



Ciclo de charlas de “Astronomía”

A Dying Star Shrouded by a Blanket of Hailstones Forms the Bug Nebula NGC 6302



Contacto: Eliette Angel V. Periodista Núcleo Milenio de Estudio en Supernovas.
Depto. de Astronomía de Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la U. de Chile.
e-mail: eangel@das.uchile.cl **Fono:** 9771126 **Página web:** www.das.uchile.cl

Supernovas y el origen de los elementos

1. Big Bang

Aunque sea muy difícil de imaginar, en un principio no había nada. ¡Absolutamente nada!

Hace unos 14 mil millones de años, no había ni materia ni luz. Ni siquiera existían el tiempo y el espacio.

En este vacío desolador, de pronto -y sin explicación-, aparece un punto de energía. Este pequeño punto, increíblemente, contenía todo nuestro Universo: todo el espacio, la materia y la energía.

De pronto, ¡paf! Una gran explosión, el Big Bang. No tenemos idea de cómo ni por qué ocurrió. Pero desde ese instante, empieza a correr el reloj del tiempo. Y junto con éste, el espacio también empieza a avanzar. Porque tiempo y espacio están íntimamente ligados.

Lo de la teoría del Big Bang no es una idea loca que simplemente se les ocurrió a los científicos. No, no, no. Se basan en evidencias, en observaciones que han realizado con sus instrumentos, como los telescopios.

La principal de estas evidencias la realizó el famoso astrónomo Edwin Hubble. Él, en 1929, afirmó que el Universo se estaba expandiendo: se dio cuenta de que las galaxias (estructuras que contienen miles de millones de estrellas) se alejaban entre sí. Si se distanciaban, necesariamente el Universo debía crecer, expandirse. Con este dato, luego midieron la velocidad a la cual se alejan estas galaxias. Así los científicos supieron cuan rápido “crece” el Universo (su tasa de expansión).

Inmediatamente después del Big Bang, la temperatura del Universo era tan alta, había tanta energía, que la materia comenzó a brotar espontáneamente. Fue la época más agitada del Universo: nacían y morían rápidamente partículas pequeñísimas (subatómicas).

Era un baile frenético. Antes del primer segundo después del Big Bang ya habían surgido los protones y neutrones. A los tres primeros minutos, estas partículas básicas ya formaban los primeros elementos químicos: Hidrógeno y Helio. Y pequeñísimas cantidades de Litio. Fueron los únicos tres elementos químicos que surgieron de esta síntesis primordial.

¿Y qué hay del resto, del Calcio de nuestros huesos, del Oxígeno que forma parte del agua que tomamos o del Hierro que está en los glóbulos rojos que componen nuestra sangre? Bueno, para que estos elementos surgieran tuvo que pasar muchísimo tiempo en la historia del Universo.



Supernovas y el origen de los elementos

2. Las estrellas. Nuestro Sol

Luego del Big Bang y de la creación de los primeros tres elementos (Hidrógeno, Helio y Litio), el Universo continuó expandiéndose y enfriándose sin mucha actividad durante algunos millones de años.

Todo estaba tranquilo, hasta que empezó a jugar un papel fundamental la gravedad, la fuerza de atracción que sienten todos los objetos. Ésta dio origen a las primeras estrellas y galaxias.

Pero, ¿cómo nace una estrella?

Por efecto de la gravedad, se contraen -o colapsan- nubes muy frías, tenues y ricas en Hidrógeno. En este proceso, aumenta la temperatura y la densidad (muchísima masa en poco espacio o volumen). Esto, a su vez, hace que el centro de esta nube atraiga más y más materia. El colapso se hace inevitable.

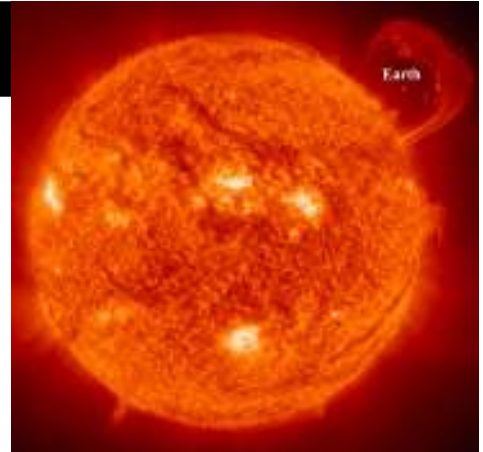
Cuando la temperatura en el núcleo o centro de esta estrella naciente (protoestrella) alcanza algunos millones de grados, comienza la famosa fusión nuclear: los núcleos de Hidrógeno se unen para formar Helio.

Dos fuerzas "juegan" con la estrella. Por un lado, está la fuerza de gravedad que quiere contraer a la estrella hasta convertirla en apenas un punto ("presión hacia dentro"). Y, por otro, la energía que se libera por la combustión nuclear es tan grande que empuja las capas de la estrella hacia el exterior ("presión hacia fuera"). Ninguna de las dos fuerzas gana: se dice que la estrella está en equilibrio.

Debido a que la materia en el Sol se convierte directamente en energía, la cantidad de energía que produce la fusión es gigantesca. Debes haber escuchado hablar del físico Albert Einstein y su famosa ecuación $E = mc^2$. Ésta quiere decir que existe una equivalencia entre la energía (E) y la masa (m). "c" es la velocidad de la luz: 300 mil kilómetros por segundo. Como ejemplo, si convirtiésemos un sólo gramo de masa en energía, sería el equivalente a quemar ¡3.750 toneladas de carbón!

Una estrella, como nuestro Sol, pasa la mayor parte de su vida produciendo energía mediante el proceso de fusión: cuatro átomos de Hidrógeno se unen para formar uno de Helio. Para que esto pueda ocurrir, el núcleo del Sol debe tener 15 millones de grados Celsius.

Nuestra estrella convierte cada segundo, cerca de 4 millones de toneladas de materia en energía. Como pierde tanta masa el Sol en tan poco tiempo, ¿nuestra estrella morirá pronto? No, porque el Sol es muy grande (aunque existen estrellas muchísimo más gigantes). Una persona, promedio, pesa unos 60 Kg. El Sol pesa un 2 seguido de 30 ceros (2×10^{30} Kg).



El Sol tiene unos 5 mil millones de años. Y se calcula que tiene Hidrógeno para “quemar” por unos 5 mil millones de años más. Es decir, se encuentra en la mitad de su vida como estrella.

Cuando se acaba el Hidrógeno en el núcleo -ya todo está transformado en Helio-, se debilita una de las fuerzas, la que empuja hacia fuera. Entonces, la fuerza de gravedad (“hacia dentro”) hace de las suyas: el núcleo de la estrella comienza a contraerse lentamente. Al mismo tiempo, aumenta su temperatura y densidad. Cuando la temperatura sea lo suficientemente alta, unos 200 millones de grados Celsius, el núcleo inerte de Helio se encenderá.

Nuevamente ocurrirá la fusión pero, esta vez, tres átomos de Helio se juntarán para formar uno de Carbono, un elemento fundamental para la vida. Tú mismo y la mina de grafito de tu lápiz están formados por átomos de Carbono creados en el centro de alguna estrella que ya murió.

En el caso de nuestro Sol, cuando termine de convertir todo su Helio del núcleo en Carbono, no será capaz de quemar este último elemento. La fuerza de gravedad que genera esta estrella no es capaz de comprimir lo suficiente su núcleo de Carbono. Y, por lo tanto, no se pueden crear nuevos elementos. En este punto, este núcleo inerte comienza a enfriarse lentamente. Entonces pasa a llamarse **enana blanca**. Las capas exteriores de la estrella se expanden y forman una hermosa **Nebulosa Planetaria**, que es iluminada por la enana blanca.

Sólo las estrellas de alta masa podrán formar elementos más pesados. Su muerte, será aún más espectacular: una **Supernova**.

Supernovas y el origen de los elementos

3. Estrellas de alta masa y Supernovas

La vida de las estrellas de alta masa (~ 10 veces más grandes que el Sol) es similar a la de nuestra estrella. Pero ocurre mucho más rápido.

Estas estrellas generan tanta energía que agotan su Hidrógeno en sólo algunas decenas de millones de años. Luego, de la misma forma que lo hará el Sol, comienzan a quemar Helio en su centro para formar Carbono. Una vez que

se agota el Helio, el núcleo se contrae de nuevo, aumentando su temperatura, con lo que comienza a fusionarse el Carbono para producir Oxígeno. Así, se continúan produciendo átomos cada vez más pesados hasta terminar con un núcleo de Hierro y una serie de capas alrededor de éste. Son cenizas de las etapas previas de fusión y contienen Silicio, Neón, Oxígeno, Carbono, Helio y una capa de Hidrógeno que no alcanzó a quemarse.

Cuando se forma el núcleo de Hierro, al igual que en las etapas anteriores, éste comienza a contraerse para producir la fusión. Sin embargo, los núcleos de Hierro son los más estables de toda la naturaleza y no liberan energía cuando se fusionan.

La estrella pierde su fuente de energía, es decir, pierde presión interna. Esto hace que la estrella se contraiga aún más rápido. En estas condiciones de extrema densidad interna, los protones (positivos) de los núcleos atómicos se combinan con los electrones (negativos) para formar neutrones (sin carga).

Los electrones habían sido los mayores responsables de mantener la presión y el equilibrio. Al desaparecer éstos, el colapso es inevitable. Este proceso se llama **colapso gravitacional**. En menos de un segundo, el enorme núcleo de la estrella, que había existido por millones de años, se desploma alcanzando un tamaño de apenas unos 20 Km. Todo esto sucede a una enorme velocidad: a unos 75 mil Km. por segundo. ¡Es casi como dar dos vueltas a la Tierra en un segundo!

El colapso, finalmente, es detenido por la inmensa fuerza de repulsión que generan los neutrones (que ya están "pegados" entre sí). En ese instante, el núcleo mide apenas unos pocos kilómetros de diámetro. Ha nacido una **estrella de neutrones**.

El colapso del núcleo es tan rápido, que las capas más externas de la estrella no alcanzan a participar de la formación de la estrella de neutrones. Cuando la envoltura comienza a desplomarse hacia el centro, ésta se enfrenta con una inmensa oleada de **neutrinos**, partículas subatómicas bastante antisociales, que normalmente no interactúan con nada. Sin embargo, en estas condiciones, son capaces de revertir la caída de las capas externas, expulsándolas a enormes velocidades. A este proceso increíblemente energético se le denomina **Supernova**. Sólo una Supernova puede llegar



Supernova 1987A

a ser más luminosa que toda una galaxia, que está formada por miles de millones de estrellas.

Durante esta explosión, la energía es tan alta que se crean elementos más pesados que el Hierro, como el Oro, el Uranio o el Cobre. Además, se expulsan los elementos más livianos que el Hierro, que fueron creados antes de la explosión.

Pero, ¿qué pasa si el flujo de neutrinos no es capaz de detener la caída de las capas externas de la estrella original? En ese caso, las capas externas se unen al núcleo. Obviamente, éste aumenta su masa hasta tal punto que la fuerza de repulsión entre los neutrones es incapaz de soportar la implacable fuerza de la gravedad.

Toda la masa colapsa en un punto infinitamente pequeño.

La gravedad de este punto es tan grande, que ni siquiera la luz puede escapar. Surge un **agujero negro**. Estos objetos no emiten luz. Entonces, ¿cómo se pueden observar? Porque igual delatan su presencia: cuando la materia se acerca lo suficiente a éste, igual que un imán, comienzan a atraerla. Justo antes de ser devorada por el agujero negro, emite su “último grito de auxilio”: libera una gran cantidad de energía.

Reciclaje Estelar

Antes de las Supernovas, no existían el tipo de átomos necesarios en el Universo para formar planetas compuestos de rocas y minerales.

Tanto los elementos más livianos que el Hierro -formados durante la vida de una estrella masiva-, como los elementos más pesados que se originan en la explosión de una Supernova, son devueltos al **medio interestelar**. Se dispersan en la galaxia y contaminan nubes de Hidrógeno que colapsarán para formar nuevas estrellas, esta vez, capaces de albergar planetas sólidos, como el nuestro.

Las estrellas de alta masa tienen una vida muy rápida en el contexto de la evolución del Universo, de sólo algunos millones de años. Entonces, en escalas astronómicas breves, contaminan rápidamente el gas de la galaxia con elementos pesados, permitiendo esta “mágica” aparición.

El Sol y su séquito de planetas, se formaron de alguna de estas nubes contaminadas con elementos más pesados originados en explosiones de Supernovas, durante la historia de la Galaxia. Los átomos de Hierro que están en nuestra sangre se produjeron en alguna de estas explosiones, hace más de 5 mil millones de años. Todo lo que vemos, excepto los átomos de Hidrógeno y Helio, estuvo en algún momento al interior de una estrella.

Supernovas y el origen de los elementos

4. Supernovas como indicadores de distancia

Una de las tareas más difíciles para los científicos es determinar la distancia de los objetos astronómicos. Obviamente, no pueden usar una huincha de medir.

Para las estrellas cercanas, pueden utilizar un método geométrico llamado **paralaje**: miden el cambio de posición de la estrella cuando se observa desde puntos opuestos de la órbita terrestre en torno al Sol.

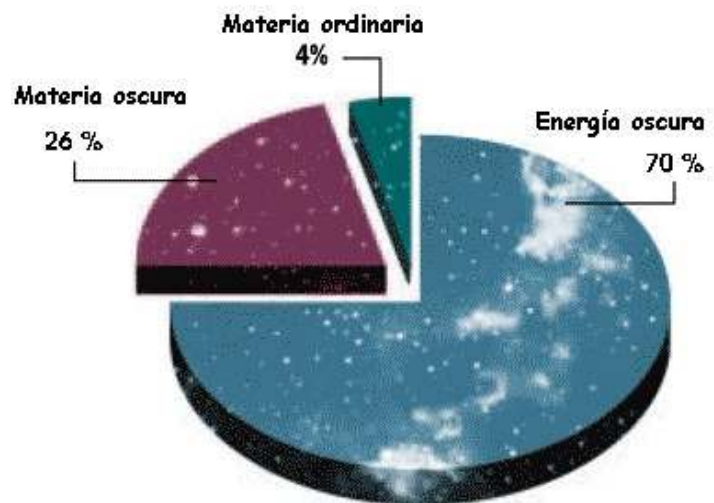
Para estrellas más lejanas, el método clásico consiste en comparar el brillo que se observa desde la Tierra con la cantidad real de luz emitida por el objeto. Por ejemplo, el brillo de un objeto a un metro de distancia aumentará cuatro veces si lo acercamos a medio metro. Así, si sabemos que una ampolleta es de 100 Watts y medimos su brillo, podremos saber a qué distancia se encuentra. Es similar a cuando vemos las luces de un auto acercándose. Mientras más próximo, más brillantes se ven.

Sin embargo, es difícil encontrar objetos que emitan la misma cantidad de luz y que los astrónomos puedan utilizarlos como indicadores de distancia. Uno de ellos son las Supernovas tipo Ia, puesto que la cantidad de energía que irradian se puede conocer. Además, como son extremadamente luminosas, se pueden detectar a distancias enormes. Gracias a las Supernovas, se pueden medir las distancias a las que están las galaxias lejanas y conocer la tasa a la que se expande el Universo.

La teoría del Big Bang predecía que la atracción gravitatoria de todas las estrellas y galaxias deberían frenar lentamente la expansión del Universo. Incluso, si la cantidad de materia fuese lo suficientemente alta, el Universo podría empezar a contraerse.

Conocer el destino final del Universo, es decir, si se expandirá por siempre o si en el futuro comenzará a contraerse, fue uno de los principales desafíos de la cosmología, especialmente en la segunda parte del siglo XX. El objetivo ha sido medir la tasa a la que se expande el Universo actualmente y compararla con el ritmo al que lo hacía en el pasado. Para este objetivo también se utilizaron las Supernovas.

En el año 1990 se inicia una búsqueda sistemática de Supernovas con este fin. Para encontrarlas, los científicos usaron un telescopio del observatorio Cerro Tololo (en la



Región de Coquimbo). Durante tres años, escudriñaron las mismas zonas del cielo para ver si aparecían estas fugaces explosiones. La tarea rindió frutos: encontraron 50 Supernovas, un récord mundial para esa época. Estas supernovas ocurrieron relativamente cerca de nuestra galaxia y con ellas se pudo medir la tasa de expansión actual del Universo.

Para medir la tasa de expansión en el pasado, se utilizó el Telescopio Espacial Hubble, que tiene la enorme ventaja de estar orbitando la Tierra. Es decir, está fuera de la atmósfera, lo que evita todas las aberraciones producidas por ella en las observaciones astronómicas.

Con el mayor poder del Telescopio Espacial, se pudieron detectar Supernovas extremadamente distantes. Estas observaciones complementaron las de las Supernovas cercanas hechas desde Tololo.

El análisis de los datos produjo una enorme sorpresa: las Supernovas lejanas se encuentran un 10% más distante de lo que se esperaba para un Universo que se estuviese frenando debido a la gravedad. Esto implica que la expansión del Universo está acelerándose a medida que transcurre el tiempo, aceleración producida por una fuerza desconocida, que genera una repulsión entre las galaxias que supera la atracción debida a la gravedad.

Para producir este fenómeno, se necesita una fuente de energía, de la misma forma en que un auto requiere combustible para acelerar. La "bencina" del Universo se denomina **energía oscura**, pues se desconoce su origen. Más aún, el 70% de toda la materia y energía del Universo se encuentra en la forma de energía oscura. Entonces, para poder entender nuestro Universo, es imperativo el estudio de ésta. Por ello se ha convertido en el gran objetivo de la astrofísica contemporánea. Incluso, quizás, podamos utilizarla para el beneficio de la humanidad.