

EL ORIGEN Y LA EVOLUCIÓN DEL UNIVERSO

El Universo nació, según muestran las observaciones en diversos campos astrofísicos, hace aproximadamente unos 14.000 millones de años. Tanto las imágenes de campo profundo que el telescopio espacial Hubble ha tomado de las galaxias más primitivas, como las que ha tomado los satélites COBE y WMAP de las irregularidades de la radiación de fondo en la etapa del inicio de la formación de las galaxias, muestran algunas de las aglomeraciones de materia más primitivas que empezaron a ser visibles cuando el Universo dejó de ser opaco a la radiación. Tenemos la oportunidad de ver estos objetos (primitivas galaxias y cuásares) tal como eran en el pasado más remoto, hace miles de millones de años. La razón es que la luz emitida desde estos objetos ha tardado todo este tiempo para recorrer los millones de años luz que los separan de nosotros.

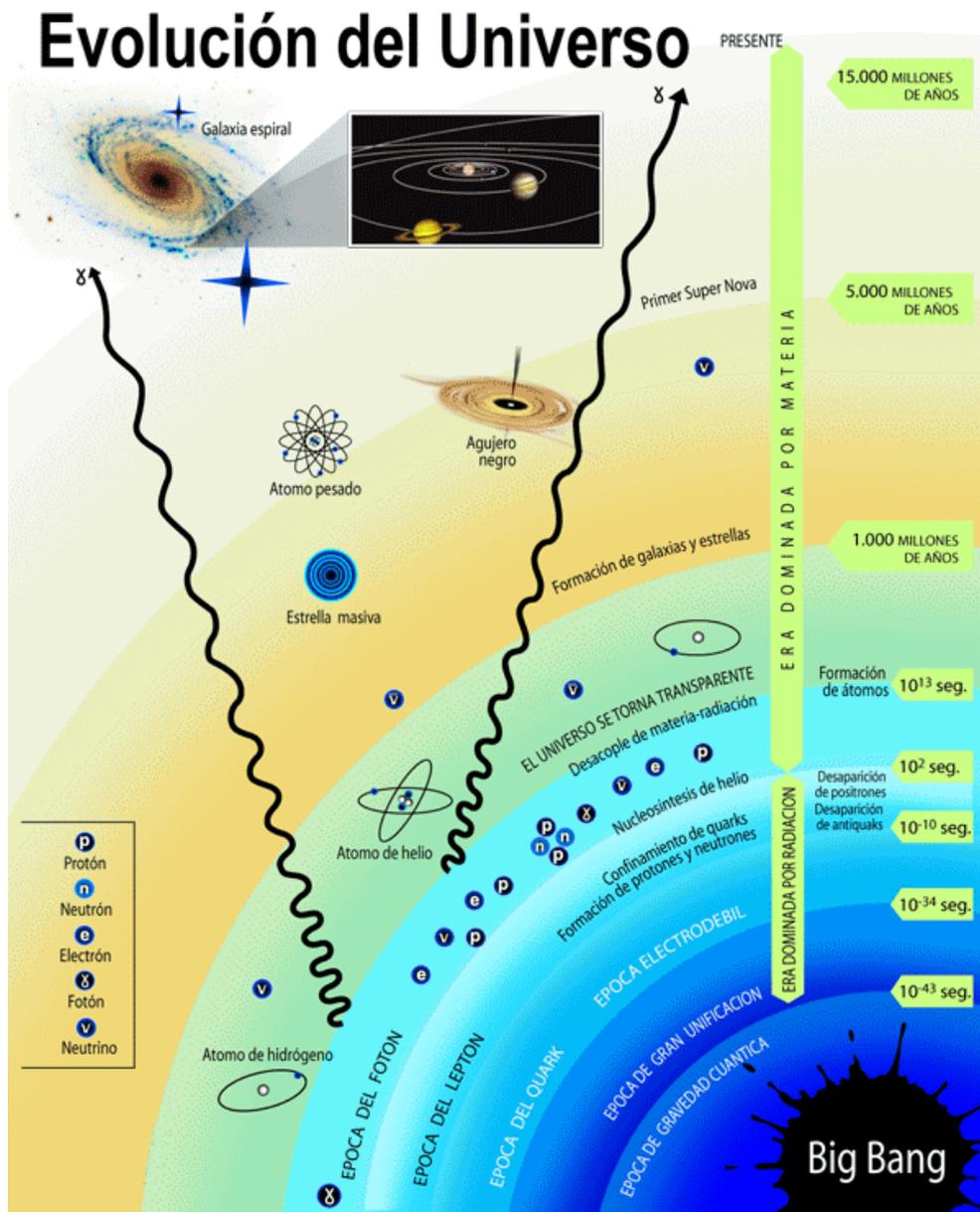
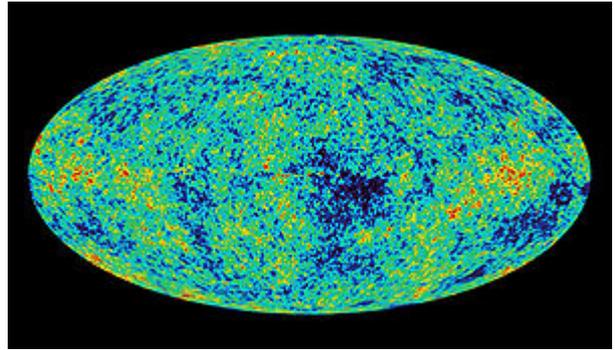
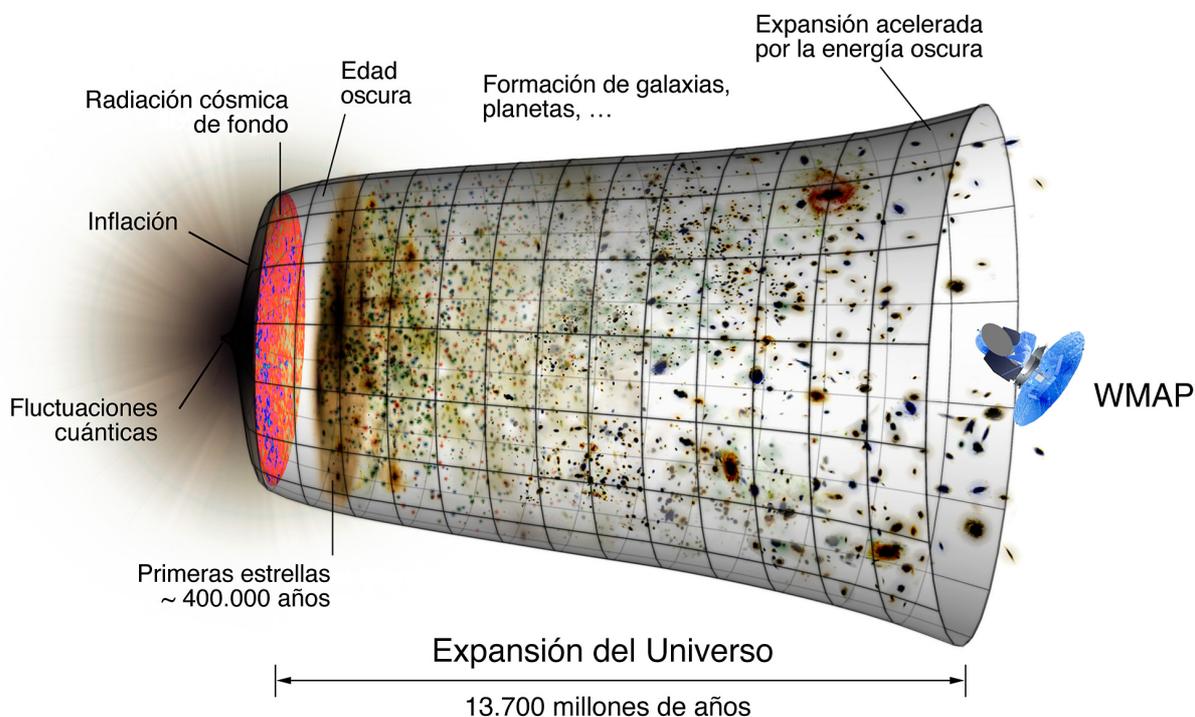


Figura 1.- Diferentes etapas en la evolución de nuestro Universo.



NASA/WMAP Science Team

Figura 2-. Representación de la expansión del universo.

El Universo es esencialmente homogéneo e isótropo, manteniendo una jerarquía ascendente entre planetas - estrellas - cúmulos estelares - galaxias - cúmulos de galaxias y supercúmulos de galaxias. Está formado mayoritariamente por hidrógeno (H) y helio (He) junto a otros elementos químicos mucho menos abundantes que conforman su diversidad química. Durante los primeros minutos después del Big Bang la temperatura se redujo lo bastante para producirse lo que se llama la nucleosíntesis primordial. En esta nucleosíntesis se sintetizó a partir de protones (hidrógeno) y neutrones, hidrógeno (H), helio (He) e ínfimas cantidades de litio (Li) y berilio (Be). Después de la formación de estos elementos químicos primordiales, la materia bajo la atracción gravitatoria se agrupó en inmensas nubes: las primitivas galaxias. A pesar de la expansión de las galaxias, localmente las nubes de hidrógeno y helio que las formaban se fueron comprimiendo nuevamente por efecto de la gravedad. Como consecuencia de ello se encendieron las primeras estrellas, que constituyeron la primera generación estelar aparecida en las primitivas galaxias. En el interior de estos globos de gas comenzaron las reacciones de fusión nuclear capaces de sintetizar a partir de hidrógeno y helio todo el resto de los elementos químicos de complejidad creciente.

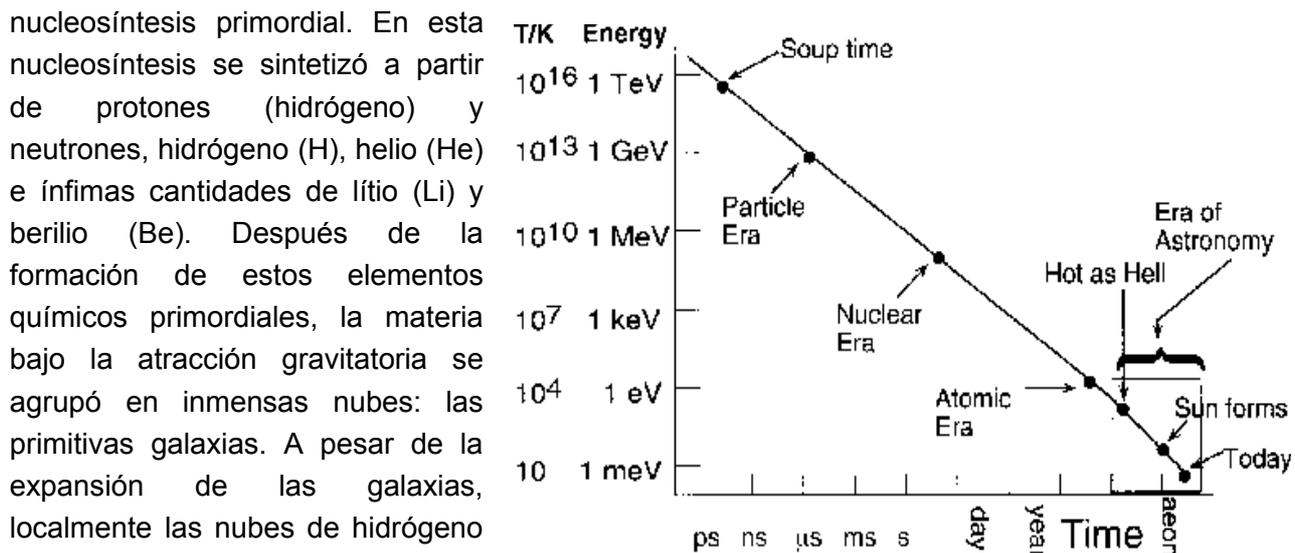


Figura 3-. Temperatura del Universo

En cierta manera podemos considerar las estrellas como los alquimistas que han permitido

que en el Universo aparezcan, después de millones de años de enriquecimiento químico, seres vivos tan complejos como nosotros.

EL INMENSO ZOO ESTELAR

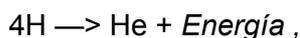
Al observar el cielo, quizás hayamos percibido que algunas de las estrellas más luminosas presentan ciertas tonalidades perceptibles a simple vista. Entre las más evidentes y contrastadas podríamos destacar el rojo intenso de Antares o Betelgeuse y el azul blanquecino de Rigel o Vega. Estas diferentes tonalidades nos evidencian que las estrellas que encontramos en nuestro cielo atraviesan diferentes etapas en su evolución.

Para estudiar la composición química de las estrellas se han desarrollado instrumentos que analizan la luz que nos llega desde ellas: los **espectrómetros**. Éstos descomponen la luz de una estrella mediante un prisma o una red de difracción para obtener las diferentes líneas "de color" que constituyen la luz estelar. El espectro en que se descompone la luz de cada estrella depende de la temperatura y la composición química que tenga. El estudio espectral de miles de estrellas ha permitido hacer una clasificación y agruparlas por el parecido entre sus espectros.

No obstante, el estudio de estos espectros ha permitido también identificar en ellas sus diversas fases dentro de los modelos de evolución estelar. Las fases evolutivas de las estrellas de diferentes masas generan elementos químicos nuevos y aumentan la complejidad química, lo que permite correlacionarlas con los diversos tipos de espectros estelares. Un hecho muy importante para ayudarnos a interpretar la **evolución química del Universo**.

DIFERENTES FASES EN LA VIDA DE LAS ESTRELLAS

En el Universo podemos distinguir dos tipos de estrellas: las que tienen una masa parecida a la solar y las que la superan en unas tres veces o más. Una estrella como el Sol, a causa de su limitada masa, no conseguirá en su interior la temperatura suficiente para sintetizar elementos químicos después del carbono. Ahora el Sol sintetiza helio a partir de una reacción primordial,



transformando en cada segundo miles de toneladas de hidrógeno en helio. En estos momentos, después de unos cinco mil millones de años de continua fusión de su hidrógeno, el helio se encuentra en el Sol en aproximadamente un 30% de su masa. Poco a poco el helio irá aumentando en detrimento del hidrógeno. Esta reacción se mantendrá dominante hasta que este elemento deje de ser abundante y se agote parcialmente en el interior. Cuando la mayor parte del hidrógeno del núcleo se haya agotado, la estrella necesitará una energía adicional para sostener la presión gravitatoria. Cuando tenga lugar esto, la estrella usará el helio (He) almacenado para producir carbono (C) en la reacción:



Una estrella como el Sol, en estos procesos debe generar suficiente energía en cada instante para contrarrestar la gravedad que aprisiona su contenido gaseoso. En el caso del Sol, durante los aproximadamente diez mil millones de años que dura su combustible nuclear, para producir energía en las reacciones de fusión la estrella tendrá que mantener un ritmo de reacciones suficiente para que la fuerza hidrostática del gas hacia fuera no sea vencida por la gravedad, sino que esté en un equilibrio constante.

De aquí a unos cinco mil millones de años el Sol dejará de tener combustible en su interior. La mayoría del hidrógeno y el helio inicial ya se habrán transformado y la fusión en sólo unas

estrechas capas no podrá continuar manteniendo la presión gravitatoria de la estrella. Dada su pequeña masa no podrá conseguir en su interior la temperatura suficiente para fusionar los productos químicos de los anteriores procesos de fusión. Los ciclos, no obstante, continuarán para las estrellas más grandes que el Sol, que tienen más cantidad de combustible y llegan a temperaturas más elevadas en su interior. La estrella paga un precio importante precisamente por su mayor tamaño: la necesidad de fusionar más cantidad de combustible para sostener la inmensa gravedad que la aprisiona. Así, en contra de lo que podríamos pensar en un principio, las estrellas más grandes tienen una vida más corta. Algunos monstruos estelares de más de cien veces la masa del Sol incluso no pueden vivir más de unos cientos de millones de años. Estos gigantes estelares viven aceleradamente, primero haciendo la misma síntesis de hidrógeno a helio que hacen las estrellas pequeñas: más tarde, del helio al carbono, y seguidamente, continúan produciéndose en ellas innumerables nuevas reacciones de fusión que sólo pueden tener lugar a altísimas temperaturas en su núcleo. El destino que espera a estas estrellas es una catastrófica destrucción en la que la estrella se hunde sobre sí misma para después estallar con una potencia inimaginable. Este proceso final en la evolución de las estrellas gigantes origina las llamadas **supernovas**. En pocos días, una supernova emite al espacio luz y materia con una potencia inimaginable ya que, de hecho, en estos procesos la luminosidad de una estrella puede ser del mismo orden de magnitud que tienen conjuntamente el resto de las estrellas de la galaxia.

Pero no solamente tenemos que ver los procesos de supernova como una catástrofe, sino como un ciclo que necesariamente ha de ocurrir en el Universo para que las estrellas evolucionadas viertan su contenido químico excepcionalmente rico por su entorno galáctico. Así, la explosión dispersa las capas estelares externas por el espacio, enriqueciéndolo y dando la posibilidad de formar otras estrellas. Los restos de una supernova enriquecerán las nubes existentes en el medio interestelar con lo que se consigue, a lo largo de millones de años, el aumento de complejidad química del Universo.

¿DÓNDE Y CÓMO NACEN LAS ESTRELLAS?

Las estrellas nacen en inmensas nubes de hidrógeno y helio que se denominan **nebulosas**. La gravedad hace que esas inmensas nubes tiendan, a formarse estrellas debido a la atracción de la gravedad. La gravedad inestabiliza la nube de gas y causa locales concentraciones de materia que tras un lento colapso forma las estrellas.

Nuestra **galaxia** contiene miles de nebulosas, regiones de formación estelar preferentemente situadas en los **brazos espirales**. En la actualidad se están consiguiendo imágenes de alta resolución que evidencian cómo la formación de estrellas se produce de manera generalizada en todas las galaxias.



Figura 4.- La Vía Láctea posee forma espiral debido a la rotación alrededor del núcleo que siguen las estrellas que la forman. Se indica la posición del Sol en ella.

¿CUÁNTAS ESTRELLAS HAY?

En la Vía Láctea se estima que deben existir cerca de trescientos mil millones de estrellas. Sin embargo, nuestra galaxia es tan sólo una isla en el océano cósmico. Las imágenes más profundas del Telescopio Espacial Hubble han revelado que deben existir varias decenas de miles de millones de galaxias en todo el Universo. Considerando que cada una de ellas contenga tantas estrellas como la Vía Láctea las cifras se hacen abrumadoras. En el Universo debe haber, que sepamos, cerca de un cuatrillón de estrellas. Hoy en día los crecientes descubrimientos de planetas extrasolares en nuestro entorno galáctico apuntan a que podamos esperar encontrar tantos planetas como estrellas en el Cosmos.

LA EXPANSIÓN DEL UNIVERSO: LEY DE HUBBLE.

A partir de los años veinte el aumento resolutivo de los telescopios proporcionó a V. Slipher y E. Hubble unas imágenes tan detalladas de las galaxias que evidenciaron dos importantes aspectos. Según observaban galaxias más alejadas, tanto más pequeñas parecían y además presentaban sus espectros un mayor desplazamiento hacia el rojo debido al efecto Doppler. De estas observaciones se derivó la ley de Hubble. Por tanto las galaxias más alejadas se alejan más rápidamente y su velocidad es proporcional a la distancia a través de la constante de Hubble ($v=H_0d$)

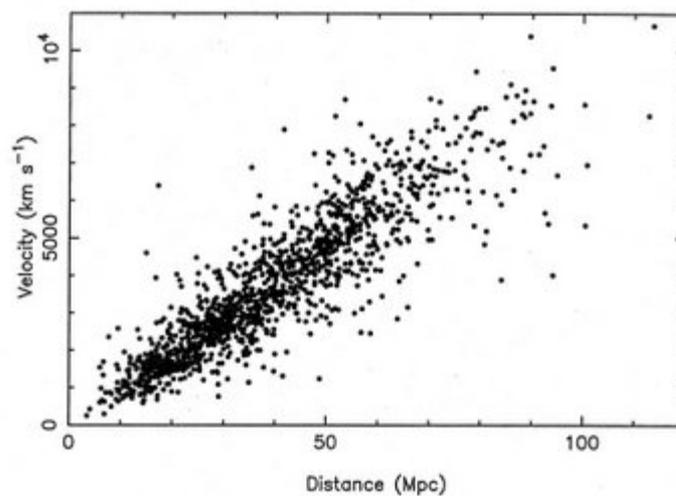


Figura 5. Velocidad frente a distancia para 1355 galaxias. El ajuste lineal nos lleva a la ley de Hubble.

CONCLUSIÓN:

"No somos ajenos a nuestro entorno cósmico. Ni nuestro planeta ni los seres que lo habitamos hubiéramos aparecido de no producirse la evolución físico-química del Universo. La riqueza del Sol, nacida de los restos de otras estrellas, ha permitido formar planetas a su alrededor y, que sepamos, al menos un oasis de vida: la Tierra. Pero, ¡jojo!: la homogeneidad química de nuestro entorno galáctico y las dimensiones del Universo indican que puede resultar muy pretencioso considerarnos únicos en el Cosmos."