

## Una mirada a la fusión y el plasma en el sol

*Desde hace años la ciencia viene estudiando el plasma por sus beneficios a la industria, y por otro lado con la intención de tratar de reproducir la fusión nuclear en la Tierra para generar energía sin producir residuos radiactivos. Ya hay un par de Hojitas que hablan de ellos<sup>1</sup>. Pero estas líneas son la mirada de ambos procesos, desde el punto de vista de una astrónoma.*

### El plasma

Los estados de la materia no son solo tres (sólido, líquido y gaseoso), por más que así se enseña en la escuela. Si uno eleva la temperatura mucho más allá del punto de ebullición<sup>2</sup>, cosa que solo ocurre cuando toda la sustancia se vaporiza y solo queda gas, sus átomos se ionizan (es decir, se liberan los electrones). Pero cuando el gas está completamente ionizado, ya no es un gas en el sentido estricto; porque ya no hay átomos neutros, sino núcleos y electrones coexistiendo por separado. A eso se lo llama *plasma*, el cuarto estado, y es lo que constituye la materia de las estrellas. Por supuesto que para que esto ocurra, las temperaturas deben ser muy elevadas, lo que se da fácilmente en este tipo de astros. Una estrella se forma a partir de una nube de materia interestelar que está constituida por diferentes elementos químicos, principalmente *hidrógeno*, el elemento más abundante en el Universo<sup>3</sup>. Si ocurre algo, como ser una onda expansiva que hace que los elementos de la nube se junten, y la gravedad actúa colectando más y más material, puede surgir una *protoestrella* (estrella en formación). Cuanto más material colecte este pequeño objeto, la gravedad irá aumentando, su materia se concentra más y más, aumenta su densidad, y en el centro se eleva la temperatura, porque cuando un gas se comprime, automáticamente se calienta<sup>4</sup>.

### La fusión

Cuando la temperatura en el núcleo de la protoestrella<sup>5</sup> alcanza los 2 millones de grados o más, en la escala de temperatura Kelvin<sup>6</sup>, dependiendo de la masa que haya colectado, la situación es tal que se dispara otro proceso normal en los núcleos de todas las estrellas, denominado *fusión*. Cuando la

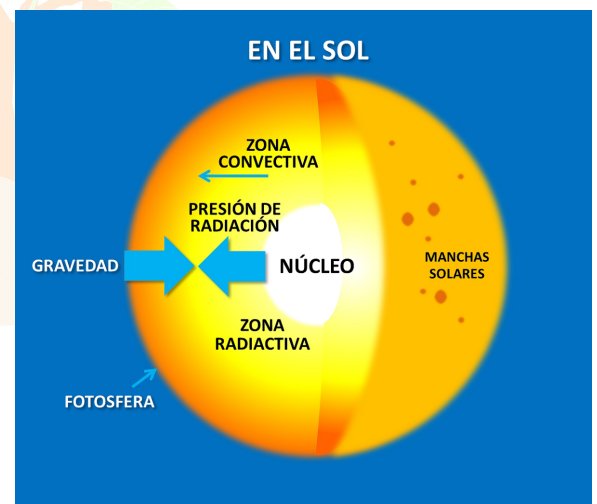


Autor

**Beatriz García**

Doctora en Astronomía (UNLP)  
 Investigadora del CONICET  
 Vicedirectora de ITeDA  
 Docente universitaria  
 Miembro de la Colaboración Internacional (Observatorio Pierre Auger – Proyecto QUBIC)  
 Ex presidente de la Comisión de Educación y Desarrollo de la Astronomía (IAU)  
 Autora del libro "Ladrones de Estrellas"

fusión se inicia, podríamos decir que la estrella nace. Nacer implica usar el combustible (hidrógeno) para algo, como en la producción de elementos más pesados que el hidrógeno. Se acepta que en todo proceso haya material de descarte; pero lo que para una estrella es descarte, es muy importante en la definición de su entorno y actúa sobre



los planetas que eventualmente la orbiten. Ese subproducto de la fusión<sup>7</sup> es lo que conforma la *energía electromagnética* que llega hasta la Tierra, y una parte de ella es la luz visible. La fusión responde a tres mecanismos distintos, que hoy conocemos como *ciclos o cadenas*<sup>8</sup>, que dependen de la masa de la estrella, y que ocurren a una velocidad increíble. Si la estrella es de masa mediana o pequeña, la que predomina es la llamada *cadena protón-protón*, en la que cuatro núcleos de hidrógeno se fusionan produciendo un átomo de *helio*<sup>9</sup> y otras partículas, emitiendo también *radiación gamma*.

### En el Sol

La cadena protón-protón es la fusión que nos interesa, porque es la predominante en nuestra pequeña estrella que llamamos Sol, con un núcleo a una temperatura de 15 millones, en la escala de temperatura Kelvin<sup>9</sup>. Podemos pensar al Sol como un eficiente y enorme *reactor nuclear*, en el que cada segundo 600 millones de toneladas de átomos de hidrógeno se transforman en 595,5 toneladas de helio, y el resto en partículas y radiación. El hidrógeno es el combustible que mantiene el mecanismo de fusión, asegurando el equilibrio entre la *atracción gravitatoria* que contrae al objeto, al atraer la materia hacia el centro, y la denominada *presión de radiación* que lo impulsa hacia afuera. Con el tiempo, el combustible se agota y en ese momento la estrella muere, la materia cae hacia el núcleo ante la ausencia de la presión de radiación y el objeto colapsa. En el caso del Sol, cuya edad es de unos 5.000 millones de años, se estima que el combustible durará unos 5.000 millones de años más, cifra que da bastante tranquilidad a nuestra generación. Una vez que la radiación electromagnética abandona el Sol, viaja por el espacio vacío a unos 300.000 km/s, tardando 8 minutos en llegar a nuestro planeta.

### En la Tierra

Al llegar a la Tierra, esta energía que se generó por el mecanismo de fusión en el núcleo del Sol y luego se transportó por radiación a través del espacio, se transforma en diferentes formas de energía. Esta energía es responsable de casi todos los fenómenos evolutivos que mantienen vivo a nuestro planeta. Es almacenada en las plantas mediante la *fotosíntesis*, y en las células animales permitiendo a cada uno de nuestros cuerpos desarrollar los trabajos típicos que requiere (mecánico, eléctrico y sintético). Por otro lado, en la Tierra se investiga la fusión como mecanismo muy eficiente para producir energía, queriendo imitar al Sol, pero a temperaturas bajas obtenibles en la Tierra.

*Este fenómeno natural que se inició hace*

*millones de años en el centro de una estrella, que demora millones de años en producir cambios y que es el responsable de que estemos escribiendo estas líneas, constituye un tema fascinante, y hay muchísimo más para leer y para investigar.*



Vincent Van Gogh - Sembrador a la puesta del Sol (1888) - Museo Kroller-Müller (Otterlo - Países Bajos).

#### REFERENCIAS

- 1 Ver Hojita "Una mirada al Proyecto Iter" y "Una mirada a las aplicaciones industriales del plasma".
- 2 El agua, a presión normal, a nivel del mar, hierve a los 100 °C.
- 3 El 90% de todo lo que llamamos materia normal es hidrógeno.
- 4 Por ley de Gay-Lussac, a volumen constante, la presión del gas es directamente proporcional a su temperatura.
- 5 ¿Cómo sabemos desde aquí lo que está sucediendo en el centro de una estrella? Podemos desde lejos estudiar su superficie y luego aplicar "modelos" a los datos. Es similar a estudiar el centro de la Tierra por lo que se manifiesta en su superficie. Al observar gas incandescente se aplican leyes de la física como la hidrostática, la hidrodinámica, la teoría de los gases, entre otras. Así es como se estudia la fusión. Cabe destacar la labor del científico alemán-estadounidense Hans Bethe, quien fue galardonado con el Premio Nobel de Física en 1967 por descubrir la nucleosíntesis estelar, mecanismo de producción de energía en las estrellas.
- 6 El cero Kelvin o cero absoluto, equivale a -273 grados Celsius.
- 7 Neutrinos, positrones o antimateria y fotones.
- 8 Existen tres cadenas o ciclos: la cadena protón-protón, el ciclo del carbono y el ciclo triple alfa.
- 9 De allí surge la denominación "fusión", término opuesto a "fisión" o división.

#### ABREVIATURAS

- CNEA: Comisión Nacional de Energía Atómica  
 CONICET: Consejo Nac. de Investigaciones Científicas y Técnicas  
 IAR: Instituto Argentino de Radioastronomía  
 IAU: International Astronomical Union  
 IB: Instituto Balseiro (CNEA – Universidad de Cuyo)  
 ITeDA: Instituto en Tecnologías de Detección y Astropartículas (CNEA-CONICET-UNSAM)  
 UNLP: Universidad Nacional de La Plata  
 UNSAM: Universidad Nacional de San Martín



**Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable**  
**Comisión Nacional de Energía Atómica**

Tel: 011-4704-1485 www.cnea.gov.ar/ieds  
 Av. del Libertador 8250 (C1429BNP) C. A. de Buenos Aires - República Argentina  
 Año de edición: 2020/3º ISBN: 978-987-1323-12-8

Publicación a cargo del Dr. Daniel Pasquevich y la Lic. Stella Maris Spurio.  
 Comité Asesor: Ing. Hugo Luis Corso - Ing. José Luis Aprea.  
 Responsable Científico: Dr. Gustavo Durfo.  
 Versión digital en www.cab.cnea.gov.ar/ieds  
 Los contenidos de este fascículo son de responsabilidad exclusiva del autor.