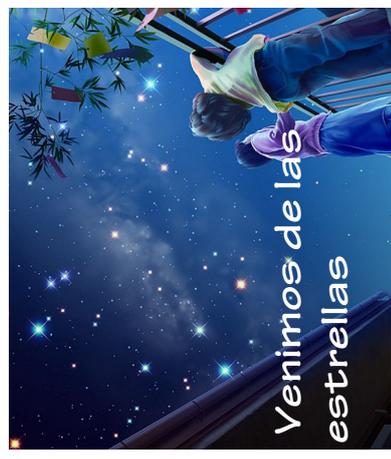




Grażyna Stasińska  
Observatorio de París

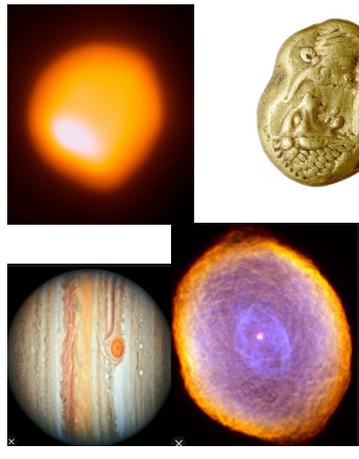


### El Universo en mi bolsillo



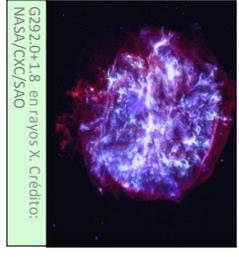
¿Cuál es el origen del oro?

### Test



### Vientos, colisiones, explosiones

Imagen de la nebulosa planetaria Ojo de Gato. Este objeto resultó de varios episodios de vientos estelares que emanaron de la estrella central, la cual está en el proceso de convertirse en una enana blanca.



G2920+1.8 en rayos X. Crédito: NASA/CXC/SAO



G2920+1.8: Un remanente de supernova procedente de una estrella de alta masa, la cual eyectó mucho oxígeno, magnesio y neón al medio interestelar.

Representación de la colisión de dos estrellas de neutrones. Pensemos que todo el oro del Sistema Solar se formó en eventos de este tipo.

Respuestas al dorso

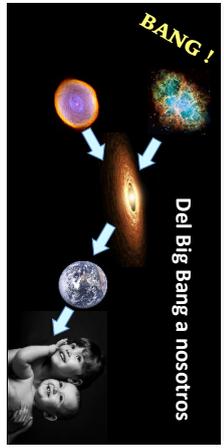
Parte de los **elementos** formados en las estrellas son eyectados al medio interestelar, mientras que el resto queda atrapado en los "cadáveres estelares": enanas blancas, estrellas de neutrones y agujeros negros. Las estrellas con masas menores a 8 veces la del Sol dispersan sus capas externas de forma pacífica, eyectando nitrógeno, carbono y algunos **elementos** más pesados que el hierro. Las estrellas más masivas acaban sus vidas en una espectacular explosión de supernova, expulsando carbono, oxígeno, neón, magnesio, silicio, entre otros. Durante esta explosión, se forman **elementos** pesados como el uranio. Otros **elementos** pesados, como el oro, requieren una densidad de **neutrones** muy alta para formarse.

De las estrellas a los seres vivos. Antes de formar parte de un ser vivo, los **elementos** deben pasar por muchas etapas que todavía no entendemos bien. Primero se forman nubes de moléculas y polvo, en las cuales nacen las estrellas. Cuando aún son jóvenes, estas estrellas están rodeadas de discos protoplanetarios, formados de grumos de polvo y hielo. Del material de esos discos se forman los planetas. Su composición química difiere según la distancia a la estrella: si están cerca, es más fácil que los **elementos** volátiles se disipen. También depende de la masa del planeta: cuanto menor sea, más fácil es que las partículas más ligeras se escapen. Cuando se forma el planeta, los **elementos** se segregan y el núcleo acaba con una composición distinta a la de la corteza. Finalmente, de los materiales de la corteza se forman los seres vivos.

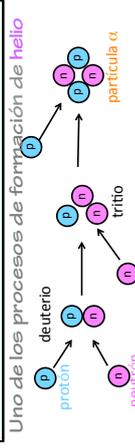
### De las estrellas a los seres vivos

Porcentaje de masa de los **elementos** químicos en distintos sitios

Elemento	Núm. de protones	Sistema Solar	Corteza de la Tierra	Cuerpo humano
H	1	70.5	0.14	9.5
He	2	27.5	-	-
C	6	0.30	0.030	18.5
N	7	0.11	0.005	3.2
O	8	0.96	46.6	65
Si	14	0.065	27.7	0.00002
S	16	0.040	0.050	0.3
Ca	20	0.006	3.6	1.5
Fe	26	0.117	5.0	0.006



George Gamow propuso junto con Alpher y Bethe la teoría de la formación de **hidrógeno** y **helio** primordiales en un artículo en 1948. En el artículo, los autores argumentaban que los otros elementos se formaron también en el Big Bang por la adición sucesiva de **partículas α**. Pero en esto último se equivocaban.



**Protón:** formado por tres partículas elementales, los quarks. Tiene carga eléctrica positiva y su masa es  $1.672649 \times 10^{-24}$  g. **Neutrón:** también formado por tres quarks, pero no tiene carga eléctrica. Su masa es  $1.674929 \times 10^{-24}$  g. **Electrón:** partícula con carga eléctrica negativa, con masa de alrededor de 1/2000 la del **protón**. **Hidrógeno:** el **elemento** más ligero. Consta de un **protón** y un **electrón**. **Helio:** el **elemento** más ligero tras el **hidrógeno**. Es estable y consta de una **partícula α** y dos **electrones**.

### Hidrógeno y helio

Cuando el Universo era muy denso y caliente ( $T = 10^{12}$  K), poco después del Big Bang\*, tan solo contenía partículas elementales de materia y 'granos' de luz llamados fotones. Al enfriarse, las partículas se combinaron en **protones** y **neutrones** por igual pero siguió bajando la temperatura y los **protones** predominaron por su menor masa. Cuando la temperatura cayó por debajo de  $10^9$  K, había 7 **protones** por cada **neutrón**.

Los **neutrones** y **protones** se combinaron entonces para formar **núcleos**. El **núcleo** más estable que pudo formarse en ese momento fue el de **helio**. Todos los **neutrones** disponibles se usaron para formar **helio**, resultando en un núcleo de **helio** por cada 12 **núcleos** de **hidrógeno** al finalizar la era primordial.

\*Ver TUIMP 1.2.

Los **núcleos** más pesados que el hierro se crean en condiciones distintas por la adición de **neutrones**.

Cuando el **hidrógeno** se acaba, el corazón de la estrella se condensa y sube su temperatura. Los **núcleos de helio** se fusionan en tríos para formar carbono, y el **hidrógeno** continúa produciendo **helio** en capas más externas de la estrella. Subsecuentes adiciones de **partículas  $\alpha$**  en capas distintas forman **núcleos** más pesados. Si la estrella es lo suficiente masiva, este proceso continúa hasta que se forma **hierro**.

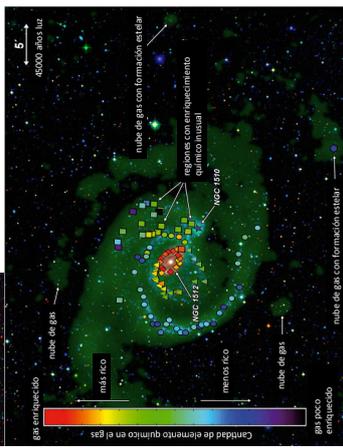
La fusión en las estrellas  
El interior muy denso y caliente de una estrella es el ambiente ideal para producir **núcleos** cada vez más grandes. Primero, los átomos de **hidrógeno** se combinan para formar **helio**. Esta es la fase más larga de la vida de una estrella. Casi todas las estrellas que vemos brillar obtienen su energía de este proceso.

Los **átomos** son los componentes elementales de la materia. Constan de un **núcleo** (el cual contiene **protones** y **neutrones**) y **electrones**. Los átomos se combinan para formar **moléculas**, las cuales comparando sus electrones. Las células del cuerpo humano están formadas por miles de millones de **moléculas**.

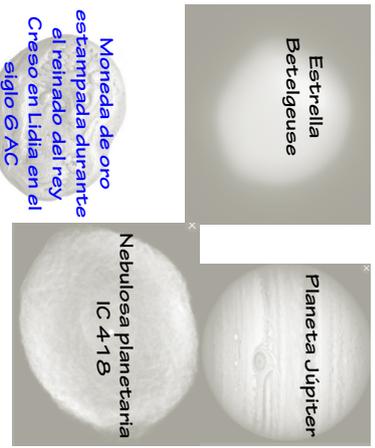
**La historia de la nucleosíntesis estelar:**  
Robert A. Eddington y A. E. S. Tjallingii publicaron su artículo "Síntesis atómica y energía estelar" en 1931. Hans Bethe identificó en 1938 y 1939 los dos mecanismos que transforman hidrógeno en helio en las estrellas. Fred Hoyle mostró en 1946 cómo los elementos se sintetizan a partir del hidrógeno. Margaret y Geoffrey Burbidge, William Fowler y Fred Hoyle publicaron en 1957 su muy detallado artículo "Síntesis de los elementos en las estrellas", y el mismo año Alastair Cameron publicó "Reacciones nucleares en las estrellas y nucleosíntesis".



Los símbolos indican la abundancia de oxígeno (rojo donde es abundante, azul donde es escaso).  
Crédito: López-Sánchez (AAO/MQU) & Koribali (CSIRCO)



Las galaxias NGC 1512 y NGC 1510 en luz ultravioleta. Las zonas brillantes son regiones que forman estrellas recientemente.  
Crédito: GALEX (NASA)



Moneda de oro estampada durante el reinado del rey Creso en Lidia en el siglo VI AC  
Remanente de supernova El Cangrejo  
Creemos que el oro se forma en colisiones de estrellas de neutrones, como se muestra en esta imagen

Planeta Júpiter  
Nebulosa planetaria IC 418

Respuesta

El viaje de los **elementos** por el medio interestelar puede ser tortuoso y verse afectado por colisiones entre galaxias. Los **elementos** eyectados en las explosiones de supernova pueden incluso salir al medio intergaláctico y acabar finalmente en otras galaxias.

De hecho, simulaciones numéricas recientes sugieren que parte de los **elementos** presentes en la Vía Láctea vinieron de otras galaxias.

La odisea cósmica de los elementos  
Tras ser expulsados al medio interestelar, los **elementos** inician un largo viaje por las galaxias, antes de ser atrapados por la formación de estrellas nuevas. Generaciones sucesivas de estrellas se vuelven cada vez más ricas en carbono, nitrógeno, oxígeno y otros elementos.

Este librito fue escrito en 2020 por Grazyna Stasińska del Observatorio de París (Francia) y revisado por Nikos Prantzos del Instituto de Astrofísica de París.

Imagen de portada: fragmento de una pintura del artista japonés KAGAYA



Traducción: Mónica Rodríguez TUMIP Creative Commons

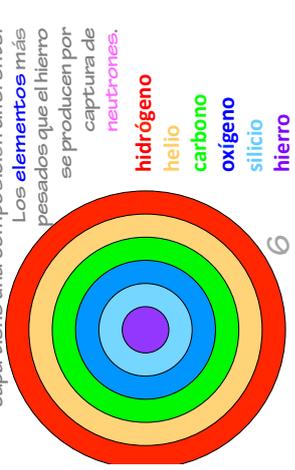
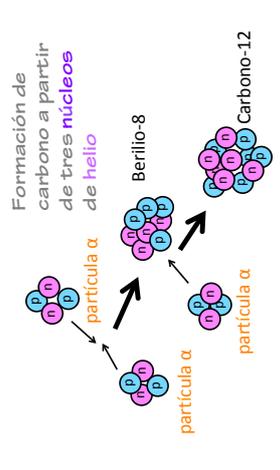


Diagrama de la estructura de una estrella masiva al final de su evolución. Cada capa tiene una composición diferente.



Nuestros cuerpos están compuestos de agua (63%), proteínas (20%), grasa (10%), azúcares (2%) y varios minerales (5%). Desde que se desarrolló la química a finales del siglo 18, sabemos que todos esos materiales están compuestos de **moléculas** complejas, las cuales contienen **átomos** de hidrógeno, carbono, oxígeno y otros **elementos** en menores cantidades. Estos **elementos** son los mismos que se encuentran en las plantas, en la corteza de la Tierra y en la atmósfera. Usando espectroscopia, los astrónomos han mostrado que esos mismos **elementos** también están en las estrellas. Pero no fue sino hasta la mitad del siglo 20 que los astrónomos consiguieron entender el origen de estos **elementos** y descubrir cuál estrecha es nuestra conexión con las estrellas.