# Una supernova o Sagitario, ¿a quién debemos dar las gracias?

por Michele Ferrara

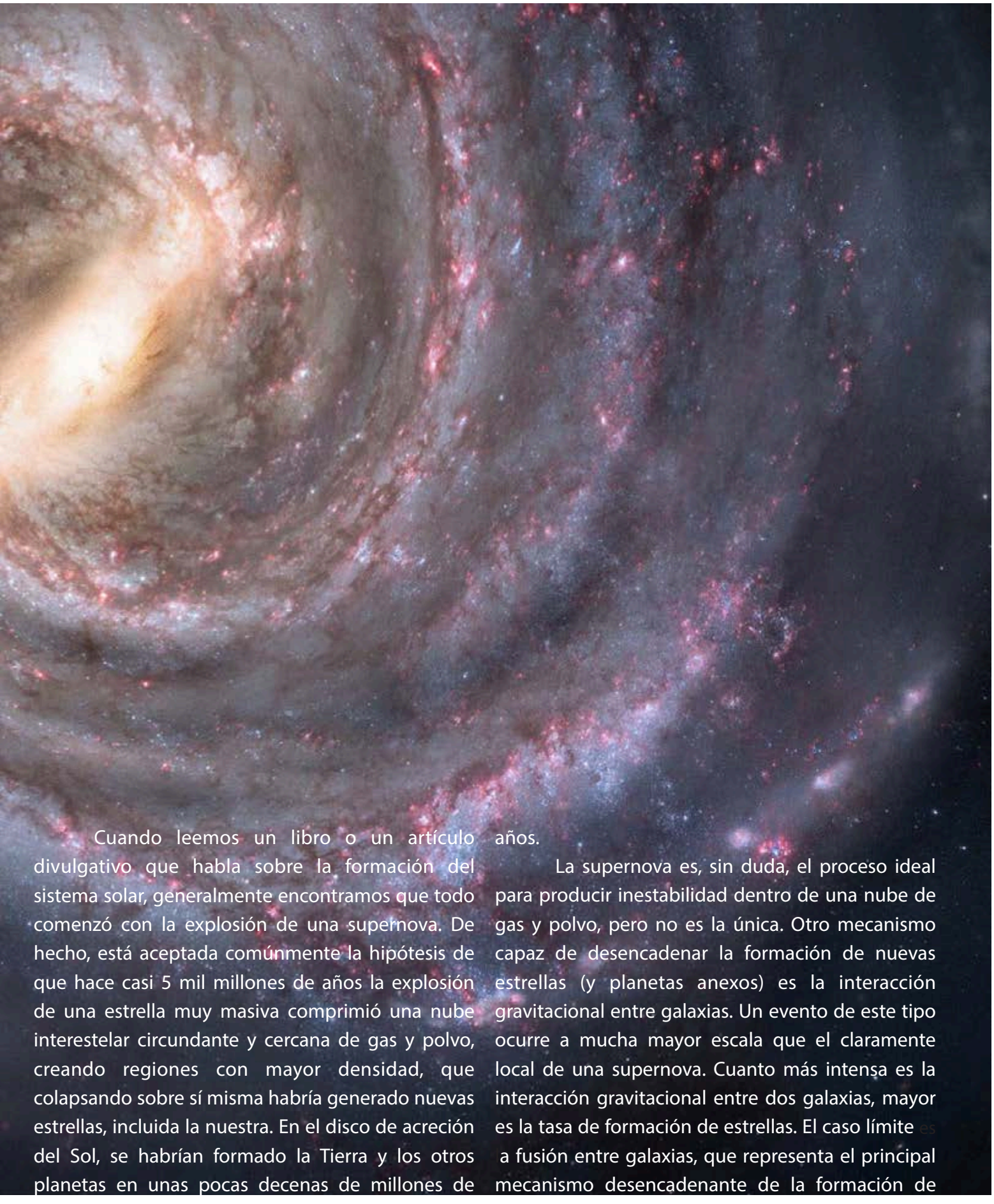
revisado por Damian G. Allis

NASA Solar System Ambassador

Traducido por José Carlos Millán López

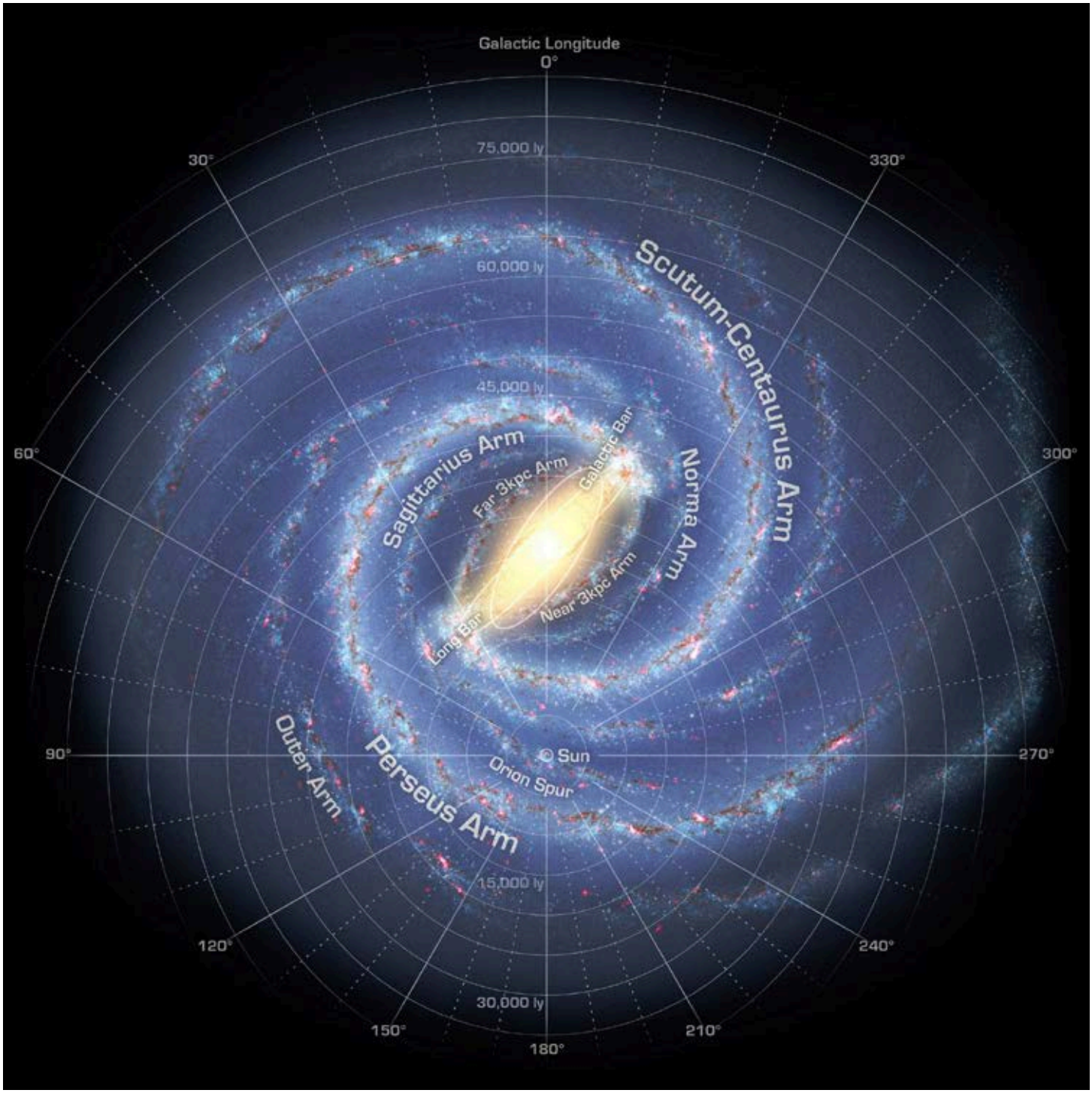
La existencia del Sol y todo lo que lo rodea, incluida la vida en la Tierra, podría ser la consecuencia de un paso cercano al disco de la Vía Láctea de la galaxia satélite de Sagitario. Un estudio reciente sugiere que esta galaxia enana tuvo efectos profundos en la formación de estrellas en la Vía Láctea y probablemente también en la distribución de la masa estelar.

En el fondo, una reconstrucción gráfica de nuestra galaxia, basada en imágenes de la NASA. [Nick Risinger]



Cuando leemos un libro o un artículo divulgativo que habla sobre la formación del sistema solar, generalmente encontramos que todo comenzó con la explosión de una supernova. De hecho, está aceptada comúnmente la hipótesis de que hace casi 5 mil millones de años la explosión de una estrella muy masiva comprimió una nube interestelar circundante y cercana de gas y polvo, creando regiones con mayor densidad, que colapsando sobre sí misma habría generado nuevas estrellas, incluida la nuestra. En el disco de acreción del Sol, se habrían formado la Tierra y los otros planetas en unas pocas decenas de millones de años.

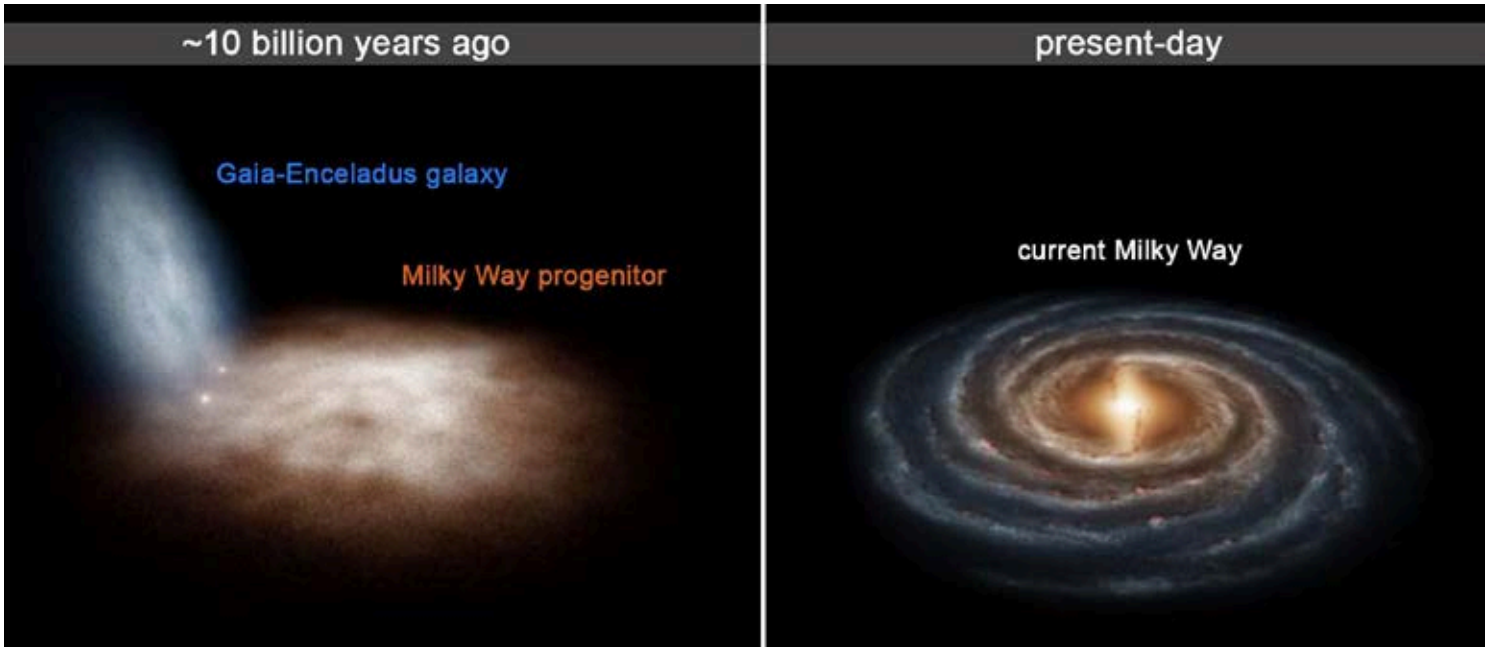
La supernova es, sin duda, el proceso ideal para producir inestabilidad dentro de una nube de gas y polvo, pero no es la única. Otro mecanismo capaz de desencadenar la formación de nuevas estrellas (y planetas anexos) es la interacción gravitacional entre galaxias. Un evento de este tipo ocurre a mucha mayor escala que el claramente local de una supernova. Cuanto más intensa es la interacción gravitacional entre dos galaxias, mayor es la tasa de formación de estrellas. El caso límite es a fusión entre galaxias, que representa el principal mecanismo desencadenante de la formación de




Una representación esquemática de la barra y los brazos espirales de la Vía Láctea. El Sol está cerca del llamado brazo de Orión.

estrellas dentro de las propias galaxias, y que produce efectos significativos en su evolución química y dinámica.

Como todas las galaxias, la Vía Láctea también ha experimentado episodios de interacción gravitacional y fusión, gracias a lo cual aumentó su masa y se configuró su forma actual. Hasta donde sabemos, el más relevante de estos episodios ocurrió hace aproximadamente 10-11 mil millones de años, cuando la joven Vía Láctea colisionó con una galaxia cuatro veces menos masiva, llamada Gaia-Encelado, engulliéndola por completo. Las huellas de este distante evento todavía son reconocibles en las diferentes propiedades dinámicas y físicas que muestran los dos conjuntos de estrellas originales. Muchos estudios han destacado que nuestra galaxia es el hogar de dos conjuntos distintos de estrellas,

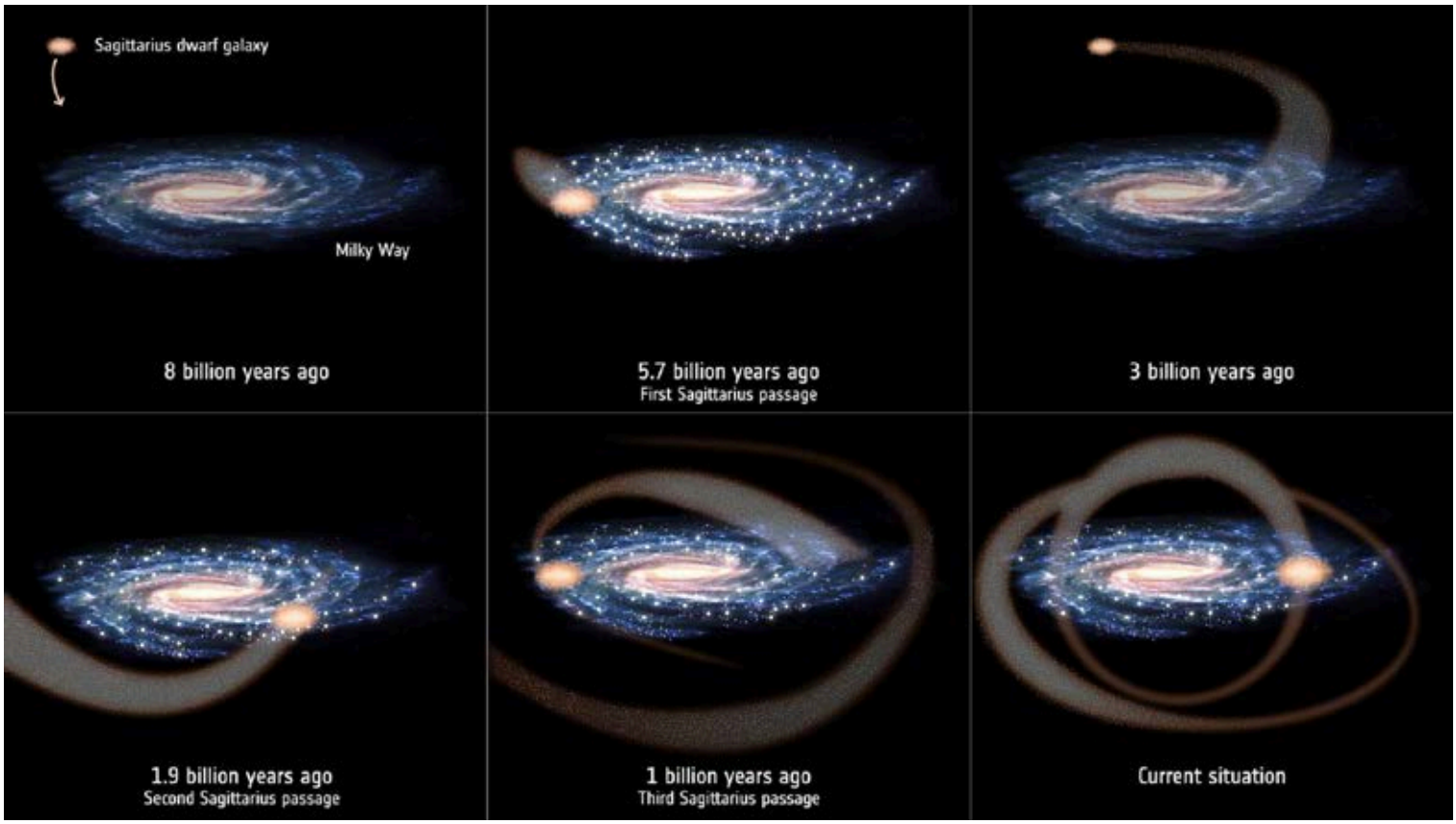



Sobre estas líneas se ve la reconstrucción de la dinámica del evento Gaia-Encelado. Téngase en cuenta que la forma actual de la Vía Láctea también es el resultado de interacciones menores causadas por pequeñas galaxias satélites. [Gabriel Pérez Díaz/SMM (IAC)]

que tienen la misma edad pero diferente metalicidad. El conjunto de estrellas que contiene menos metales (todos los elementos más pesados que el hidrógeno y el helio), inicialmente pertenecientes a Gaia-Encelado, se caracterizan por un movimiento caótico, y en los miles de millones de años posteriores a la fusión contribuyó a construir el halo de la Vía Láctea actual. El conjunto de estrellas dinámicamente más ordenado es, en cambio, el original de la joven Vía Láctea. Como es fácil de imaginar, la fusión entre las dos galaxias fue un proceso lento y gradual, aunque capaz de desencadenar un estallido de formación estelar que, disminuyendo gradualmente, continuó durante unos cuatro mil millones de años. Al final de ese proceso, el gas residual y el polvo se incorporaron al disco delgado de la Vía Láctea.

La canibalización de Gaia-Encelado es el evento más relevante de ese tipo aún reconocible, pero no el último del que hay rastro. Se han reconocido también otras explosiones de formación estelar, menos intensas y menos remotas. Sin embargo, hasta hace unos años, era prácticamente imposible identificar la causa de esos eventos, porque para hacer esto, es esencial conocer, al menos, algunas propiedades fundamentales (brillo, color, posición, distancia, dirección del movimiento, velocidad) de numerosas estrellas, diseminadas en una fracción muy significativa de la Vía Láctea. Si el muestreo se realiza en una región demasiado estrecha, por ejemplo, en una esfera con un radio de unos pocos cientos de años luz alrededor del Sol, no es posible obtener una resolución temporal suficiente para aislar eventos individuales de formación estelar y colocarlos con precisión en la historia evolutiva de la Vía Láctea.

Sin embargo, la capacidad de investigar estos eventos ha mejorado significativamente en los últimos años, gracias a la publicación en 2016 y 2018 de los datos fotométricos, astrométricos y espectroscópicos extremadamente precisos recopilados por el observatorio espacial Gaia en más de mil millones de estrellas. Los datos de Gaia han permitido probar una hipótesis intrigante, según la cual, algunas explosiones de formación estelar ocurridas en la Vía Láctea podrían estar relacionadas con los pasos cercanos de la galaxia satélite enana Sagitario. Este pequeño y difuso




aglomerado estelar, vagamente esferoidal, fue descubierto en 1994 y resultó ser la galaxia más cercana a la Vía Láctea, un registro que duró hasta 2003. La Galaxia enana de Sagitario está actualmente a unos 70.000 años luz de la Tierra y a unos 50.000 años luz del centro galáctico. Describe una órbita polar en espiral que, debido a la interacción gravitacional, se estrecha en cada paso hacia el pericentro. La galaxia enana de Sagitario tiene un diámetro de aproximadamente 10.000 años luz, una masa muchas veces menor que la de la Vía Láctea y se compone esencialmente de estrellas viejas con baja metalicidad, y casi sin gas.

Curiosamente, su centro está ocupado por el cúmulo globular M54, el único componente de la galaxia enana de Sagitario fácilmente observable. Los astrónomos estiman que esta galaxia enana ha sido satélite de la Vía Láctea durante, al menos, los últimos mil millones de años, y que en los sucesivos acercamientos al pericentro, cada vez más cercanos, ha perdido, al menos, la mitad de su masa en beneficio de la Vía Láctea. Observaciones directas de estrellas muy periféricas de nuestra galaxia y las simulaciones por ordenador nos inducen a creer que parte de la masa perdida por Sagitario está dispersa en grandes arcos a lo largo de las órbitas descritas hasta ahora.

Era razonable esperar que la transferencia de masa y las perturbaciones gravitacionales hubieran producido eventos de formación estelar en la Vía Láctea, pero se necesitaban pruebas convincentes para asociar su sincronización con la de los tránsitos al pericentro de la galaxia enana de Sagitario. Un paso decisivo en esta dirección ha sido dado recientemente por un equipo de investigadores dirigido por Tomás Ruiz-Lara (Instituto de Astrofísica de

Esta ilustración y el siguiente video resumen los últimos acercamientos al pericentro de la galaxia enana Sagitario, como resultado de lo cual se ha encontrado un aumento en la formación de estrellas en la Vía Láctea. [ESA, IAC]

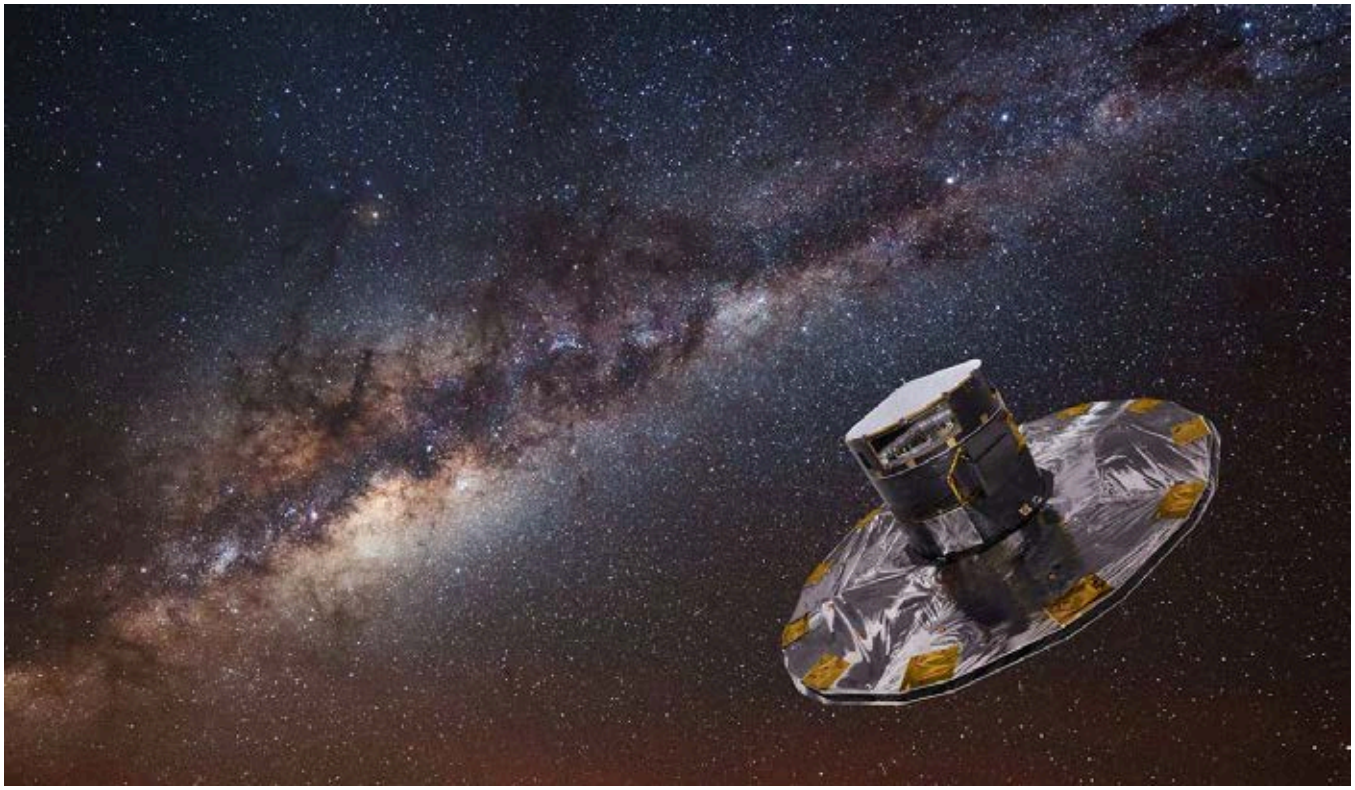
Canarias), que ha combinado datos de Gaia y técnicas de modelado basadas en diagramas de magnitud de color. Con este procedimiento, el equipo ha podido caracterizar con suficiente precisión el contenido estelar en una esfera espacial de aproximadamente 13.000 años luz de diámetro, centrada en el Sol; una muestra ciertamente representativa de todo el disco galáctico. Ruiz-Lara y sus colegas han descubierto que al final del evento Gaia-Encelado, la formación de estrellas en nuestra galaxia había vuelto a los niveles de otras galaxias espirales masivas, que generalmente son niveles muy bajos. Sin embargo, dentro de este comportamiento estable, se han identificado tres estallidos de formación estelar bien definidos, cuyas fases centrales se remontan a 5,7, 1,9 y 1,0 mil millones de años, respectivamente, con duraciones estimadas de 0,8, 0,2 y 0,1 mil millones de años. También hay rastros de un posible cuarto pico de formación estelar, que puede ubicarse en los últimos 100 millones de años. Es muy interesante que el momento de estos episodios coincida con los acercamientos al pericentro de la Vía Láctea de la

El cúmulo globular M54 se encuentra en el centro de la galaxia Sagitario. Es su componente más llamativo. [ESA/ Hubble & NASA]

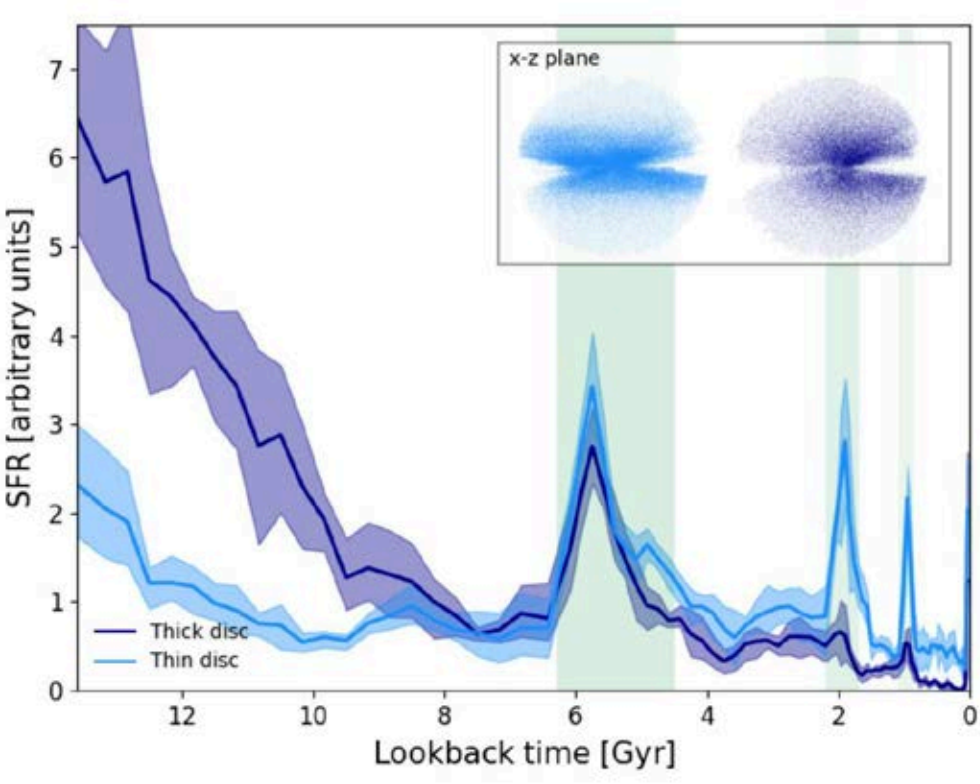
Tomás Ruiz-Lara, becario postdoctoral, del Instituto de Astrofísica de Canarias, coordinó el equipo de investigadores que propuso a la galaxia Sagitario como la fuerza impulsora para la formación de nuestro sistema solar.

galaxia enana de Sagitario deducidos de las simulaciones de la órbita, de la estructura del disco galáctico y del contenido estelar de Sagitario.

Si los resultados del equipo de Ruiz-Lara son correctos, deducimos que Sagitario desempeñó un papel no marginal en la construcción de la masa estelar del disco de la Vía Láctea, y que probablemente el Sol y su sistema planetario se formaron como consecuencia de un paso cercano de la galaxia enana, y no debido a la explosión de una supernova. El paso de hace unos 5.700 millones de años podría ser el que creó las condiciones para el posterior nacimiento del sistema solar. Es cierto que el Sol se formó unos mil millones de años después del pico de ese evento, pero pueden haber intervenido varios factores para retrasar su formación. Por ejemplo, debe haber transcurrido suficiente tiempo para que las perturbaciones gravitacionales generen un grado suficiente de falta de homogeneidad en la distribución de gas y polvo, para desencadenar el colapso de las nubes de materia y el consiguiente



Fotomontaje del observatorio espacial Gaia con la Vía Láctea de fondo. [ESA/ATG medialab; background: ESO/S. Brunier]




Historia de la formación de estrellas en la burbuja de 2 kpc alrededor del Sol, distinguiendo entre discos galácticos delgados y gruesos. La tasa de formación de estrellas se expresa en unidades arbitrarias para ambas subestructuras de disco. El recuadro muestra la distribución espacial de las estrellas que pertenecen a cada subestructura en el plano x-z. No se han incluido en el análisis algunas regiones cercanas al plano galáctico debido a la fuerte extinción de la señal en esas direcciones. Las estrellas se dividieron en estrellas de disco delgado o de disco grueso en función de la velocidad tangencial. Los cuatro picos de formación estelar de los últimos 6 mil millones de años son evidentes, incluido el actual, aún no bien definido. [T. Ruiz- Lara et al.]

nacimiento de nuevas estrellas.

Aunque parece imposible reconstruir con precisión la secuencia de eventos, el estallido de formación estelar causado por la galaxia enana de Sagitario antes, durante y después del acercamiento de hace 5.700 millones de años es muy evidente tanto en el disco grueso como en el disco delgado. En estos dos componentes cinemáticos de nuestra galaxia, el equipo de Ruiz-Lara ha descubierto que, respectivamente, el 16% y el 24% de las estrellas podrían haber nacido como resultado de ese paso cercano de la galaxia enana. El Sol se encuentra en el disco delgado y, por lo tanto, podría estar dentro de ese 24%. Los acercamientos posteriores de la galaxia enana de Sagitario produjeron efectos menos relevantes en el disco delgado y efectos casi imperceptibles en el disco grueso, pero contribuyeron a aumentar la masa estelar de nuestra galaxia.

Lo contrario le sucedió a la galaxia enana de Sagitario. De hecho, un análisis de su contenido estelar mostró que entre 5 y 7 mil millones de años atrás, la formación de nuevas estrellas y el enriquecimiento químico eran los típicos de las galaxias enanas. Después de acercarse al pericentro hace 5.700 millones de años, la tasa de formación estelar colapsó, una señal de una notable pérdida de gas, probablemente adquirido por la Vía Láctea.

En este punto, ¿podemos decir que la chispa que dio origen al Sol, la Tierra y a nosotros mismos surgió de un paso cercano de la galaxia enana de Sagitario? Con certeza, no, debido a las dificultades a las que se enfrentan los investigadores para representar la dinámica orbital de la galaxia enana. Sin embargo, es innegable que la forma actual de la Vía Láctea y su masa estelar son, al menos en parte, el resultado de la acción de una multitud de galaxias satélite (se conocen unas sesenta), entre las cuales la galaxia enana de Sagitario ha desempeñado, ciertamente, un papel importante, más que el de las Nubes de Magallanes, que solo están en su primer acercamiento.

Sagitario también podría haber comenzado indirectamente la formación del sistema solar, favoreciendo el nacimiento de esa estrella masiva que luego produciría la supernova que muchos astrónomos consideran que es la fuente de nuestra existencia. Aún, permanecen abiertas todas las hipótesis.■