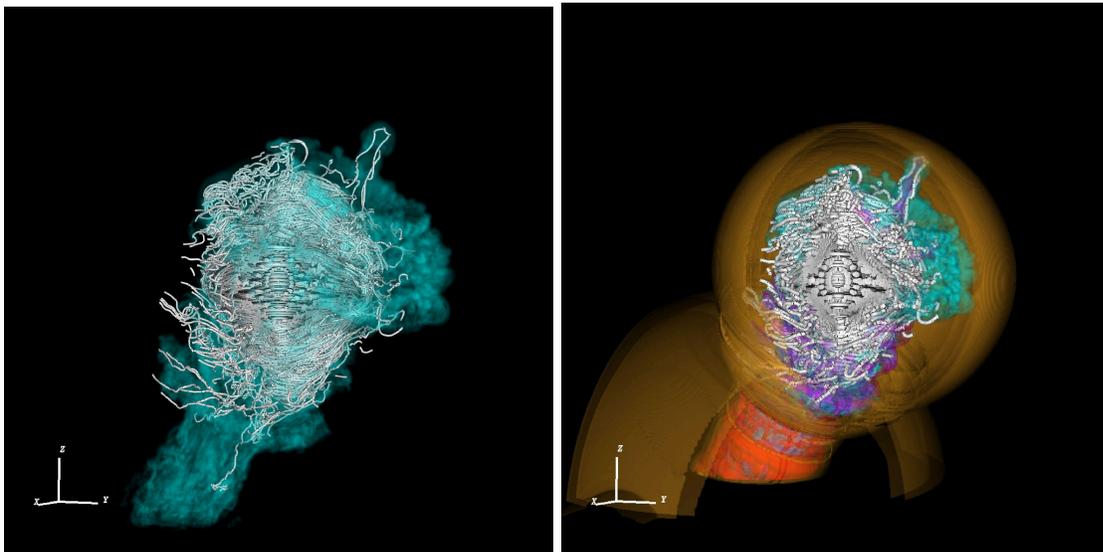


ES

## Nuevas simulaciones sugieren que las nebulosas de púlsares son influenciadas por la evolución de sus estrellas progenitoras

- Un estudio reciente liderado por investigadores del ICE-CSIC muestra que la forma y las propiedades de emisión de nebulosas de púlsares están directamente influenciadas por la historia evolutiva de sus estrellas progenitoras.
- El equipo usó simulaciones 3D para modelar la nebulosa creada por un púlsar errante de una estrella masiva que evolucionó y murió como una supergigante roja.



*Representación de los modelos magnetohidrodinámicos en 3D de nebulosas de viento de púlsar, considerados con y sin sus entornos complejos formados por su estrella progenitora antes de la explosión. Los diversos colores destacan la burbuja de viento estelar creada por la estrella progenitora masiva del púlsar a lo largo de su vida, así como los materiales que contiene. Los tubos blancos trazan las líneas del campo magnético en el viento del púlsar. Créditos: Meyer, D. M.-A. et al. (2025). 3D magnetohydrodynamic simulations of runaway pulsars in core-collapse supernova remnants. A&A, 696, L9.*

Los púlsares son un tipo de estrellas de neutrones con una rotación muy rápida y fuertes campos magnéticos que se forman tras una explosión de supernova. Cuando una explosión de supernova es asimétrica, puede dar al púlsar un 'impulso' fuerte, acelerándolo a velocidades supersónicas. A medida que el púlsar se mueve, la nebulosa formada por sus vientos interactúa con el medio que lo rodea, alterando significativamente su forma. Un nuevo estudio liderado por el Instituto de Ciencias del Espacio (ICE-CSIC) publicado en una carta al editor en la revista

*Astronomy & Astrophysics* demuestra que la forma y las propiedades de la emisión de estas nebulosas están directamente influenciadas por la historia evolutiva de sus estrellas progenitoras.

Inicialmente, el púlsar atraviesa los remanentes en expansión de la supernova, y luego se encuentra con diferentes capas de gas y polvo expulsados durante la evolución de la estrella progenitora. El equipo modeló la nebulosa creada por un púlsar errante de una supergigante roja usando simulaciones tridimensionales magnetohidrodinámicas con el código PLUTO, un código numérico para fluidos astrofísicos computacionales. Se trata de un software muy utilizado que permite simular el plasma astrofísico en general y el de entornos estelares en particular.

El equipo, compuesto por investigadores del ICE-CSIC y el Observatorio de París (Francia), utilizaron el superordenador MareNostrum en el Barcelona Supercomputer Centre (BSC, por sus siglas en inglés) y el superordenador Lise, un sistema computacional de alto rendimiento operado por la Alianza de Supercomputación de Alemania del Norte (HLRN, por sus siglas en alemán). El procesado de los modelos finales llevó 500.000 horas CPU para cada uno.

"Esas simulaciones, las más intensas de mi carrera a nivel computacional, muestran que los campos de la evolución de estrellas masivas y la física de los púlsares están intrínsecamente conectados, lo que abre un gran camino a la exploración", dice Dominique Meyer, investigador postdoctoral del ICE-CSIC.

Este estudio demuestra que las propiedades y apariencias físicas del viento de las nebulosas formado alrededor de púlsares jóvenes que se mueven rápidamente depende en gran medida del pasado de la historia evolutiva de su estrella progenitora. Los nuevos resultados 3D muestran que la historia de la estrella progenitora debe tomarse en cuenta definitivamente para delimitar mejor los entornos de los púlsares. Hasta ahora, este elemento ha sido ignorado en estudios científicos.

"Nunca antes se había considerado la historia estelar sobre el entorno de la nebulosa, ya que se asumían, como máximo, densidades fijas y constantes en el medio interestelar. No obstante, lo que la nebulosa encuentra cuando colisiona con el medio es significativamente dependiente de la totalidad de la historia de la estrella progenitora, lo que afecta en última instancia a su morfología. Necesitamos maneras de lidiar con estos efectos de una manera computacionalmente efectiva", explica Diego F. Torres, Profesor Investigador de la Institución Catalana de Investigación y Estudios Avanzados (ICREA) en el ICE-CSIC y en el Institut d'Estudis

Espacials de Catalunya (IEEC).

### **Nebulosas de viento de púlsar**

Los púlsares se encuentran entre las posibles etapas finales de la evolución de las estrellas masivas. Un púlsar también tiene viento y partículas cargadas que forman una nebulosa a su alrededor: las nebulosas de viento de púlsar. La estructura del área que lo rodea limita y da forma a la nebulosa, curvando sus chorros laterales hacia adentro y dándole una forma arqueada. Esto ha sido observado en púlsares como PSR J1509–5850, ubicado a unos 12.000 años luz de la Tierra, que generó una larga cola de emisión de rayos X tras de sí; y Geminga, situado a unos 500 años luz de la Tierra, que tiene una estructura de partículas estrecha y alargada directamente detrás, y estelas arqueadas de partículas que abarcan una distancia de medio año luz.

“Lo fascinante de este trabajo es la posibilidad de descubrir hasta qué punto la evolución de la estrella masiva influye en los entornos de los púlsares a través del viento de la nebulosa formada posteriormente. Y esto a pesar de que las estrellas masivas expulsaran sus vientos más fuertes millones de años antes de extinguirse como supernovas”, explica Meyer. Esta investigación demuestra que no sólo el movimiento rápido del púlsar da forma a la nebulosa, como se creía hasta ahora, sino también la manera en que vivió su ancestro masivo.

Por lo tanto, los resultados obtenidos implican la necesidad de una reconsideración de las simulaciones numéricas de nebulosas de viento de púlsar realizadas hasta ahora, como aquellas modeladas de la nebulosa del Cangrejo (el ejemplo más famoso de una nebulosa de viento de púlsar), así como una revisión de las interpretaciones actuales de las observaciones de nebulosas de viento de púlsar y remanentes de supernova pleriónicos (una nebulosa alimentada por el viento relativista de su objeto compacto central en rotación).

Los resultados mostrados en el estudio unen el campo de la evolución estelar de estrellas masivas con el campo de las nebulosas de viento de púlsar, dejando la puerta abierta a nuevas posibilidades de investigación. Por ejemplo, estudiar la historia estelar de nebulosas de viento de púlsar históricas como Geminga o la nebulosa del Cangrejo.

“El beneficio de este modelo piloto es enorme, ya que plantea la necesidad de una revisión completa del conocimiento sobre las nebulosas de viento de púlsar”, añade Meyer.

## Más información

Meyer, D. M.-A. et al., incl. Torres, D. F. Torres (2025). *3D magnetohydrodynamic simulations of runaway pulsars in core-collapse supernova remnants*. A&A, 696, L9.  
<https://doi.org/10.1051/0004-6361/202452991>

## Contacto

### Investigador de contacto

Dominique M.-A. Meyer (ICE-CSIC)

[meyer@ice.csic.es](mailto:meyer@ice.csic.es)

### Oficina de Comunicación y Divulgación del ICE-CSIC

Alba Calejero

[communication@ice.csic.es](mailto:communication@ice.csic.es)