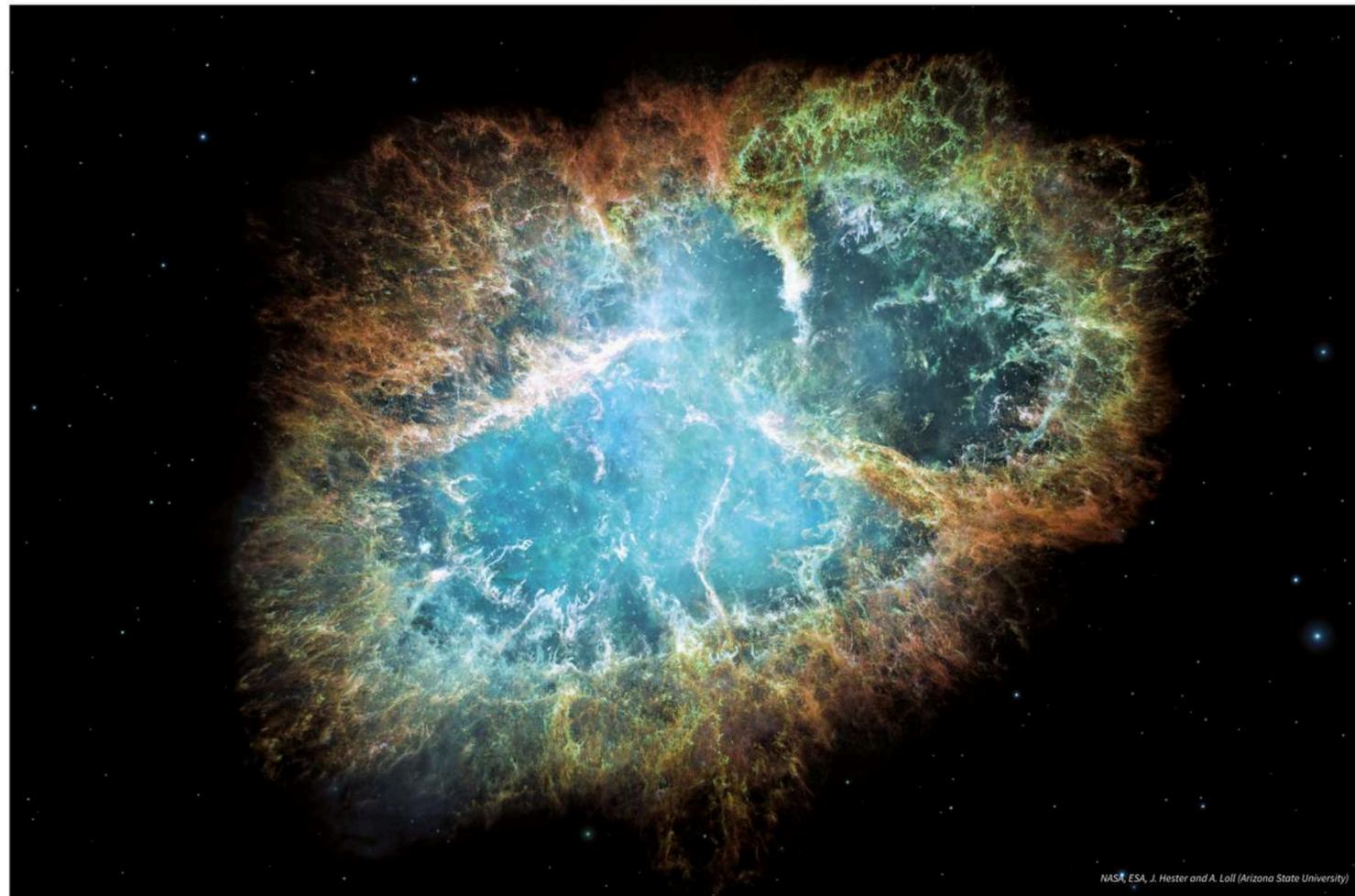
1.800 millones de posiciones y magnitudes
21.500 millones de movimientos propios y distancias
1.500 millones de colores
7 millones de velocidades radiales
161 millones de temperaturas
550 miles de curvas de luz

Sistema Solar

2 millones de observaciones
de 14.000 asteroides

Participa en Gaia

Con tu ayuda la misión Gaia puede ser todavía más útil.



M1, la nebulosa del Cangrejo, es el remanente de una supernova que estalló el año 1054. La detección de una supernova es posible gracias al aumento del brillo que experimenta al estallar y que puede llegar a superar 100.000 veces el brillo original.

Alertas científicas

Como Gaia observa el cielo continuamente, es capaz de detectar si de repente uno de los objetos observados ha aumentado mucho de brillo. Eso puede indicar, por ejemplo que una estrella ha explotado como supernova o que el núcleo de una galaxia ha entrado en un periodo de actividad.

Si tienes un telescopio puedes observar las alertas de Gaia y ayudar a los astrónomos a averiguar más cosas sobre ellas.

<https://gaia.ac.uk/alerts>



El Observatorio del Montsec (Sant Esteve de la Sarga, Lleida) contribuye a las observaciones de las alertas científicas de Gaia.

Servicio de observación de asteroides desde la Tierra



Gaia es capaz de descubrir y estudiar muchos asteroides. Pero para conocer mejor la forma que tienen son necesarias observaciones desde la Tierra. Estudiando como cambia la cantidad de luz que recibimos a medida que giran sobre ellos mismos, podemos obtener un modelo en 3D.

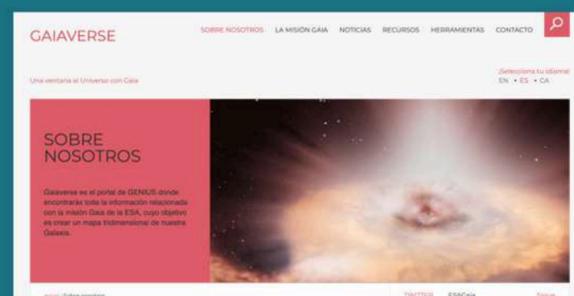
Con tu telescopio puedes contribuir al proyecto GOSA enviando tus observaciones de asteroides.

www.gaiagosa.eu

Gaiaverse

Gaiaverse es el portal web de divulgación de la misión Gaia. Encontrarás toda la información de la misión, los recursos visuales más atractivos para entenderla y las últimas noticias sobre los descubrimientos que Gaia va haciendo.

<http://gaiaverse.eu>



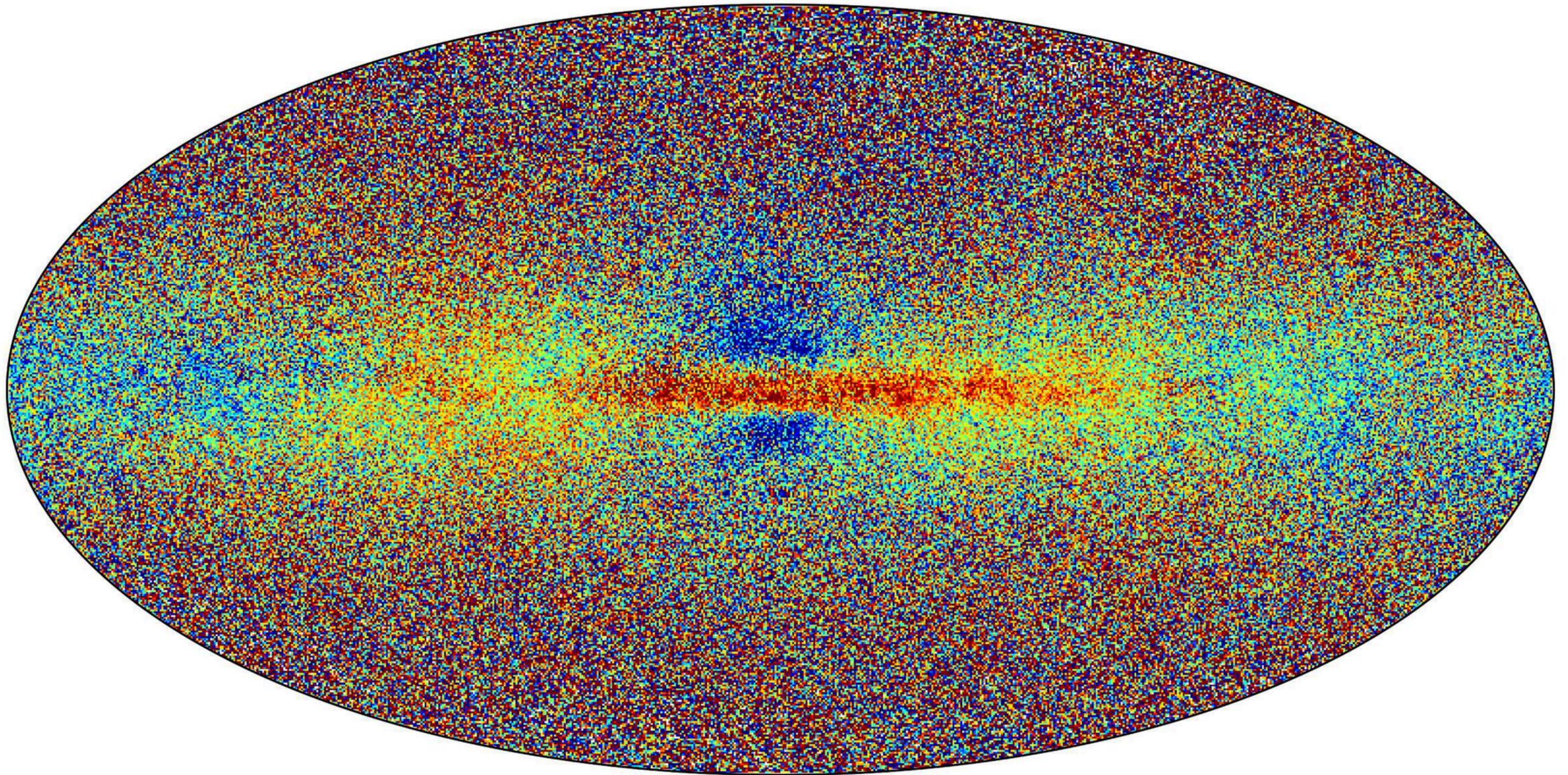
Gaia Mission App

Ya puedes descargarte gratis la aplicación sobre la misión Gaia, para móviles y tabletas. Encontrarás toda la información de la misión y recibirás actualizaciones con las últimas noticias y descubrimientos.



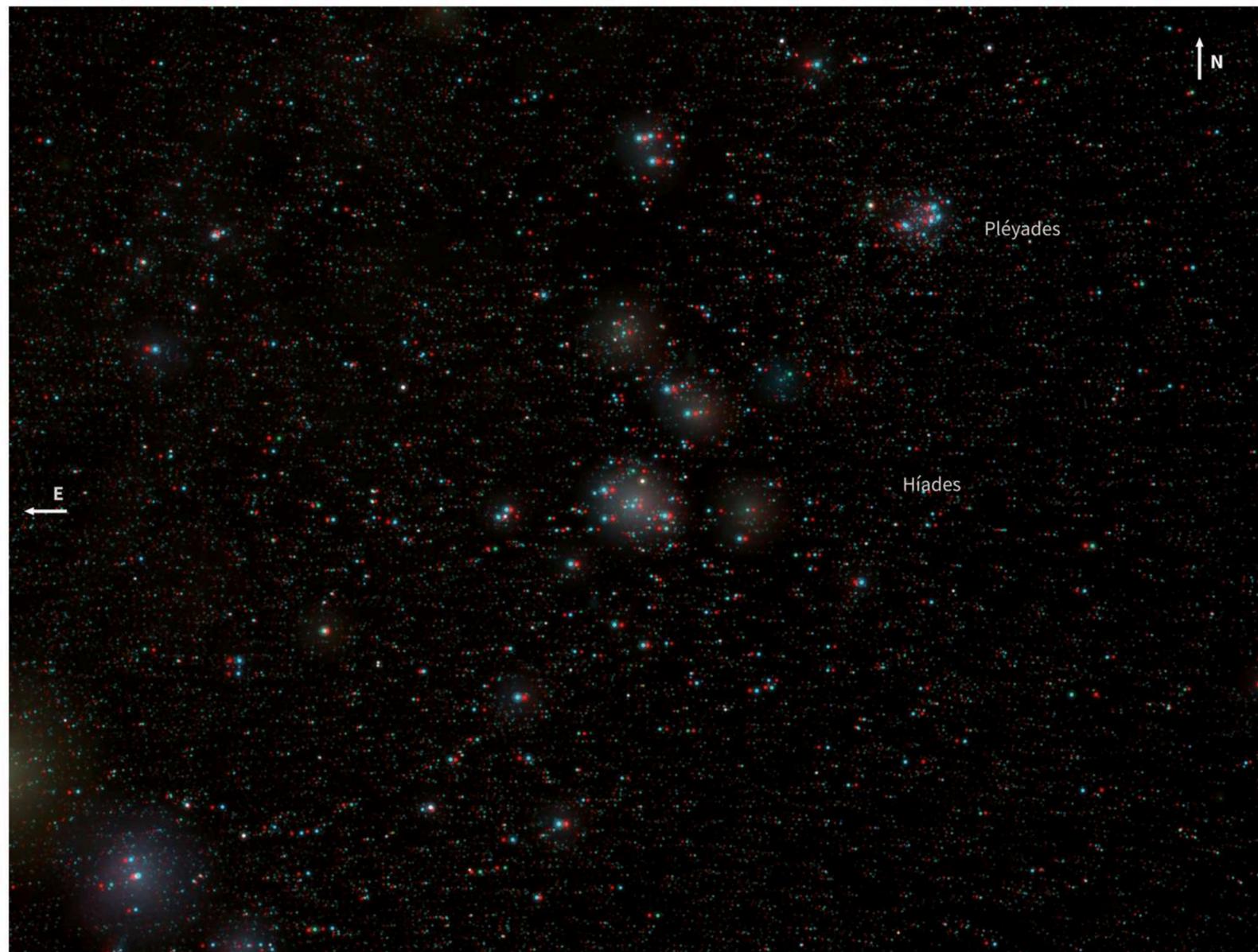
La química de la Galaxia

El color de las estrellas representa aquí su contenido en metales, elementos químicos con número atómico superior al helio. Estrellas más rojas indican un mayor contenido metálico. Hay toda una geografía química.



Entrad al cielo de Gaia, ¡un cielo en 3D!

Gaia nos ofrece el primer cartografiado preciso de nuestro entorno.



Gaia Sky, Toni Sagristà, ARI/ZAH University of Heidelberg

Observad con las gafas 3D las ninfas transformadas por Zeus en el cúmulo de estrellas de las Híades

Imagen de las Híades de cerca con las Pléyades de fondo. Aldebaran, que desde la Tierra vemos superpuesta a estas estrellas, no es visible desde esta perspectiva por ser mucho más cercana.

Las Híades, un cúmulo visto por Gaia

Las Híades es un cúmulo en la constelación de Tauro, formado por unas 300 estrellas fácilmente visibles a simple vista. Se encuentra a sólo 152 años luz, siendo el cúmulo más cercano al Sol. Tiene una edad aproximada de 625 millones de años.

Las medidas realizadas por Gaia de las posiciones de las estrellas que forman el cúmulo y de las distancias que nos separan, han permitido elaborar estas imágenes.



Cruza los ojos y os adentrareis en las Híades

Esta es otra técnica para ver imágenes en 3D donde no se utilizan gafas. Pasos a seguir:

- 1) Al principio veréis dos imágenes casi idénticas, una al lado de la otra.
- 2) Situar las dos imágenes en el centro de vuestro campo de visión.
- 3) Cruzar los ojos hasta que las dos imágenes se junten formando una tercera en el centro.

Esta imagen nueva es la combinación de las imágenes de la izquierda y la derecha en una imagen 3D.

- 4) Centrar vuestra atención en esta nueva imagen y veréis las estrellas a distancias diferentes.

Inteligencia Artificial para explorar la Vía Láctea

Para poder procesar un petabyte de datos de Gaia se necesitan técnicas de computación distribuida, como es la Inteligencia Artificial.

Las técnicas de Inteligencia Artificial son de gran utilidad para la búsqueda de comportamientos o patrones y para la toma de decisiones. En el caso de Gaia se utilizan para el análisis de los espectros de los millones de objetos observados con el instrumento RVS.

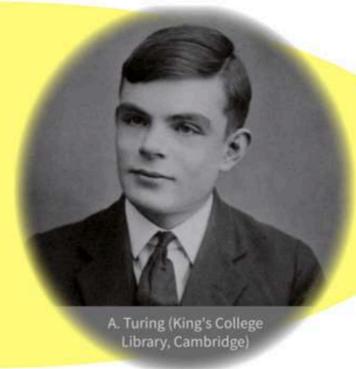
Redes de Neuronas de Retropropagación

Estas redes se entrenan primero con un conjunto de ejemplos conocidos de forma que, para un objeto nuevo y desconocido, son capaces de obtener sus propiedades. Con esta técnica podemos determinar la temperatura, gravedad y composición química de las estrellas.

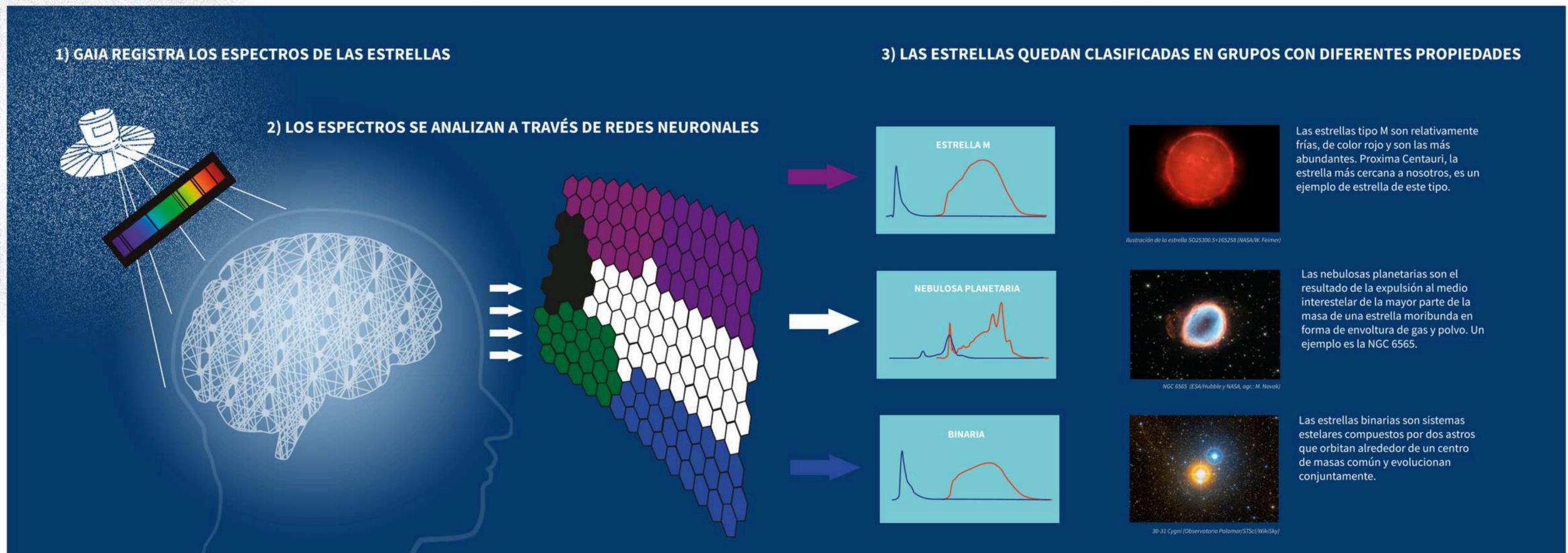
Mapas Autorganizados

Estas redes (SOM en inglés) son de especial utilidad cuando, teniendo un conjunto de objetos desconocidos, se pueden agrupar en diferentes tipos o categorías. Objetos próximos en el mapa tendrán propiedades similares. Una vez organizada la información, se puede analizar la base de datos de forma más eficiente.

En 1950 Alan Turing se pregunta: "¿Pueden pensar las máquinas?" Así nació la Inteligencia Artificial que continúa desarrollándose en nuestros días.

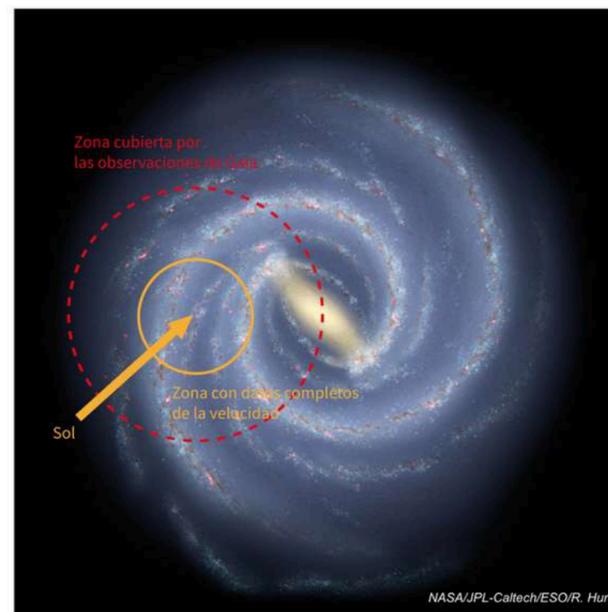
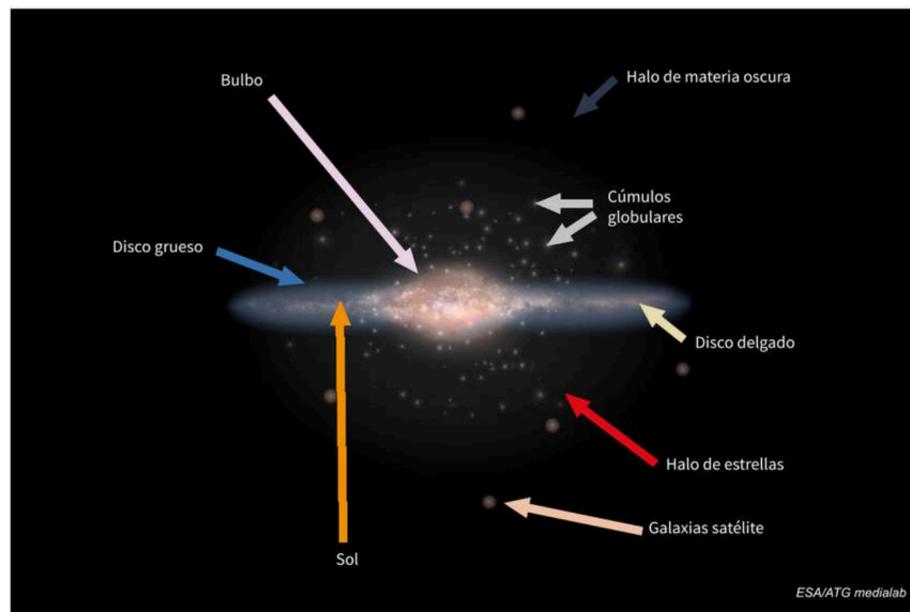


A. Turing (King's College Library, Cambridge)



Estructura de la Galaxia

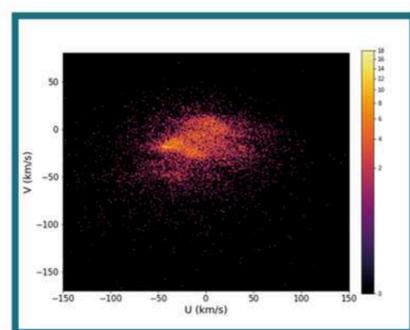
Gaia ha medido las posiciones y velocidades de más de 1 000 millones de estrellas de nuestra galaxia y nos permitirá construir un mapa tridimensional de la Vía Láctea y de las galaxias más cercanas.



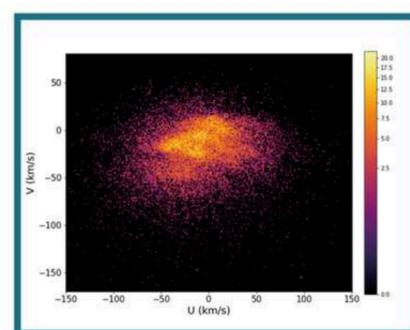
Esquema de la estructura y las componentes de nuestra galaxia, la Vía Láctea, vista de perfil (izquierda) y de cara (derecha). El Sol se encuentra dentro del disco delgado.

Velocidades de las estrellas cercanas al Sol

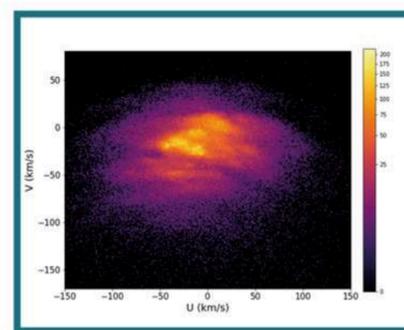
Gaia ha descubierto muchas más estrellas alrededor del Sol de las que conocíamos y ha medido las posiciones y los movimientos de todas ellas. La precisión con la que se han medido las velocidades de las estrellas no tiene precedentes. Con los datos de Gaia (figura a la derecha) hemos podido descubrir que las velocidades de las estrellas del entorno solar se agrupan en estructuras finas en forma de arco que nunca se habían visto antes (figuras abajo). Podrían estar relacionadas con la perturbación debida al paso de una galaxia satélite cerca del disco de la Galaxia.



2009 (Hipparcos + GCS)
12 387 estrellas



2016 (UCAC + Gaia + RAVE)
37 419 estrellas



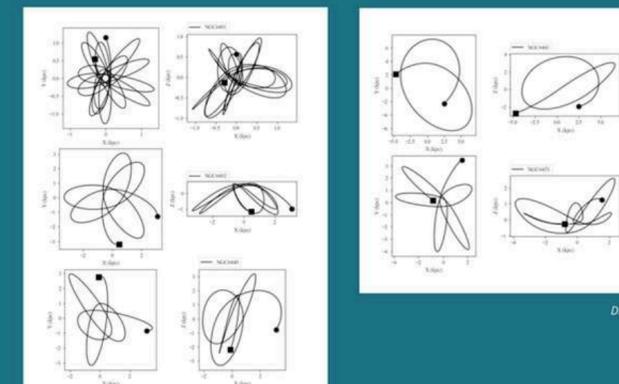
2018 (Gaia)
366 238 estrellas

Galaxias satélite y cúmulos globulares

Cúmulos globulares

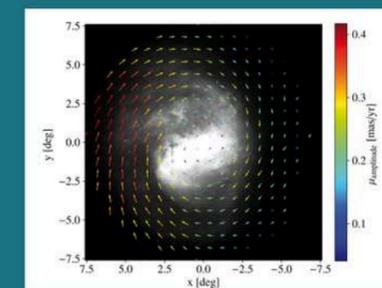
Gaia ha podido medir las posiciones y velocidades de muchos cúmulos globulares de nuestra galaxia.

Usando modelos, podemos retroceder en el tiempo las posiciones de los cúmulos y trazar sus órbitas en el pasado. Vemos como los cúmulos orbitan dentro del halo de la Vía Láctea y pueden seguir órbitas muy distintas los unos de los otros.



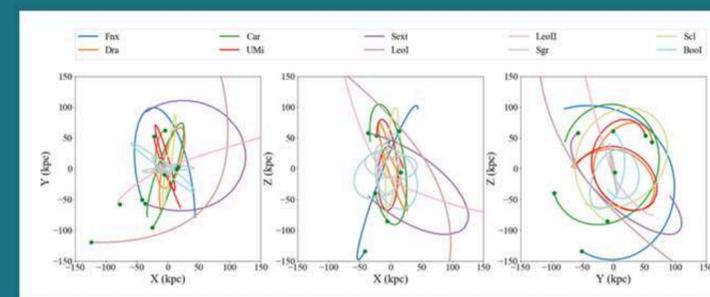
Gran Nube de Magallanes

Las estrellas de las galaxias en forma de disco como la Vía Láctea, dan vueltas alrededor de su centro. Gaia ha podido medir el movimiento circular de las estrellas de la Gran Nube de Magallanes, representado con flechas en la figura.



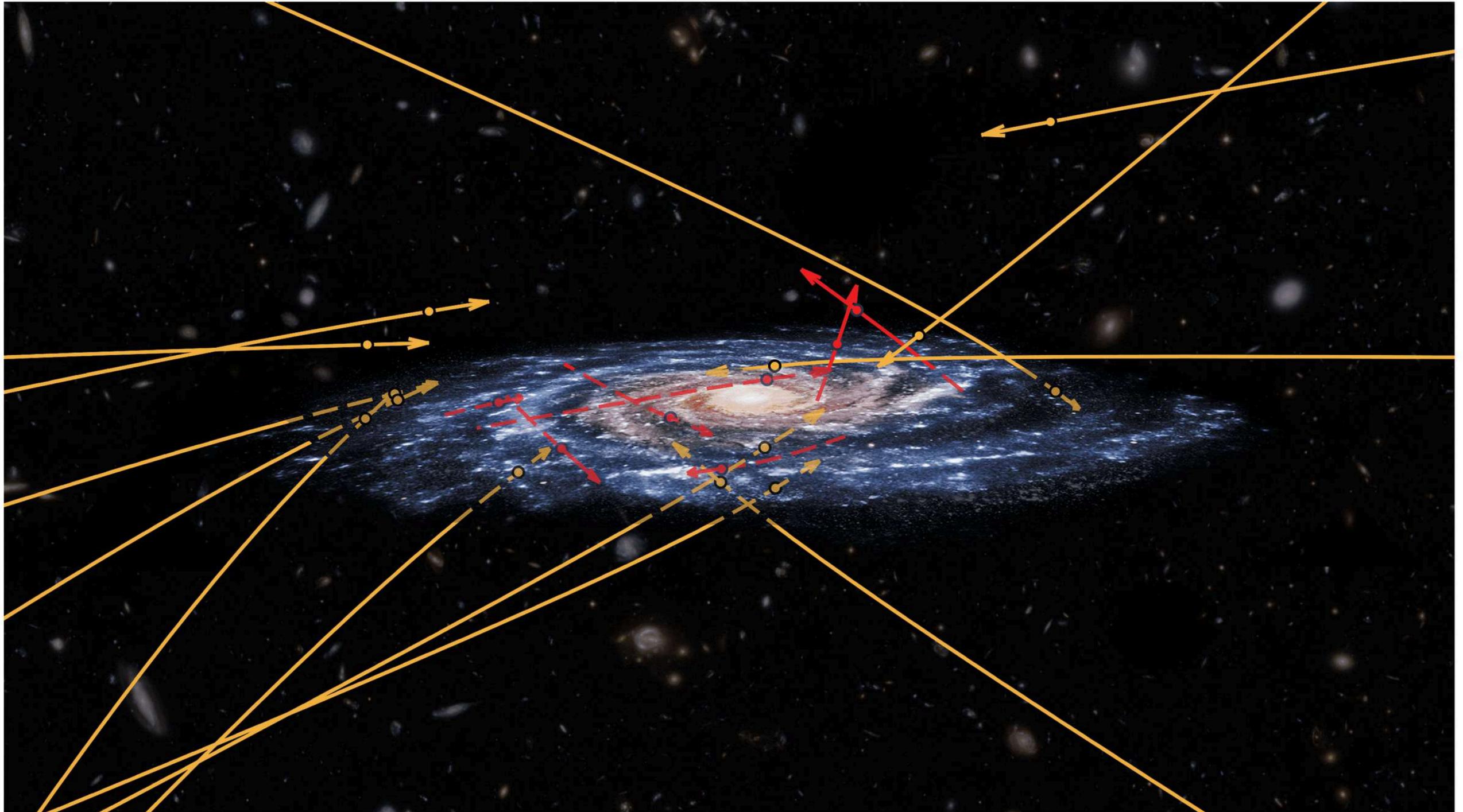
Galaxias enanas satélite

Nuestra galaxia tiene varias galaxias más pequeñas que orbitan alrededor suyo. Con los datos de Gaia hemos podido calcular sus órbitas.



Estrellas de alta velocidad

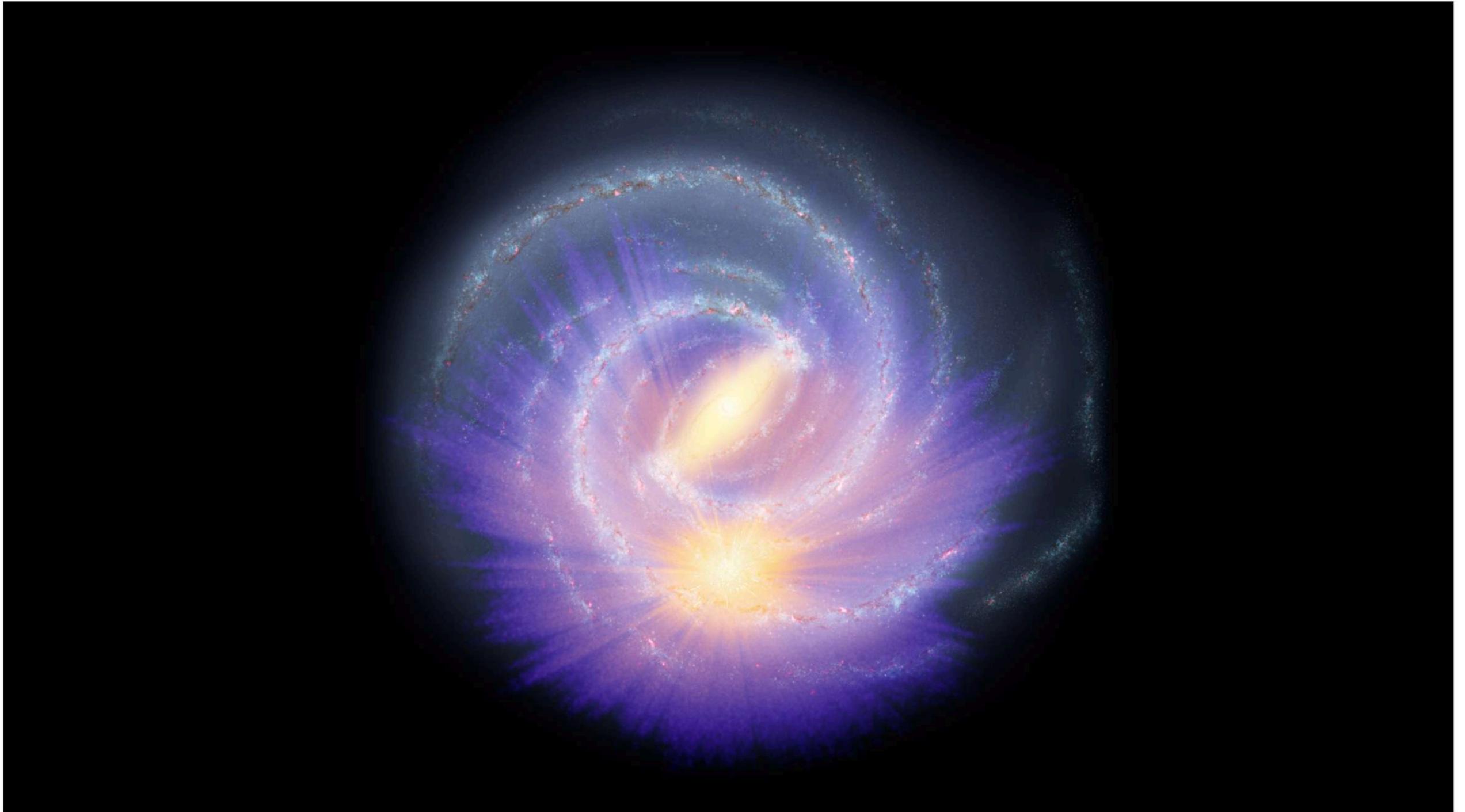
Las posiciones y órbitas estimadas de 20 estrellas de alta velocidad sobre una imagen artística de la Vía Láctea. Las siete estrellas que aparecen en rojo se están alejando de la Galaxia y podrían viajar lo suficientemente rápido como para escapar de su gravedad. Sorprendentemente, el estudio reveló también trece estrellas, mostradas en naranja, que corren hacia la Vía Láctea: podría tratarse de estrellas de otra galaxia, que atraviesan la nuestra.



Barra central

Este gráfico de colores muestra la distribución de 150 millones de estrellas en la Vía Láctea, utilizando datos de Gaia DR2 en combinación con sondeos infrarrojos y ópticos; los tonos naranja/amarillo indican una mayor densidad de estrellas. La mayoría de estas estrellas son gigantes rojas.

Aunque la mayoría de las estrellas se encuentran en la vecindad del Sol (la gran mancha naranja/amarilla de la parte inferior de la imagen), en la región central de la Galaxia también se aprecia una estructura alargada poblada por numerosas estrellas: se trata de la primera indicación geométrica de la barra Galáctica.



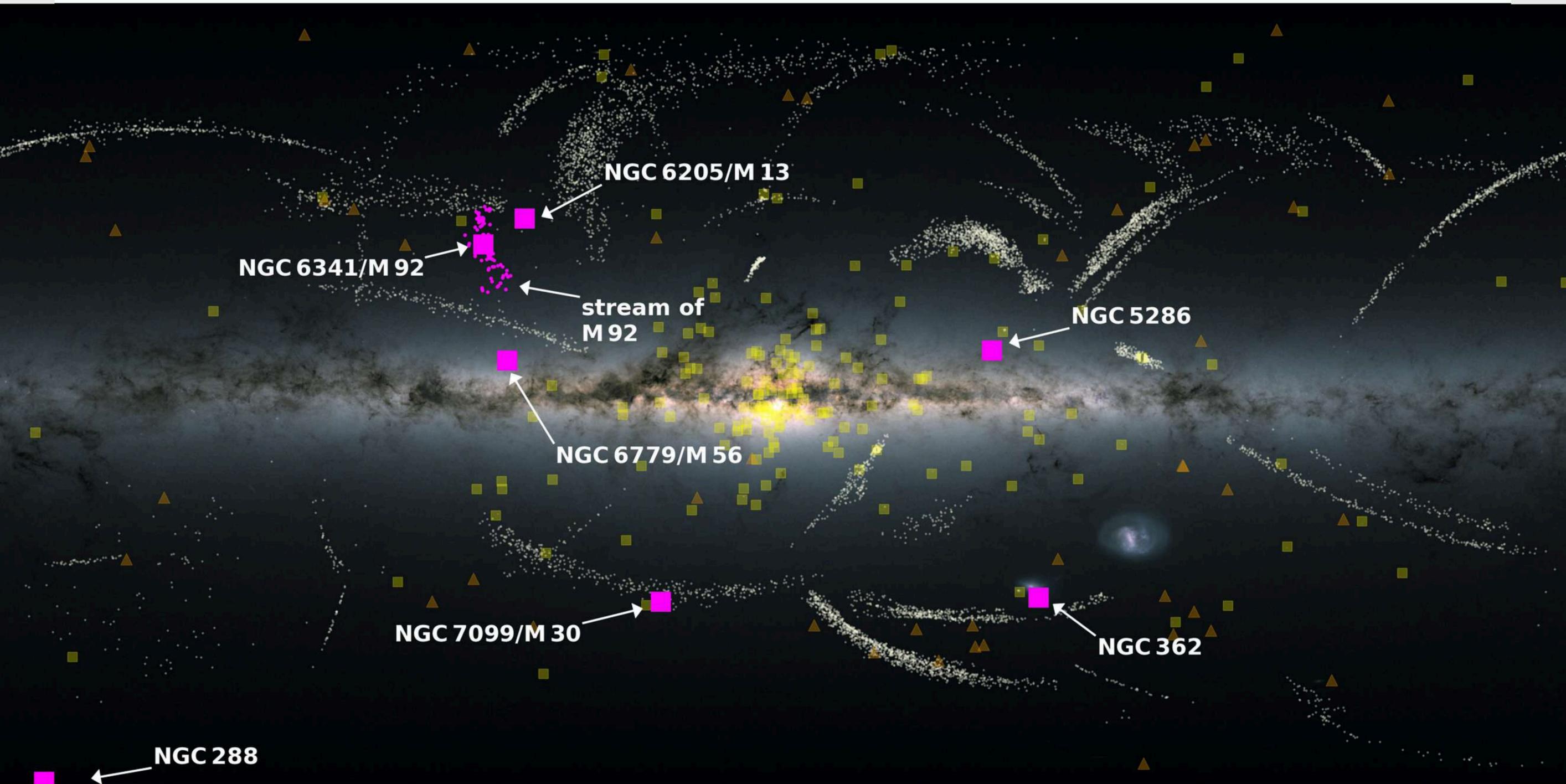
Créditos: Data: ESA/Gaia/DPAC, A. Khalatyan(AIP) & StarHorse team;
Galaxy map: NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC/Caltech)

Alabeo

El disco alabeado de la Vía Láctea donde residen la mayoría de sus cientos de miles de millones de estrellas. Los datos obtenidos por Gaia han demostrado que la deformación del disco está en precesión, es decir, que se mueve de forma similar a una peonza.

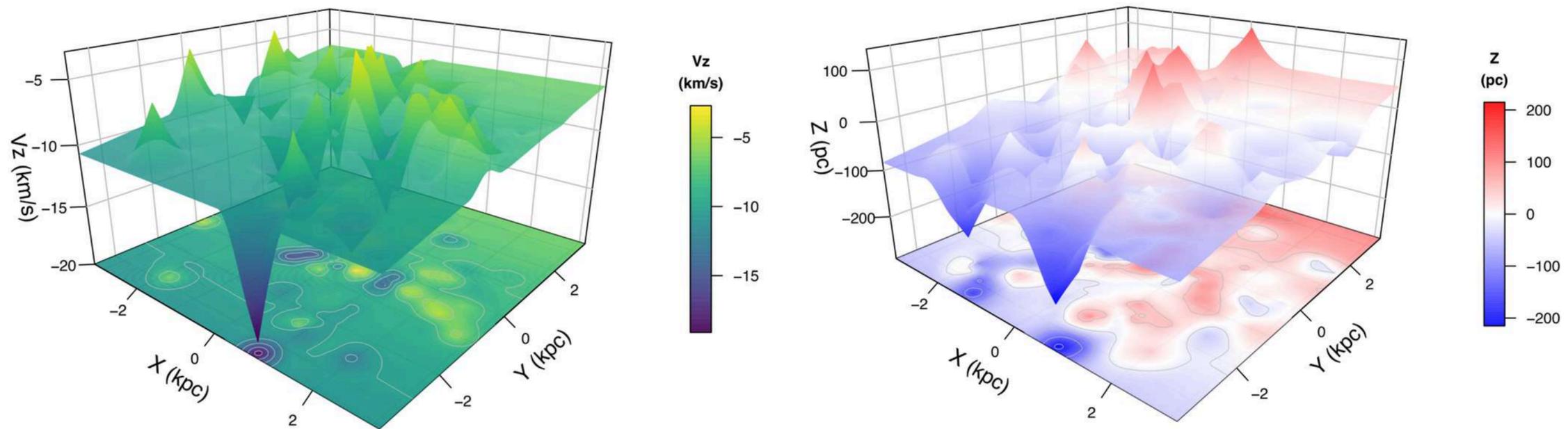
Corrientes Galácticas

Los datos de Gaia EDR3 han permitido detectar los restos de galaxias más pequeñas que se fusionaron con la nuestra. Estos restos se encuentran en el llamado halo de la Vía Láctea, que rodea al disco de estrellas más jóvenes, y al bulbo central con estrellas más viejas, que componen las partes más luminosas de la Vía Láctea.



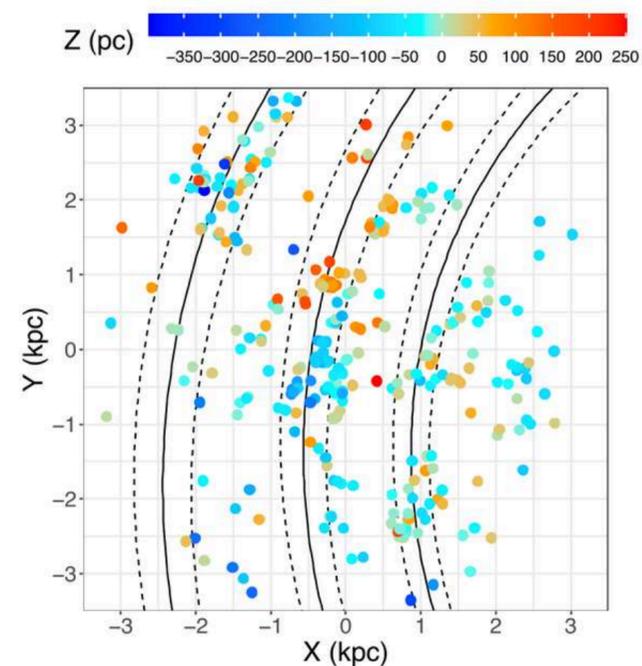
El plano ondulado de la Vía Láctea

El disco Galáctico presenta desviaciones del plano fundamental, con ondulaciones, picos y valles que también se observan en la velocidad vertical.



Créditos: Alfaro, Jiménez, Sánchez-Gil, González, Sánchez, Maíz Apellániz (2022)

Mapa espacial 3D de la componente estelar joven en la vecindad del Sol. La velocidad vertical en cada punto del plano también muestra picos y valles formando una estructura singular.

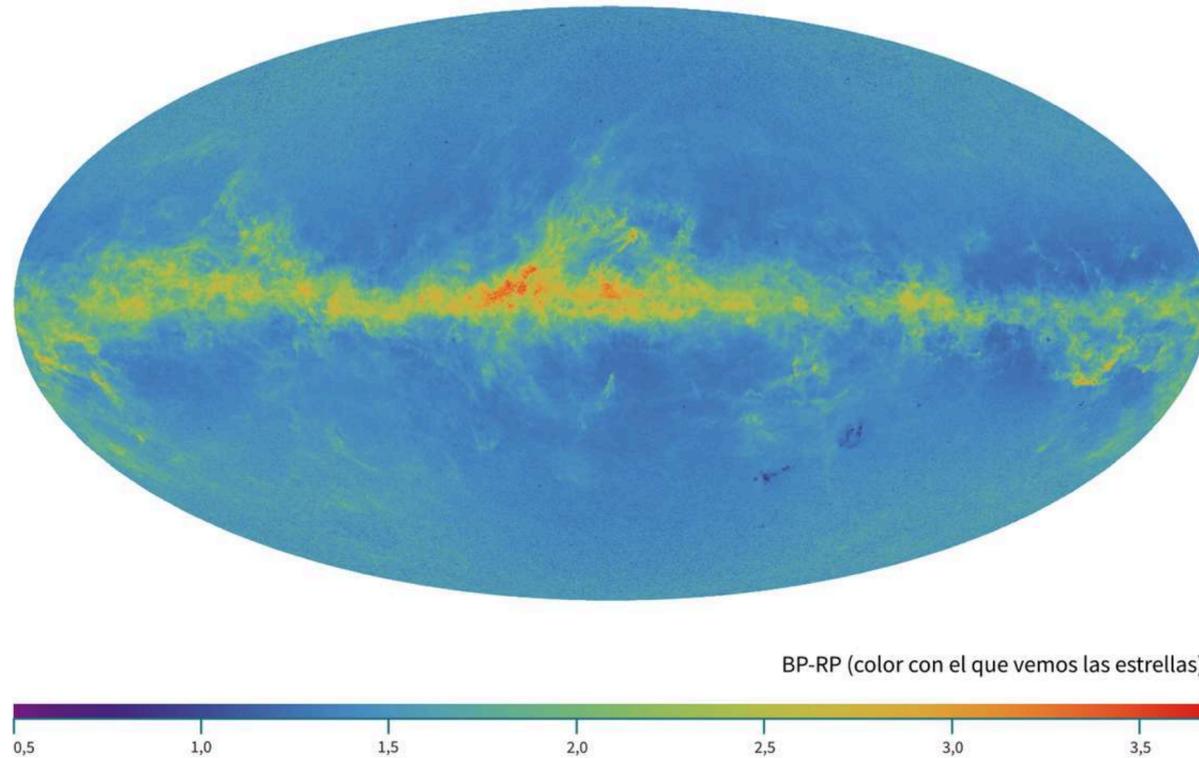


Estos mapas están basados en los datos de posición, distancia y velocidad de un catálogo de cúmulos abiertos jóvenes confeccionado por un equipo de la Universidad de Barcelona. El paso de un catálogo de posiciones y velocidades a mapas 3D se ha realizado mediante técnicas de interpolación espacial desarrolladas para la ingeniería de minas (Kriging).

La conexión entre los procesos de formación estelar y la estructura 3D del disco es uno de los objetivos científicos del estudio de la Galaxia.

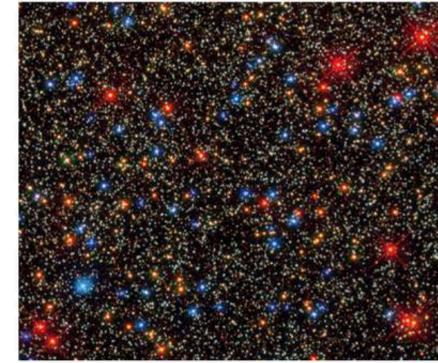
El cielo en colores

Las estrellas tienen distintos colores. Los colores nos dan información sobre la temperatura de las estrellas, su edad y la cantidad de polvo que hay entre ellas y nosotros.



Distribución del color de las estrellas en la segunda publicación de datos de Gaia (DPAC/ESA, abril 2018)

El color de las estrellas



Omega Centauri
(NASA, ESA, and the Hubble SM4 ERO Team)

Igual que un hierro incandescente, cuanto más caliente esté una estrella, más luz visible emite.

Las estrellas más calientes emiten luz más azul y las más frías luz más roja. De esta forma podemos conocer la temperatura de las estrellas desde la distancia. La temperatura de las estrellas varía desde unos pocos miles de grados hasta centenares de miles de grados.

Enrojecimiento interestelar



Barnard 68
(ESO)

Entre las estrellas hay gas y polvo que reduce la visibilidad de las estrellas que hay detrás. Pero no todos los colores sufren el mismo bloqueo, la luz roja atraviesa mejor las nubes de polvo que la luz azul. Es por esto que las estrellas que se encuentran más allá de las nubes se ven más rojas de lo que realmente son. Este efecto es el enrojecimiento interestelar y nos puede confundir cuando interpretamos la temperatura de las estrellas.

En la imagen la zona oscura nos indica la presencia de una nube de polvo que bloquea la luz de las estrellas que quedan detrás.

Cúmulos abiertos

A partir de una nube de gas interestelar pueden nacer miles de estrellas. Como las estrellas más azules y luminosas evolucionan más rápido (desaparecen en pocos miles de años), solo en los cúmulos suficientemente jóvenes, como los cúmulos abiertos, se pueden ver este tipo de estrellas.



Pléyades
(NASA, ESA, AURA / Caltech, Palomar Observatory)

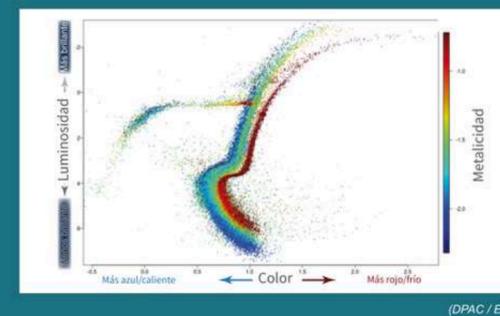
Cúmulos globulares

Los cúmulos globulares contienen millones de estrellas muy viejas (de 10 000 millones de años o más). Tienen forma esférica (de globo) y se encuentran repartidos por todo el halo galáctico. Las estrellas inicialmente azules ya han muerto y solo quedan estrellas amarillentas y rojizas. Es por esto que los cúmulos globulares tienen colores más rojizos.

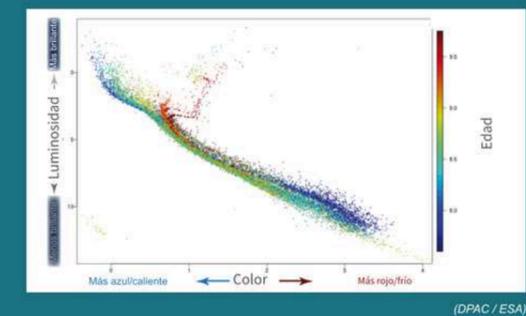


M808
(NASA, The Hubble Heritage Team, STScI, AURA)

Diagramas HR para los distintos cúmulos observados por Gaia:



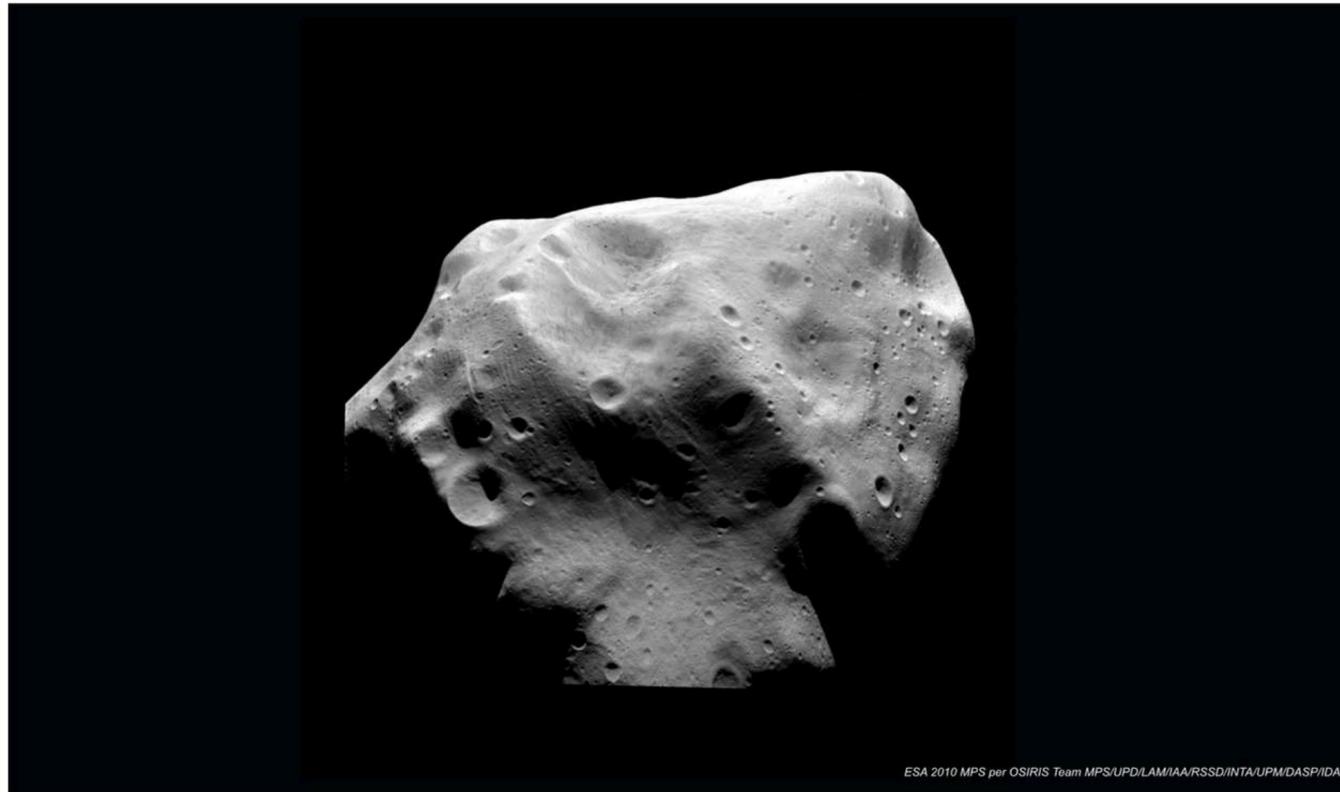
Los cúmulos abiertos tienen aún estrellas a la izquierda del diagrama (azules).



En los cúmulos globulares las estrellas azules han muerto y solo quedan las estrellas más amarillentas o rojizas.

Gaia y la forma de los asteroides

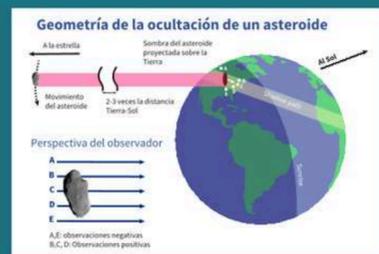
Las ocultaciones de estrellas por asteroides o por planetas enanos permiten conocer el tamaño y la forma de los mismos. También permiten estudiar, en el caso que tengan, las características de su atmósfera. La precisión en la posición de las estrellas del catálogo de Gaia permite predecir con mucha exactitud en qué lugares de la Tierra se podrá ver la ocultación.



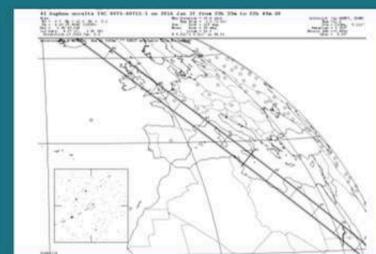
ESA 2010 MPS per OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/RSSD/INTA/UPM/DASP/IDA

Imagen del asteroide Lutetia tomada por la cámara OSIRIS de la sonda Rosetta.

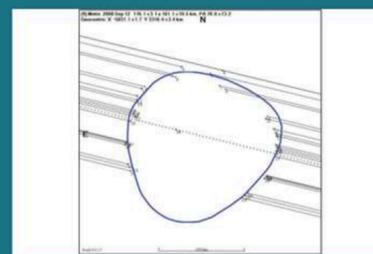
¿Cual es la utilidad de la observación de ocultaciones?



Un asteroide o un pequeño planeta pasa por delante de una estrella, proyectando una sombra sobre la superficie de la Tierra que se mueve siguiendo el movimiento del asteroide y también el giro de la Tierra.



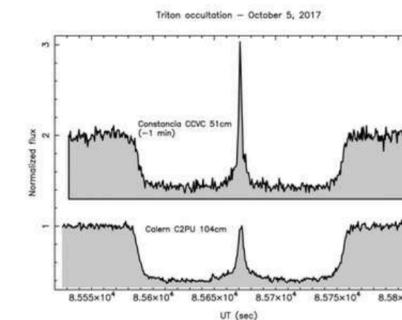
El conocimiento preciso de la posición de la estrella y de la órbita del asteroide permite determinar con antelación por donde pasará su sombra. Los observadores deberán situarse en esta zona.



Cada observador desde un punto distinto de la Tierra mide los instantes de desaparición y reaparición de la estrella. Con estos datos podemos reproducir la forma del asteroide o del pequeño planeta.

Tritón

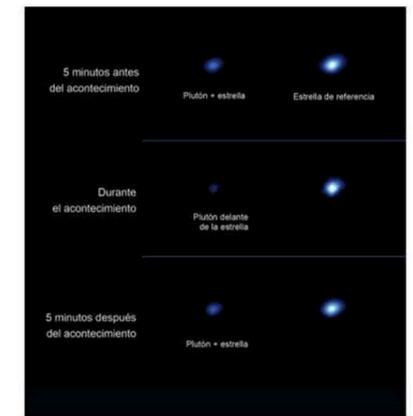
El 5 de octubre de 2017 Tritón, un satélite de Neptuno, ocultó una estrella de la constelación de Acuario. Los datos de Gaia ayudaron a identificar los sitios donde se podría observar la ocultación. La atmósfera de Tritón actúa como una lente y provoca un aumento de la luz en los instantes centrales de la ocultación, focalizando la luz de la estrella. Con estas medidas podemos obtener información muy valiosa de Tritón y de su atmósfera.



Ocultación de Tritón desde Francia y Portugal (R.Gonçalves & C2PU-OCA)

Plutón

La ocultación de una estrella poco brillante por Plutón el 19 de julio de 2016 que permitió estudiar la atmósfera de este planeta enano, midiendo como la luz de la estrella desaparecía gradualmente al esconderse detrás de Plutón.



Ocultación de Plutón (A. Carbognani, Osservatorio Astronomico Valle d'Aosta)

¿Sabías que el astrónomo aficionado Graeme McKay pudo registrar la ocultación del asteroide Carnegie que fue predicha usando los datos de Gaia?

Estrellas variables

Una parte de las estrellas del universo son variables, es decir, su brillo cambia con el tiempo. Su estudio ayuda a entender los procesos físicos que ocurren en el interior de las estrellas.

¿Sabías que Gaia ha recopilado información fotométrica precisa de más de 500 000 variables, una cantidad sin precedentes?



V838 Monocerotis.
NASA, ESA, and The Hubble Heritage Team (AURA/STScI)

Distintos tipos de variabilidad

Las estrellas intrínsecamente variables se clasifican en variables pulsantes y variables eruptivas. En el primer caso la estrella se contrae y expande periódicamente, provocando la variación de su luminosidad. En cambio, las variables eruptivas sufren aumentos abruptos e impredecibles de su luminosidad, posiblemente debido a fenómenos similares a los que ocurren en el Sol. La forma de la curva de luz (cómo varía el brillo con el tiempo) nos ayuda a clasificarlas.

Supernovas

Algunas estrellas terminan su vida con una gran explosión que hace que aumente su brillo cientos de miles de veces. Gaia descubre unas 6 supernovas cada día.

Supernova Gaia14aaa y su galaxia:

(M. Fraser/S. Hodgkin/ L. Wyrzykowski/H. Campbell/N. Blagorodnova/Z. Kostrzewa-Rutkowska/Liverpool Telescope/SDSS)



Imagen de la Supernova y su galaxia.

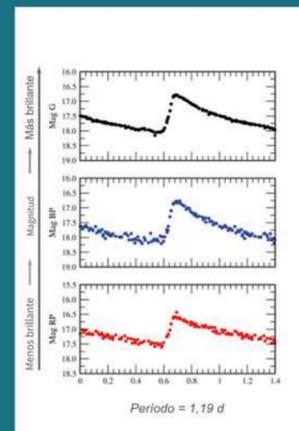


Imagen de la galaxia anterior a la explosión de la supernova.

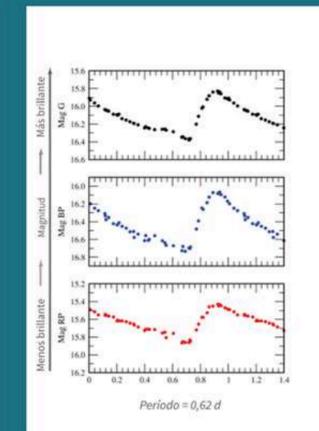


Diferencia de las dos imágenes anteriores en donde se destaca la supernova.

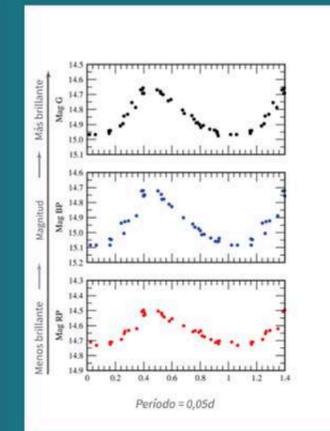
Estas tres curvas de luz obtenidas por Gaia se corresponden a tres tipos distintos de variables pulsantes. En el caso de las Cefeidas y las RR Lyrae existe una relación entre el brillo y el período de variabilidad, cosa que nos sirve para poder determinar a que distancia se encuentran.



Cefeida



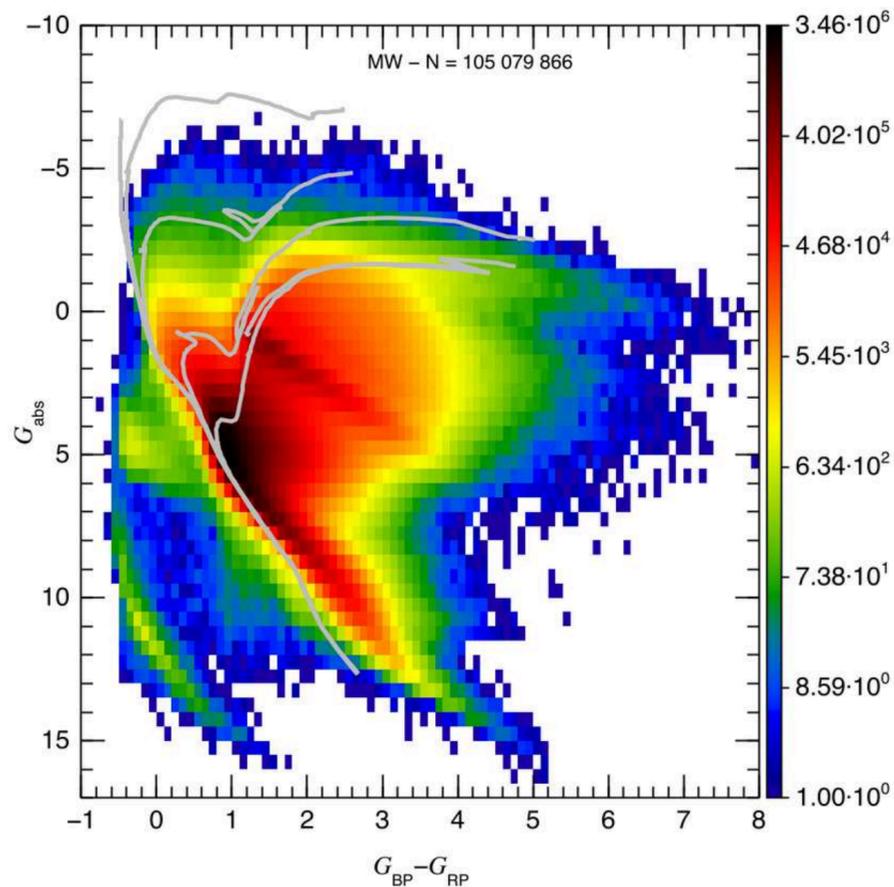
RR Lyrae



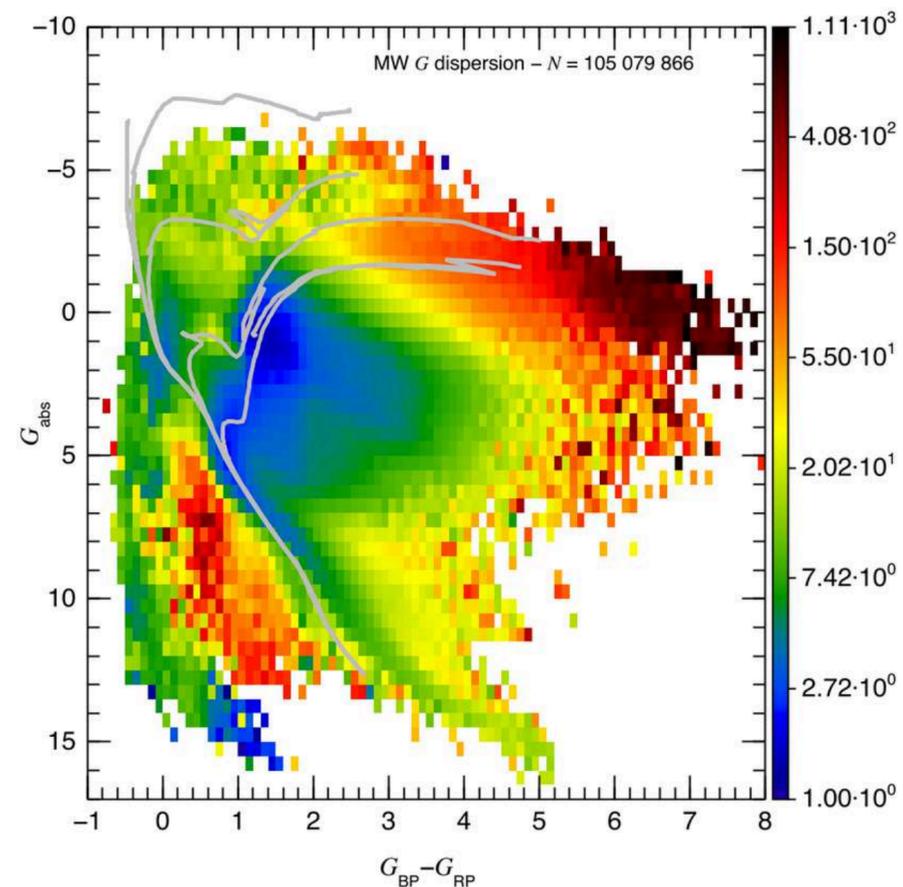
Delta Scuti

Estrellas variables en Gaia DR3

El satélite Gaia con unas 70 medidas por objeto, en tres bandas fotométricas, permite la detección de más de 145 millones de candidatas a estrellas variables.



Densidad de estrellas variables en el diagrama Color (temperatura) vs Magnitud absoluta (brillo intrínseco). Más brillantes hacia arriba y más frías hacia la derecha.



Variabilidad media de las estrellas en cada una de las regiones del diagrama de la izquierda, donde azul indica poca variabilidad y marrón alta variabilidad.

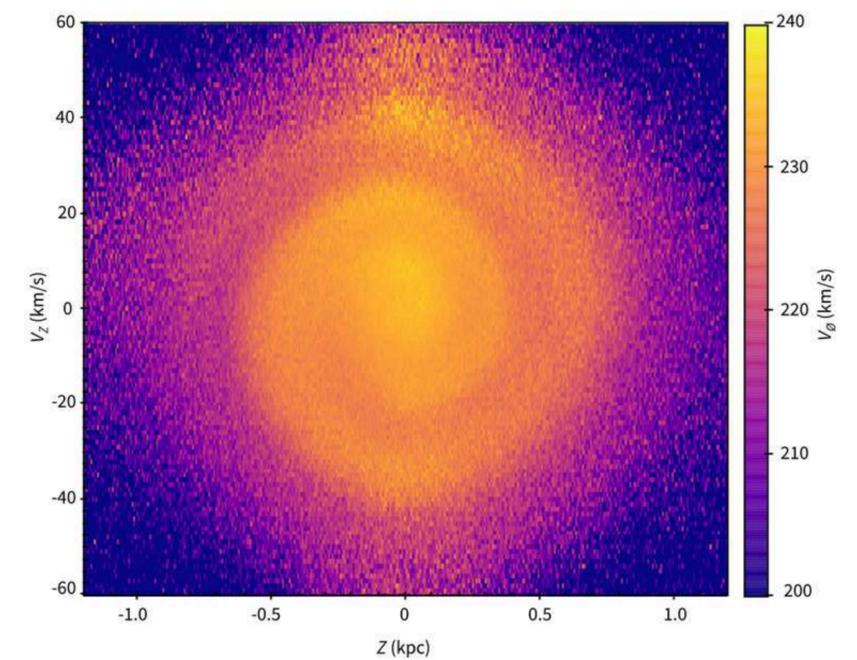
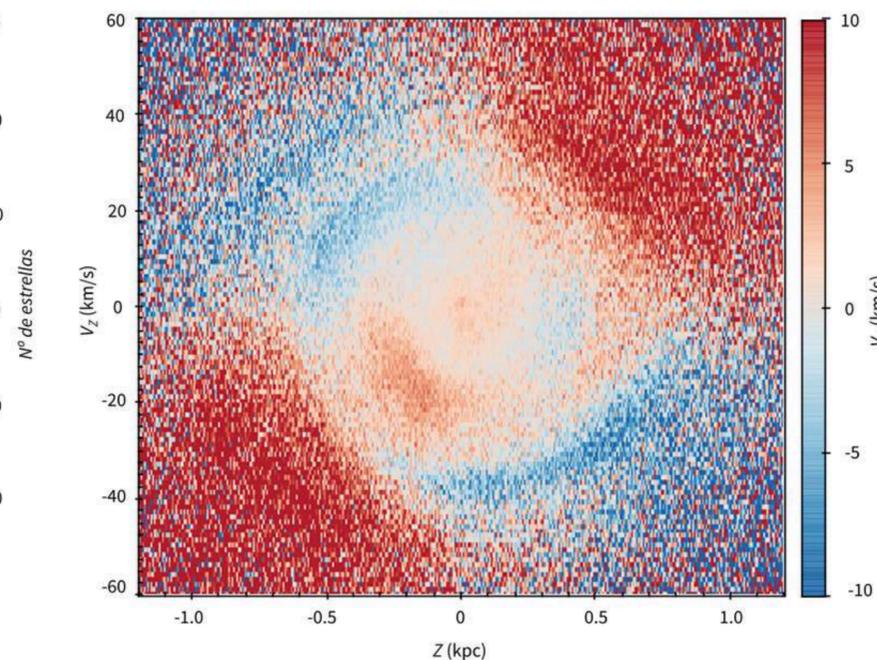
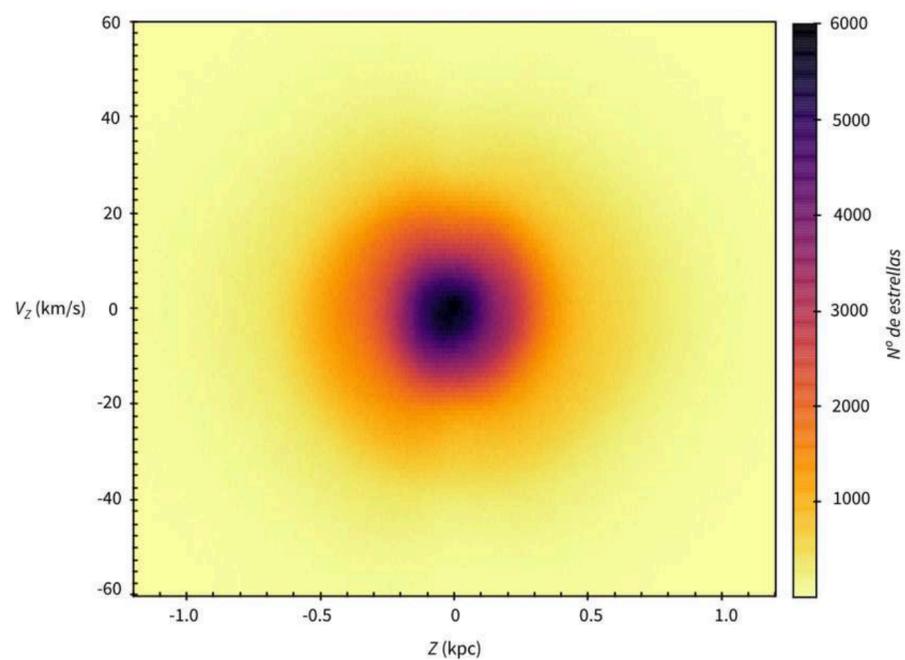
La estructura de mayor densidad de estrellas que cruza en diagonal la gráfica de la izquierda son las estrellas de la secuencia principal (en la cual pasan la mayor parte de sus vidas), las estrellas en la zona central y superior derecha son estrellas evolucionadas y las que están abajo a la izquierda son enanas blancas, el estadio final de las estrellas de masa baja e intermedia.

Es la primera vez que se puede hacer un diagrama de este tipo que incluya tantas estrellas y cuya muestra no esté segada de manera significativa. En general, la secuencia principal muestra poca variabilidad, lo que es una buena señal para la viabilidad de la posible vida extraterrestre en los planetas que orbitan alrededor de estrellas similares al Sol.

Créditos: Maíz Apellániz, Holgado, Pantaleoni-González, Caballero (CAB-INTA-CSIC 2023)

Estructuras del movimiento estelar

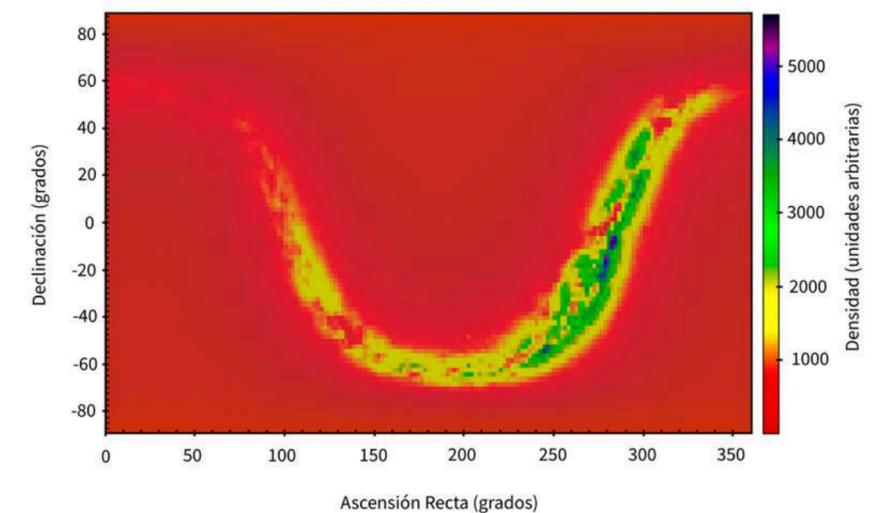
Las distintas fuerzas que actúan sobre las estrellas de la vecindad solar generan curiosas relaciones entre la velocidad vertical y la altura.



Uno de los resultados más sorprendentes del análisis de los datos de Gaia se publicó en 2018 por Teresa Antoja (Universidad de Barcelona) y el equipo DPAC de Gaia.

Las estrellas del disco Galáctico no solo muestran una rotación alrededor del centro de la Galaxia sino que presentan movimientos radiales y verticales, aunque de menor cuantía. En una amplia región de la Galaxia, centrada en el Sol, la relación entre la altura (positiva y negativa) respecto al disco y la velocidad vertical se asemeja a una espiral. Los colores en cada una de las tres figuras superiores representan a una tercera variable.

Densidad de puntos en la de la izquierda, velocidad radial en el centro y velocidad de rotación en la derecha. Se han utilizado 26 millones de estrellas del disco Galáctico (figura inferior derecha).



Créditos: Ramos & Alfaro con datos de Gaia DR3 sobre la idea y el resultado original de Antoja et al. (2018, 2023)

Agradecimientos

La primera versión de esta exposición fue diseñada, realizada y puesta a disposición de la comunidad científica internacional por un grupo de astrónomos del antiguo departamento de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Barcelona: L. Balaguer, J. M, Carrasco, C. Fabricius, F. Figueras, N. Garralda, C. Jordi, X. Luri, E. Masana, S. Olarte, S. Roca, M. Romero y J. Torra. A todos ellos mi agradecimiento. En especial, a Eduard Masana y Cesca Figueras con quienes he mantenido un contacto más directo durante la producción de la versión actual. Mi recuerdo más cariñoso para Jordi Torra, gran amigo y excelente astrónomo que nos dejó en 2019 y que fue el artífice de este equipo y el impulsor de su participación en el desarrollo de la misión Gaia.

La nueva exposición incorpora algunos de los resultados más relevantes obtenidos hasta la fecha a partir de los datos de Gaia. La selección no ha sido fácil, ya se han publicado más de 8000 artículos basados en los catálogos entregado por la misión. Estos logros se han escogido en función de su

similitud con los objetivos e intereses científicos del Grupo de Sistema Estelares del IAA-CSIC. A todos mis compañeros del grupo y del instituto quiero agradecerles su colaboración y el haber creado un entorno de altísima calidad científica y humana donde la vida y la ciencia - si para alguien no fuera lo mismo - son un placer cotidiano.

La Casa de la Ciencia del CSIC en Sevilla acogió y produjo esta nueva versión de «Mil millones de ojos para mil millones de soles». Lo han hecho muy fácil, al menos para mí. A todos los miembros del museo mi más sincero agradecimiento, pero no querría dejar sin nombrar a las personas con las que he tenido un contacto más estrecho hasta llevar a buen término esta empresa: M. Paneque, Y. Díaz, J. A. Sencianes y E. López. Gracias.

Emilio J. Alfaro
IAA-CSIC, Coordinador científico de la exposición

