

TEMA 2: El universo

- Los objetos que forman el universo
- El universo dinámico
- ¿De qué está hecho el universo?
- La alquimia de las estrellas
- Los agujeros negros
- La historia del universo

¿Cómo estudiamos el universo? El cielo nocturno ha fascinado a las personas desde la Antigüedad. Científicos o no, las personas nos hemos preguntado si el cosmos es infinito, a qué distancia se encuentran las estrellas o si existen otros seres vivos inteligentes en el universo. La humanidad utiliza tecnologías cada vez más poderosas, que resuelven antiguos problemas y permiten plantear otros nuevos.

OPINA. ¿Por qué a las personas nos fascina tanto observar el cielo nocturno?

1. Los objetos que forman el universo

Estrellas, galaxias y nebulosas Al mirar el cielo en una noche sin Luna se ven muchas **estrellas**, que son soles muy lejanos. Algunas noches se puede ver lo que parece un gran camino de estrellas que, desde antiguo, se llamó Vía Láctea. Los astrónomos terminaron por interpretar la Vía Láctea como el borde de un gran disco de estrellas, gases y polvo, al que dieron el mismo nombre y que incluía el Sol y la Tierra.

Con un telescopio casero se ven innumerables estrellas, que se perciben como puntos. Además, se pueden ver otros cuerpos que tienen formas difusas. Cuando descubrieron estos cuerpos, los astrónomos los llamaron nebulosas, porque les recordaban a las nubes, y creyeron que formaban parte de la Vía Láctea. Pero al estudiarlos con mejores telescopios, hallaron que muchos de estos cuerpos también estaban formados por estrellas y polvo y que estaban muy lejos de la Vía Láctea. Los denominaron **galaxias**.

Después se ha visto que las galaxias son los objetos básicos que forman el universo, como los átomos son las unidades básicas de la materia. Dentro de las galaxias existen nubes de gas y polvo, que son las auténticas nebulosas, como la nebulosa de Orión.



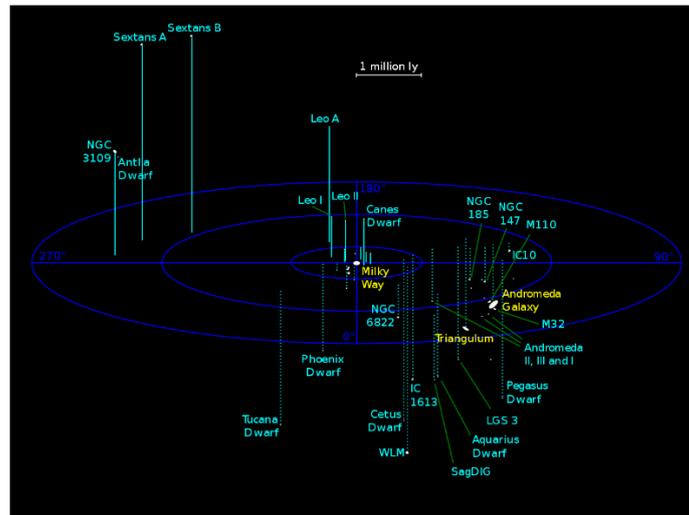
La Vía Láctea, nuestra galaxia.
A. La Vía Láctea es una banda más clara que se observa en el firmamento. Se corresponde con el plano de nuestra galaxia (M).



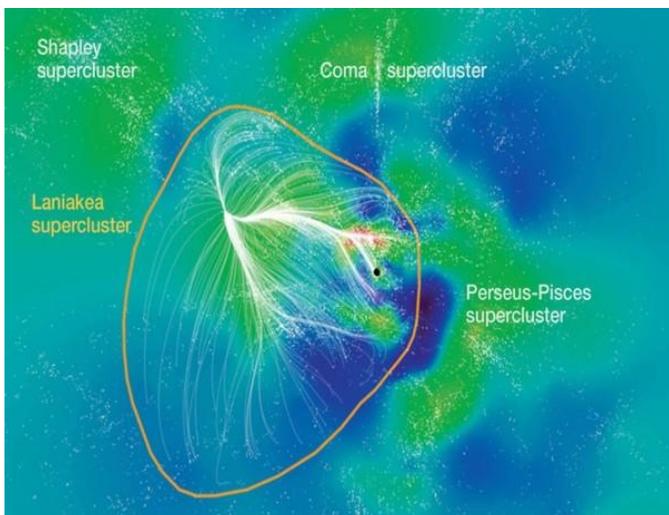
Galaxias y nebulosas. A. Con ayuda de un telescopio casero Andrómeda se ve como un objeto celeste con contornos difusos. B. Al observar Andrómeda con un telescopio más potente, se aprecia que está formada por un gran número de estrellas y polvo. Se trata de una galaxia. C. La nebulosa de Orión es una auténtica nebulosa, formada por gas y polvo, que se encuentra en la Vía Láctea.

Agrupaciones de galaxias

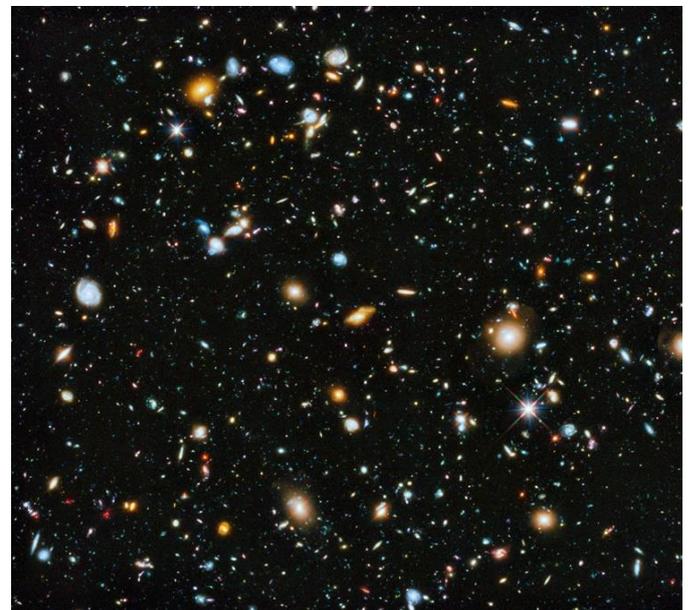
Las galaxias no se encuentran aisladas en el universo, sino que aparecen en grupos, reunidas por la atracción de la gravedad. La **Vía Láctea** pertenece a un grupo de unas treinta galaxias llamado **Grupo Local**. A su vez, los grupos se reúnen en conjuntos mucho mayores formados por miles de galaxias que se han llamado **cúmulos y supercúmulos**, en función del número de galaxias que los componen. El Grupo Local pertenece al **supercúmulo Laniakea** (que significa cielo infinito en lengua hawaiana), identificado en 2014. No se sabe si hay estructuras aún mayores. El problema que tienen los astrónomos para hacer mapas del universo es el mismo que tendría alguien que quisiera hacer el plano de un bosque desde el centro del mismo bosque.



En el Grupo Local hay tres grandes galaxias espirales , ocho medianas y unas quince menores ..



.Supercúmulo Laniakea. Corresponde a la zona del universo encerrada en el contorno naranja en este gráfico. Cada punto es una galaxia, y las líneas blancas indican su movimiento, atraídas por la gravedad, hacia un centro común. Las zonas rojas indican concentraciones de galaxias; las azules, vacíos



Campo de galaxias fotografiado por el telescopio espacial Hubble. En la imagen solo hay una estrella, todo lo demás son galaxias.

2. El universo dinámico

La gravedad

La gravedad mantiene unidas a las galaxias del Grupo Local. Tanto es así que las dos mayores galaxias del

grupo, Andrómeda y la Vía Láctea, se están acercando la una a la otra lentamente (“a solo” 400000 km/h), y se calcula que chocarán dentro de unos 6000 millones de años.

La gravedad retiene también a las galaxias pequeñas, que giran alrededor de las grandes igual que lo hacen los satélites alrededor de los planetas. La fuerza de la gravedad depende de las masas de los cuerpos, lo que ha llevado a una conclusión sorprendente: todas las galaxias (también la Vía Láctea) ejercen sobre otras galaxias cercanas una fuerza mucho mayor de la que deberían teniendo en cuenta la suma de la masa de sus estrellas, del gas y del polvo. Es decir, retienen estas galaxias satélites más cerca de lo que sería esperable con su masa.

Esto significa que tiene que existir una gran cantidad de masa en el universo que no se ve, y a la que se ha llamado por eso **materia oscura**. Esta materia, que permanece invisible, parece ser cinco veces más abundante que la materia que vemos. Aunque los astrónomos están convencidos de la existencia de la materia oscura, no saben cómo es.

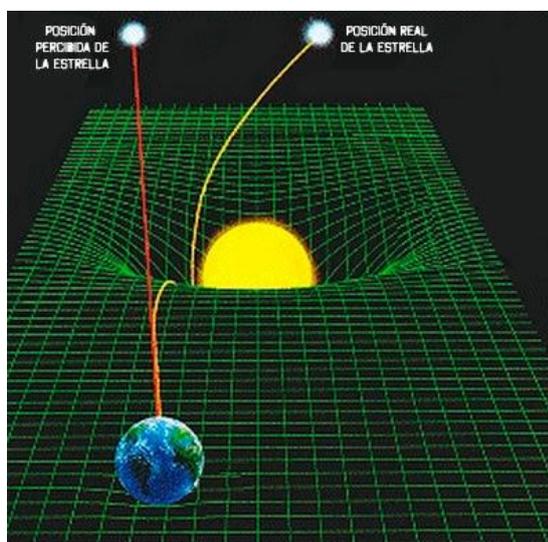
La gravedad según Newton y Einstein

Según Isaac Newton, la gravedad es una fuerza por la que los cuerpos con masa se atraen entre sí. Si los cuerpos se mueven, como los planetas en torno al Sol, la gravedad impide que escapen haciéndoles seguir trayectorias curvas. La fuerza de gravedad (F) depende de la masa de los cuerpos (M y m) y disminuye rápidamente con la distancia (d) entre ellos.

$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2}$$

Esta ecuación se aplica a multitud de situaciones, pero en algunos casos, especialmente en las proximidades de objetos de masa muy elevada, la fórmula de Newton no proporciona resultados exactos. Por ejemplo, no explica correctamente la órbita de Mercurio, el planeta más cercano al Sol.

En el siglo XX Albert Einstein propuso otro modelo para explicar la atracción entre los cuerpos. Según su **teoría de la relatividad general**, los cuerpos con grandes masas actúan sobre el espacio a su alrededor y lo deforman. Cuanto mayor es la masa del objeto, mayor es la deformación. Y es esta deformación del espacio lo que hace modificar la trayectoria de los objetos



En el dibujo se muestra cómo actuaría la gravedad en un espacio de dos dimensiones. La masa del Sol causa una deformación en el espacio, lo que provoca el giro de la Tierra a su alrededor. La luz también se desvía cerca del Sol siguiendo la deformación del espacio.

¿Adónde van las galaxias?

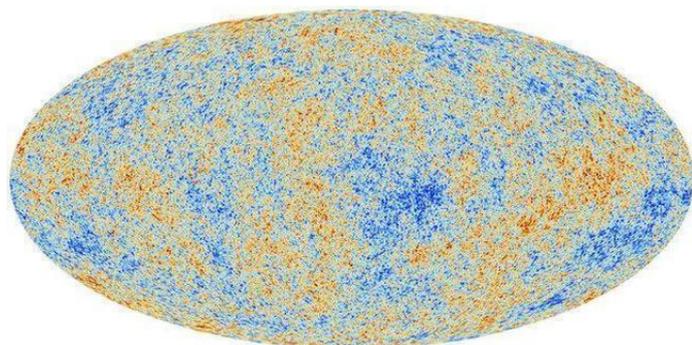
Si la gravedad fuera la fuerza dominante en el universo, las galaxias se irían acercando unas a otras y convergerían en un solo punto. Sin embargo, no ocurre así. Por el contrario, se ha encontrado que casi todas las galaxias se alejan unas de otras.

Esto se descubrió en 1929 al estudiar la luz que emitían distintas galaxias y al comprobarse que dicha luz era más roja cuanto mayor era su distancia a la Tierra. La explicación es que el movimiento de un objeto luminoso comprime o estira las ondas de luz que este emite. Si el objeto se acerca, las ondas se comprimen y, por tanto, la luz emitida es

más azul si se aleja, las ondas se alargan y la luz es más roja.

Este hallazgo hizo cambiar de opinión a los científicos, que, hasta entonces, pensaban que el universo permanecía estático. Si hiciéramos retroceder mentalmente las galaxias que ahora se están alejando, llegaríamos a un estado inicial en el que toda la materia estaría concentrada en una zona muy pequeña, a partir de la cual se expandiría.

Es la **teoría del big bang**, que se traduce como la «gran explosión». Esta teoría fue confirmada en 1965, cuando se descubrió que de todo el universo nos llegaban unas ondas muy débiles a las que se les dio el nombre de **radiación cósmica de fondo**. La única explicación que se halló para esta radiación es que se trata del eco de la gran explosión: algo así como esos truenos lejanos que se oyen al final de una tormenta.



La radiación cósmica de fondo, cartografiada por la sonda WMAP en 2003. Los colores amarillos y rojos representan densidades mayores que la media, y los azules oscuros, menores. Las diferencias son muy pequeñas, lo que significa que el universo inicial era muy homogéneo.

La fecha de nacimiento del universo

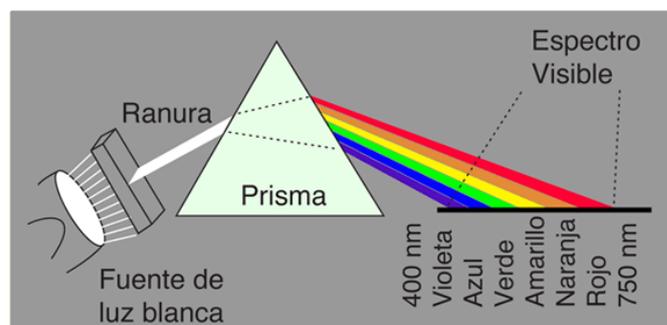
La velocidad de alejamiento de las galaxias nos proporciona un calendario para el universo. Como se comprobó que en las galaxias cercanas esta velocidad era proporcional a su distancia, se podía aplicar la fórmula del movimiento uniforme: $e = v \cdot t$; por tanto $t = \frac{e}{v}$

En 2006 se encontró el valor más preciso para el momento en que se produjo la gran explosión: ocurrió hace 13.800 millones de años.

3. ¿De qué está hecho el universo?

A principios del siglo XIX, el famoso filósofo Auguste Comte afirmó que la humanidad nunca llegaría a conocer de qué están hechas las estrellas. Parecía tener toda la razón: ¿cómo viajar hasta una de ellas, dónde atracar la nave, cómo tomar una muestra sin abrasarse y dónde analizarla sin quemar el laboratorio?

Espectro de la luz blanca. Al pasar por un prisma, la luz blanca se descompone en franjas de colores. Cada franja corresponde a una determinada longitud de onda, desde las radiaciones más energéticas (color violeta, menor longitud de onda) a las menos energéticas (color rojo, mayor longitud de onda).



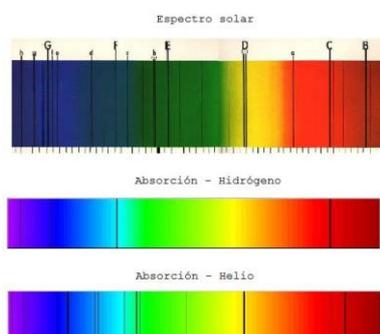
Los espectros de absorción

Este filósofo no previó el poder de la ciencia moderna. Un siglo después se descubrió que la luz emitida por un cuerpo calentado al rojo, al pasar por un prisma transparente, se descomponía en los colores del arcoíris. Esta banda de colores se denomina **espectro**. Además, se observó que cuando esta luz pasaba a través de un gas frío, aparecían sobre el espectro una serie de líneas oscuras, llamadas **líneas de absorción**, que eran tan típicas de cada elemento químico como las huellas dactilares lo son de cada persona.

Así, al enfocar hacia el Sol un telescopio con un prisma, se obtuvieron los primeros datos de su composición: el

más sorprendente fue el descubrimiento del elemento helio, que no se conocía en la Tierra. Hoy, la espectroscopía, como se llama esta técnica ha permitido descifrar la receta química del universo: 60% de hidrógeno, 37% de helio y 1% de oxígeno; los demás elementos se reparten el 2% restante.

El espectro del Sol muestra un gran número de líneas de absorción. Algunas de estas líneas se corresponden con las del hidrógeno y las del helio.



4. La alquimia de las estrellas

Durante la Edad Media, los alquimistas se empeñaron en descubrir la piedra filosofal para convertir metales como el hierro en oro, sin obtener ningún resultado útil. No podían saber que muchas estrellas realizan precisamente este proceso y que, en general, las estrellas son fábricas de nuevos elementos químicos.

El horno estelar

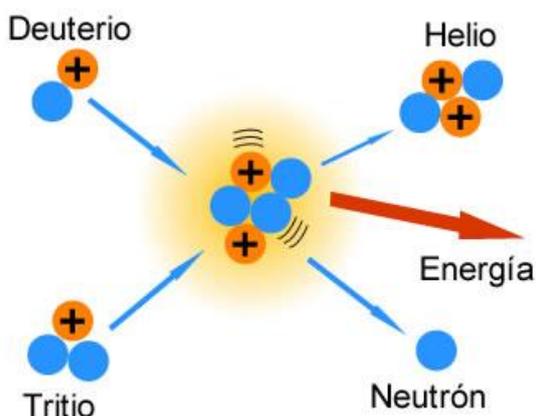
Para entender esta alquimia hay que tener en cuenta que las estrellas son una especie de gigantes globos de gas con una masa muy grande. Por ejemplo, la masa del Sol es, aproximadamente, unas 300.000 veces la masa de la Tierra. Podríamos esperar que la gravedad hiciera que toda esta masa tan grande se comprimiera y tuviera una densidad elevada. Sin embargo, no es así. La densidad media del Sol es de solo 1411 kg/m^3 , poco mayor que la del agua (1000 kg/m^3). ¿Por qué no es mayor esta densidad?

La respuesta es que en la zona central del Sol, su núcleo, la temperatura es muy elevada, unos quince millones de kelvin (K). En estas condiciones, los núcleos de hidrógeno, que contienen un protón, se mueven a enormes velocidades, suficientes para vencer la repulsión recíproca de las cargas eléctricas del mismo signo y hacer posibles los choques entre ellas. Hablamos de núcleos atómicos y no de átomos, porque a esas temperaturas los átomos han perdido sus electrones.

Cuando chocan de frente dos núcleos de hidrógeno, se inicia una serie de **reacciones nucleares de fusión** que, a través de choques sucesivos, acaban formando helio, un átomo con dos protones y dos neutrones. En estas fusiones se emite una gran cantidad de energía, la cual se escapa hasta alcanzar la superficie solar. Toda esta energía ejerce una presión hacia afuera que contrarresta la fuerza de la gravedad. Es la llamada **presión de radiación**. Por eso, las estrellas siguen siendo globos ligeros.



En las estrellas, la presión de radiación contrarresta la fuerza de gravedad, lo cual limita la densidad que pueden alcanzar



Producción de helio por fusión nuclear. Un núcleo de hidrógeno pesado (deuterio) con un neutrón choca con otro con dos neutrones (tritio) y da origen a un átomo de helio (dos protones y dos neutrones). En el proceso se libera un neutrón.

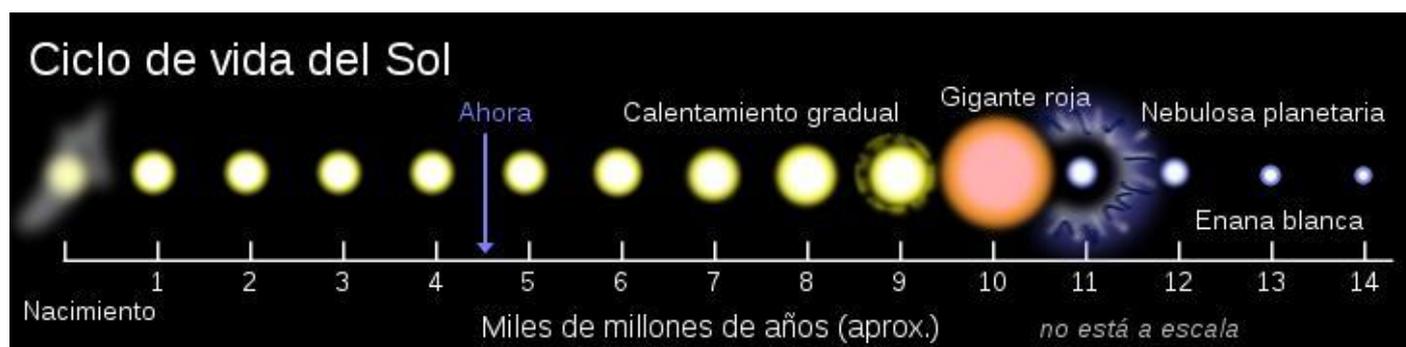
Puesto que el hidrógeno se va transformando en helio, llegará un momento en el que el hidrógeno del núcleo se agote. Es interesante que la velocidad a la que las estrellas consumen el hidrógeno depende de su masa. Cuanto mayor es la masa de una estrella, más rápido consumen el hidrógeno. Las estrellas gigantes tienen un núcleo muy grande que gasta el hidrógeno en poco tiempo. Son, por tanto, estrellas de vida muy corta, en torno a cuatro o cinco millones de años.

Las estrellas cambian: el fin del hidrógeno

Cuando en el núcleo de una estrella se agota el hidrógeno y se detiene la fusión ocurre un cambio importante. La fuerza de la gravedad ya no es contrarrestada por la presión de radiación, por lo que la estrella vuelve a contraerse y su temperatura aumenta. En el núcleo, esta podrá alcanzar los cien millones de kelvin, suficiente para que los núcleos de helio se fusionen, produciendo carbono.

Mientras, en las capas intermedias también se eleva la temperatura y se sigue transmutando el hidrógeno en helio. Al ser capas menos profundas, la energía de la fusión alcanza con más facilidad la superficie y la estrella se hincha. Como consecuencia, la superficie se enfría y el brillo de la estrella se hace rojizo (recuerda que el color rojo significa menor temperatura). La estrella recibe en esta fase el nombre de **gigante roja**. El Sol llegará a esta fase dentro de unos cinco mil millones de años cuando será tan grande que alcanzará y absorberá a Mercurio, a Venus y, quizá, a la misma Tierra.

En estrellas con una masa muy elevada, al menos ocho veces la masa del Sol, cuando el helio del núcleo se acaba, se produce una nueva compresión y el núcleo alcanza temperaturas tan altas que el helio se vuelve inestable y el proceso se repite, cada vez a mayores temperaturas, formándose sucesivamente oxígeno, neón, magnesio, silicio, níquel, cobalto y hierro. Estas últimas fases son muy rápidas: una estrella puede pasar miles de millones de años quemando hidrógeno y menos de un millón de años en el resto de las fases. Este conjunto de procesos se llama nucleosíntesis, porque en él se sintetizan núcleos de nuevos elementos. La nucleosíntesis normal acaba produciendo núcleos de hierro, con 26 protones y 30 neutrones. Estos núcleos son tan pesados que ya no sirven como proyectiles. Por tanto, una vez alcanzado este punto, la estrella se apaga como una caldera sin carbón.



El Sol en la actualidad y en el futuro, cuando el Sol se transforme en una gigante roja y quizá alcance la órbita de la Tierra.

La nucleosíntesis: las estrellas como fábricas de elementos

En cada tipo de estrella, y en función de su tamaño, se producen distintas reacciones, que se resumen en el siguiente cuadro:

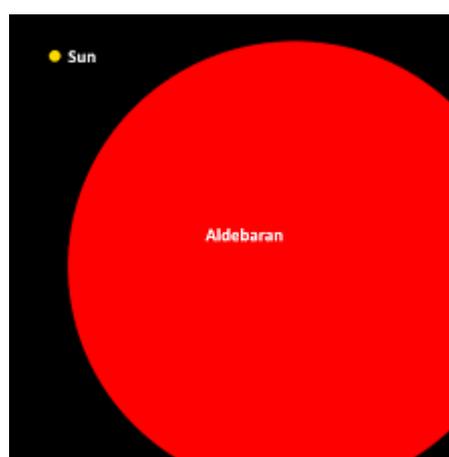
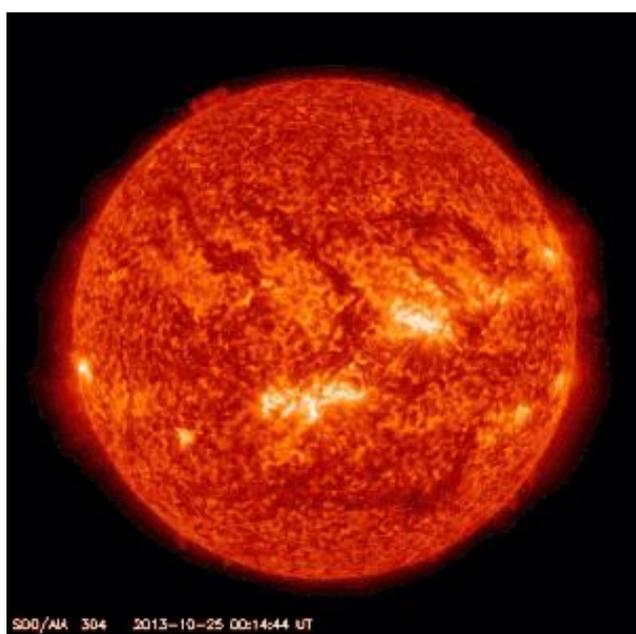
Proceso	Temperatura aproximada	Estrella
$H \rightarrow He$	15 millones de kelvin	El Sol, en la actualidad
$3He \rightarrow C$	100 millones de kelvin	El Sol, en el futuro
$C + He \rightarrow O$ $O + He \rightarrow Ne$ $Ne + He \rightarrow Mg$ $Mg + He \rightarrow Si$	1500 a 2000 millones de kelvin	Solo en estrellas gigantes
$2Si \rightarrow Ni \rightarrow Co \rightarrow Fe$	2700 millones de kelvin	

El fin de una estrella: los elementos más pesados

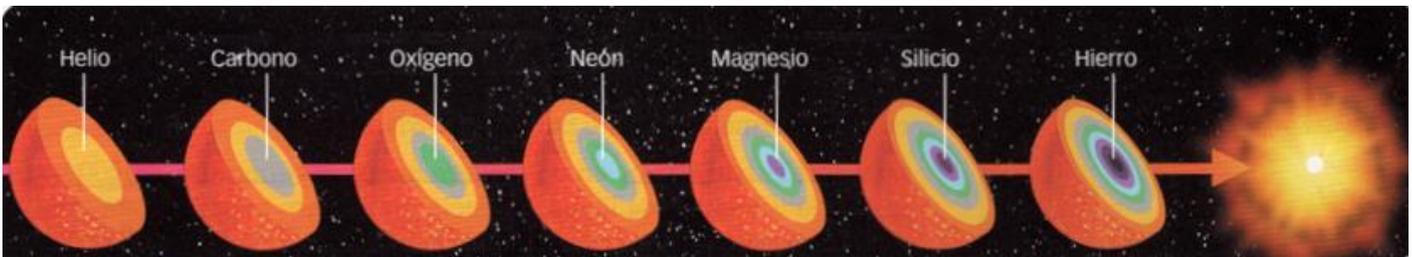
El parón del horno estelar ocasiona un drama, puesto que sin fusión nuclear que contrarreste la gravedad, esta aplasta instantáneamente la estrella. Pero en este proceso se libera una cantidad enorme de energía. Es fácil comprender por qué se libera tanta energía. El radio de una estrella gigante, como Aldebaran, alcanza los treinta millones de kilómetros. Esto quiere decir que una partícula de masa m tiene un largo viaje (h) desde su superficie hasta el núcleo. Su energía potencial U sería la siguiente:

$$U = m \cdot g \cdot h$$

En esta ecuación g es la aceleración de la gravedad, un valor muy elevado en una estrella, igual que h . La enorme cantidad de energía potencial de la estrella se transforma en energía cinética y, por choques mutuos de las partículas, en calor. El resultado es que la estrella explota como una supernova. Y, aprovechando esta enorme cantidad de energía, fabrica en pocos minutos, mediante choques caóticos, el resto de los elementos del sistema periódico: el oro, el platino, el uranio...



Aldebarán es una de las estrellas más brillantes del cielo. Es una gigante de color rojo anaranjado. En el dibujo se muestra su tamaño relativo comparado con el del Sol.



Evolución de una estrella, desde su inicio hasta su explosión como una supernova. En cada etapa se forman distintos elementos

La nucleosíntesis cambia la composición del universo. Al principio, había un 75% de hidrógeno y un 24% de helio, que ahora han cambiado a 60% y 37%, como vimos.

Pero nosotros no estamos en ninguna estrella. Así pues, ¿cómo llegan los nuevos elementos a planetas como la Tierra? La respuesta está en las supernovas. Cuando explota una supernova, lanza al espacio los nuevos elementos, que serán la materia prima para la formación de nuevas estrellas y de sus planetas. Se puede decir que la vida surge de la muerte de las estrellas

5. Los agujeros negros

Al final de su vida, tras haber sido una gigante roja, el Sol expulsará buena parte de su masa y quedará solo su núcleo caliente, que los astrónomos llaman enana blanca. A medida que se vaya enfriando, se transformará en una enana marrón y en una enana negra: un núcleo helado.

Agujeros negros estelares

Cuando la masa de una estrella es más de tres veces la masa del Sol, su destino es muy diferente. El hundimiento gravitatorio final hace que su núcleo alcance una densidad enorme. Esta gran concentración de masa genera un campo gravitatorio tan gigantesco que nada, ni siquiera la luz, puede escapar de él, por lo que estos cuerpos se denominan **agujeros negros**. Puesto que se forman a partir de una estrella, se llaman **agujeros negros estelares**.

Para entender bien esto es útil el concepto de velocidad de escape. Si queremos lanzar un proyectil a la Luna, hace falta vencer la gravedad terrestre, y eso requiere una velocidad mínima de 11,2 km/s. En cambio, para lanzarlo desde Marte, cuya gravedad es menor que la de la Tierra, basta con impulsarlo a 5 km/s. Por su parte, para lanzarlo desde el Sol, con su enorme gravedad, harían falta 617 km/s.

La velocidad de escape en un agujero negro es superior a 300.000 km/s, que es la velocidad de la luz. Es decir, un agujero negro es una trampa mortal para cualquier cosa, incluida la luz. Gracias a su enorme gravedad, los agujeros negros atraen la materia cercana a ellos, lo que hace aumentar su masa. La materia cae hacia el agujero negro girando como en el remolino de un desagüe hasta que alcanza el punto de no retorno, llamado **horizonte de eventos**.

Este proceso explica cómo podemos localizar los agujeros negros, a pesar de que no emitan luz. Al girar a velocidades cada vez mayores, la materia que va a caer en el pozo de gravedad se calienta tanto que emite una radiación muy energética, incluso rayos X, que sí podemos detectar.



Representación artística de un agujero negro que capta materia de una Estrella que orbita a su alrededor. El agujero va atrayendo materia de la estrella, con lo que se forma un disco de materia que, debido a su gran aceleración, se calienta tanto que emite rayos X.

Agujeros negros galácticos

Se ha descubierto que en el centro de las galaxias existen agujeros negros, llamados **galácticos** que se forman a partir de la concentración de materia en ese punto central. Estos agujeros negros galácticos pueden alcanzar masas enormes.

El que se encuentra en el centro de la Vía Láctea se llama **Sagitario A*** y tiene una masa que es cuatro millones y media de veces la masa solar. Por su parte, el mayor agujero negro conocido, situado en una galaxia lejana, equivale a 18000 millones de masas solares.

¿**Es peligroso Sagitario A***? El agujero negro del centro de la Vía Láctea atraviesa un periodo muy poco activo: en los últimos trescientos años parece que apenas ha devorado materia; en cambio, hay indicios de que pudo engullir grandes cantidades de materia hace unos cien mil años, quizá estrellas o nebulosas. Está rodeado de estrellas jóvenes que, de momento, no corren peligro. Incluso la más próxima, a 7.500 millones de kilómetros, está lejos del horizonte de eventos (7.700.000 kilómetros).

Las incógnitas de los agujeros negros

Los agujeros negros fueron descubiertos a mediados del siglo XX, pero últimamente se han convertido en un campo de batalla entre los científicos, que discuten varias cuestiones:

- ¿Los agujeros negros son eternos o más bien se evaporan, como ha propuesto nada menos que Stephen Hawking?
- ¿Se pierde la información que cae en un agujero negro (por ejemplo, las llamadas de un teléfono móvil)? Parecería que sí, pero la ciencia actual sostiene que la información no puede perderse.
- ¿El horizonte de eventos es un muro de fuego? (Esto es importante para que los astronautas sepan si al atravesarlo morirían aplastados o incinerados).

6. La historia del universo

El universo, tal como lo conocemos hoy, no se parece en nada al que surgió del big bang. Esta teoría no especifica en detalle cómo era el universo justo en ese instante, sino que describe, mediante observaciones (como la radiación cósmica de fondo), cálculos matemáticos y simulaciones de ordenador, cómo evolucionó a partir de entonces. Tampoco aporta nada sobre el tiempo anterior a la gran explosión, un tema pendiente para los científicos del futuro.

Veamos una secuencia que subraya los principales cambios sucedidos en estos 13.800 millones de años de historia del universo.

1. 10⁻³³ segundos: la etapa de inflación

El universo supercomprimido se expandió, creciendo a enorme velocidad: se ha propuesto que su tamaño aumentó 10²⁶ veces en una fracción de segundo. Pero muchos científicos no están de acuerdo con esta hipótesis, que hasta el momento no ha podido comprobarse. Una de sus consecuencias podría ser la existencia de **universos múltiples, o multiversos**

2. Tres primeros minutos: formación de partículas complejas

Este universo que se inflaba era muy caliente y estaba formado por una mezcla de partículas: fotones, electrones y quarks (los componentes del protón y el neutrón). Al enfriarse, algunas de estas partículas se unieron para formar neutrones y protones.

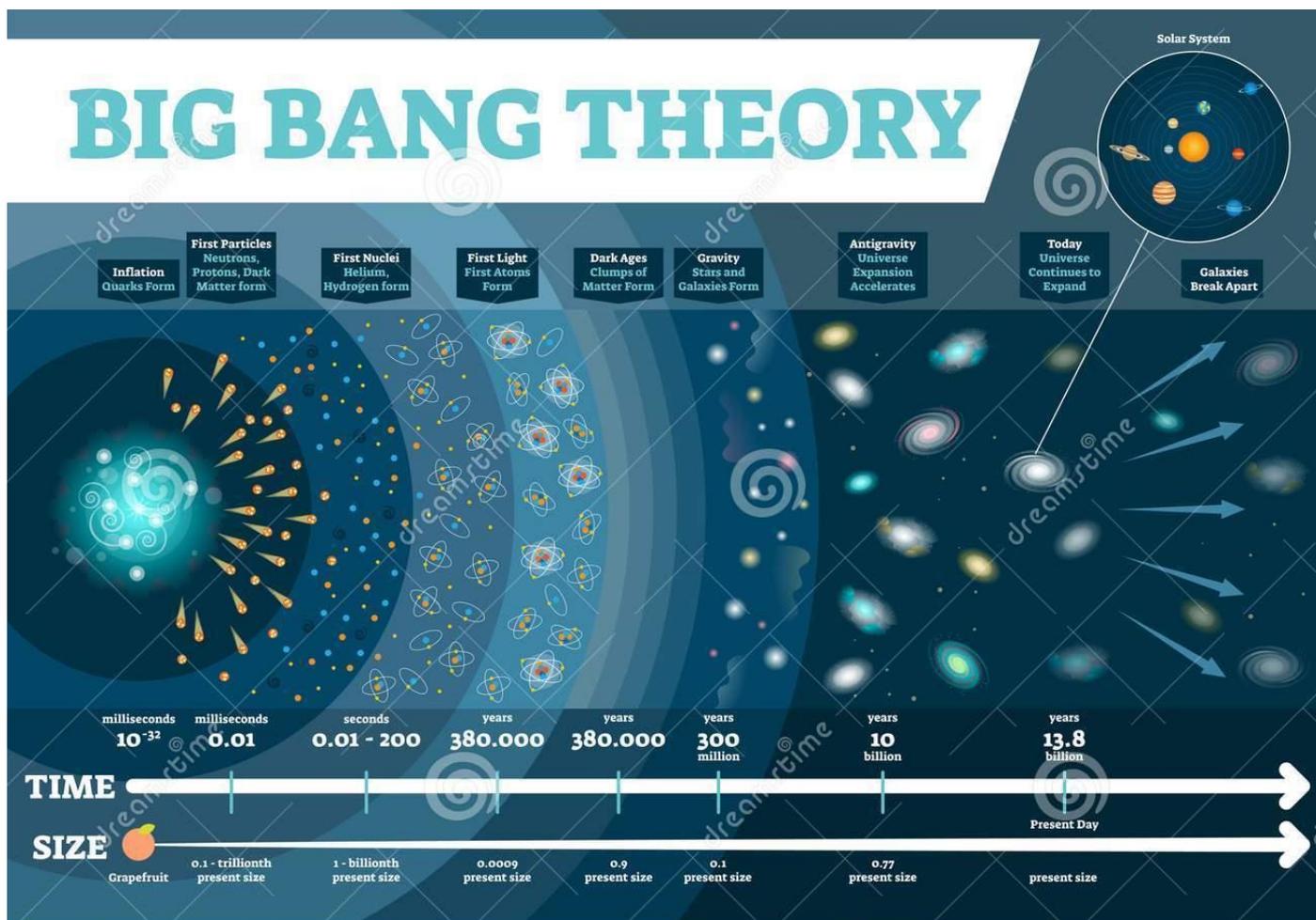
3. 370.000 años: primeros átomos, y primeras luces

La bruma de partículas elementales siguió enfriándose hasta que, por vez primera, los protones, neutrones y electrones pudieron unirse para formar átomos de hidrógeno, helio y litio. Esto supuso un cambio fundamental, porque al desaparecer las partículas con carga eléctrica, que interferían con los fotones, estos ya pudieron viajar libremente: surgieron los primeros rayos de luz. El resto de esta primera luz es lo que nos llega desde todo el universo como **radiación**

cósmica de fondo.

4. 300 millones de años: estrellas y galaxias

Las zonas del espacio que eran ligeramente más densas que el resto empezaron a atraer materia (Newton funciona!). Al chocar, estas partículas se calentaron tanto que en los puntos más densos surgieron las primeras estrellas, las cuales, poco a poco, se congregaron para dar galaxias.



Download from
Dreamstime.com
This watermarked comp image is for previewing purposes only.

ID 112764179
© Normaaals | Dreamstime.com

5. 9000 millones de años: el universo acelera su expansión

Las galaxias comenzaron a viajar a velocidades cada vez mayores ¿Qué es lo que provocó esta aceleración? Esta es la mayor incógnita existente hoy en el estudio del universo. Por el momento, los científicos han denominado **energía oscura** a esta fuerza misteriosa que actúa en sentido contrario a la fuerza de la gravedad.

7. Preguntas abiertas en el estudio del universo

¿Tiene límites el universo?

Las unidades de longitud que empleamos en un planeta son demasiado pequeñas para el universo. Las enormes distancias a las estrellas y, sobre todo, a las otras galaxias se miden en **años-luz**. Un año-luz es la distancia que la luz recorre en un año y equivale a 9.460.730.472.581 km, es decir, **unos nueve billones de kilómetros**.

Ahora que ya tenemos una unidad de medida y sabemos la edad del universo (13.800 millones de años), podemos hablar de su tamaño. **El universo observable mide 13.800 millones de años-luz**, que es la distancia que ha podido recorrer la luz en este tiempo. Esto es lo que se llama horizonte.

Pero ¿qué hay más allá del horizonte? Los científicos creen que en el universo rige el llamado **principio**

cosmológico que dice que, a gran escala, cualquier zona del universo es análoga a las demás. Este principio descarta que el universo tenga límites, porque un límite sería un lugar especial. De forma que, según la ciencia actual, el universo debe de ser infinito.

¿Existen otros universos, además del nuestro?

Es el momento de hablar de los multiversos, una derivación muy popular de la hipótesis de la inflación. En esta etapa, el crecimiento del universo sería tan brutal que este se rompería en burbujas que crecerían por separado, y cada una de ellas originaría un universo distinto, quizá con leyes físicas propias. El número de universos sería tan alto que cualquier acontecimiento imaginable -por ejemplo, lanzar una moneda al aire-tendría infinitos resultados posibles. Esta propiedad es fatal para poder demostrar la hipótesis, porque ningún experimento permite descartar una teoría que prevé cualquier resultado. Pero el problema de fondo es que la existencia de estos teóricos universos no se podrá comprobar jamás, ya que, por definición, permanecerían para siempre separados y sin ninguna posibilidad de contacto. ¿O tal vez nos equivocamos, como aquel filósofo del siglo XIX?



Representación artística de la hipótesis de los multiversos Esta hipótesis no se ha podido confirmar ni descartar y muchos científicos opinan que nunca se podrá.

¿Cuál es el futuro del universo?

Por desgracia, las predicciones no son muy optimistas: la energía oscura separaría las galaxias unas de otras a distancias tan grandes que, en la práctica, cada una quedaría totalmente aislada de las demás, como si fuese la única en el universo. Más adelante, las galaxias, las estrellas, los planetas y los mismos átomos se romperían, y sus restos quedarían separados. Esta hipótesis se ha llamado el **big rip** (gran desgarramiento). Pero podemos estar tranquilos: para eso, si es que de verdad ocurre, todavía faltan unos veinte mil millones de años.