

**LARA MONTIEL ILCE TLANEZI**

GRADO ESCOLAR: **6TO DE  
PREPARATORIA**

**ESCUELA NACIONAL  
PREPARATORIA PLANTEL 6  
"ANTONIO CASO"**

PROFESOR PROMOTOR: **ROSA DÍAZ  
SANDOVAL**

DEPENDENCIA DONDE REALICE MI ESTANCIA:  
**INSTITUTO DE ASTRONOMÍA**

DEPARTAMENTO: **ASTROFISICA**

INVESTIGADOR: **SERGIO MENDOZA RAMOS**

# **COSMOLOGÍA**

## **INTRODUCCIÓN**

Vivo en la ciudad de México, y como todos saben, esta ciudad cuenta con varios factores que no permiten, la mayoría de las veces, tener una hermosa noche estrellada. Pero de las pocas que se puede admirar una noche despejada llena de estrellas, desde mi ventana me pongo a observarlas, y comienzo a pensar que: todos esos pequeños puntos de luz, no solamente son estrellas aisladas y que cada una es una sola estrella, sino que estos pequeños puntos de luz, pueden ser un montón de estrellas juntas, es decir, un puntito puede ser una estrella doble o triple.

Y cada una de esas estrellas tiene sus propias características, con esto quiero decir, que pueden ser muy jóvenes o pueden estar en su etapa final de su vida.

Lo mejor de todo esto, es que cada una está acompañada de más material espacial en sus alrededores, como polvo, gas, planetas, satélites, incluso material que no podemos ver de ninguna manera, ni con grandes telescopios y a ninguna longitud de onda del espectro electromagnético; es a lo que se le llama materia oscura.

Aun más fantástico es que lo que veo desde mi ventana, no es el ahora, sino el pasado. Esto es porque los astros que veo se encuentran a una distancia impresionante, lo cual hace que la luz que parte de ellos tarde en llegar minutos en el caso del sol, hasta una infinidad de años, como por ejemplo la nebulosa de Orión, que si la veo con un telescopio, la imagen que vea no será como se encuentra ahora, iiisino es como se encontraba hace 1 600 años!!!

Con esto, claro que empiezo a cuestionarme, como lo hacían mis antepasados en tiempos muy remotos, y como cualquier otra persona se lo ha preguntado alguna vez. ¿Quién soy? ¿Por qué estoy aquí? ¿Cómo fue?; ¿por qué se formó el planeta tierra? ¿Cómo? Lo que veo en el cielo estrellado, tiene en común conmigo, que somos de un mismo universo. ¿Por qué se formo nuestro universo? ¿Cómo? ¿Será finito o infinito?

Es por esto que he elegido como tema de investigación, Cosmología, es decir, tengo por:

## **OBJETIVO**

Responder a estas interrogantes, y con la ayuda del Dr. Sergio Mendoza, saber y describir por medio de este trabajo de una forma concisa, el origen, la evolución y el posible futuro de nuestro universo.

## **METODOLOGÍA**

**HISTORIA** (visión del universo y forma de creación del mismo según diversas culturas):

Desde el comienzo en que el ser humano tuvo la habilidad de razonar; también trajo consigo estas y otras típicas preguntas; ¿Quién soy?, ¿Cómo se crearon mis alrededores?

Por consecuencia, se han tratado de responder desde los tiempos más remotos hasta nuestros días.

Lo interesante es, que no es hasta el siglo XX cuando los avances tecnológicos y científicos permitieron saber que nuestro universo es mucho más grande de lo que se pensaba.

Son algunas leyendas que nos dejan conocer cómo era la visión del universo de las primeras culturas del mundo, y como es que creían que se había creado este mismo.

## **BABILONIOS Y EGIPCIOS**

Antes, por ejemplo, se limitaba en que el universo no era más que las regiones que el pueblo habitaba y conocía, además del cielo, el cual las estrellas se encontraban apenas encima de las nubes.

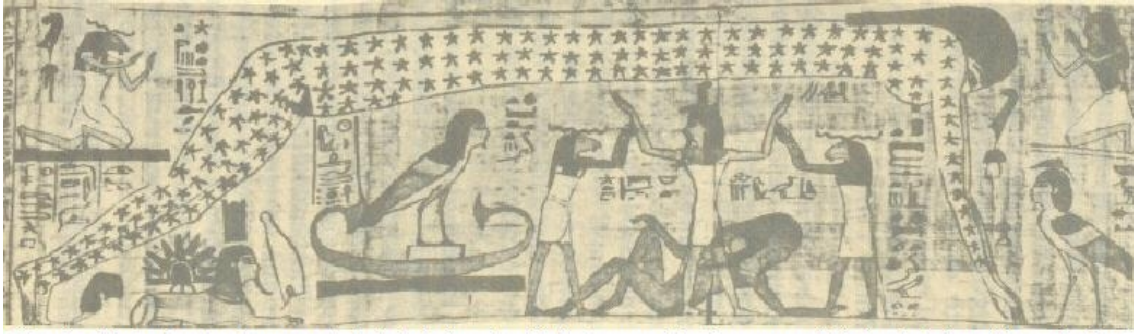
Los babilonios, pertenecientes a unas de las civilizaciones más antiguas, duró desde el siglo XVIII hasta el VI a.C. Su imagen del mundo era una especie de bolsa llena de aire, cuyo piso era la Tierra y el techo la bóveda celeste. Arriba y abajo se encontraban las aguas primordiales, que a veces se filtraban, produciendo la lluvia y los ríos.

El mito babilónico de la creación es el más antiguo que ha llegado a nuestros días. El *Enuma elis*, escrito 15 siglos antes de la era cristiana, relata el nacimiento del mundo a partir de un caos primordial.

En el principio, cuenta el mito, estaban mezcladas el agua del mar, el agua de los ríos y la niebla, cada una personificada por tres dioses: la madre Ti'amat, el padre Apsu y el sirviente Mummu. El agua del mar y el agua de los ríos engendraron a Lahmu y Lahamu, dioses que representaban el sedimento, y estos engendraron a Anshar y Kishar, los dos horizontes – entendidos como el límite del cielo y el límite de la Tierra-. En aquellos tiempos, el cielo y la Tierra estaban unidos; según la versión más antigua del mito, el dios de los vientos separó el cielo de la Tierra; en la versión más elaborada, esa hazaña le correspondió a Marduk, dios principal de los babilonios. Marduk se enfrentó a Ti'amat, diosa del mar, la mató, cortó su cuerpo en dos y, separando las dos partes, construyó el cielo y la Tierra. Posteriormente, creó el Sol, la Luna y las estrellas, que colocó en el cielo.

La visión que tenían los egipcios del universo, en particular me gusta mucho, es un cuento y una bonita forma de interpretar lo que sucedía a sus alrededores. Para los egipcios, el Universo era una caja, alargada de norte a sur tal como su país; alrededor de la Tierra fluía el río Ur-Nes, uno de cuyos brazos era el Nilo, que nacía en el sur. Durante el día, el sol recorría el cielo de oriente a poniente y, durante la noche, rodeaba la Tierra por el norte en un barco que navegaba por el río Ur-Nes, escondida su luz de los humanos detrás de las altas montañas del valle Dait.

Para los egipcios, su universo se creó de la siguiente manera; Atum, el dios Sol, engendró a Chu y Tefnut, el aire y la humedad y estos engendraron a Nut y Geb, el cielo y la Tierra, quienes a su vez engendraron los demás dioses del panteón egipcio. En el principio, el cielo y la Tierra estaban unidos, pero Chu, el aire, los separó, formando así el mundo habitable.



*Chu, dios del aire, levanta el cuerpo estrellado de la diosa del cielo Nut, separandola de su esposo Geb, dios de la tierra (Museo Nacional de Antigüedades, Leyden Holanda)*

## GRIEGOS

Los filósofos griegos fueron al parecer los primeros que interpretaron su visión del universo sin la inclusión de dioses, la interpretaban según sus observaciones. Del siglo VI a.C. hasta el I d.C., hubieron distintas formas de ver el universo, algunas de esas formas son:

Según Pitágoras, afirmaba que el cielo y sus astros giraban alrededor de la Tierra, y que ésta era esférica. Pudo haber llegado a esta conclusión a partir de observaciones. Sin embargo, los argumentos que manejó fueron de índole metafísicos, ya que la esfera es el cuerpo geométrico más perfecto.

Posteriormente, se sabe también que los filósofos de la escuela pitagórica Ecfanto y Heráclides de Ponto propusieron que la Tierra es la que gira alrededor de su eje en un día y no las estrellas, aunque todavía creían que el recorrido anual del sol por la eclíptica se debía a que giraba alrededor de la Tierra en un año.

Aristarco de Samos, propuso en el siglo III a.C., al parecer el primero, un sistema heliocéntrico, según el cual la Tierra gira alrededor del sol en un año y sobre su propio eje en un día.

Estas entre otras ideas del universo se formularon, hasta que esta cultura se desmoronó bajo las invasiones de los pueblos germánicos y asiáticos. Y las ideas del cristianismo sustituyeron a las griegas, haciendo así de que la Tierra era plana.

## DESPUÉS DE LA EDAD MEDIA

En el siglo XVI, Copérnico retoma el modelo heliocéntrico, en que los planetas y la bóveda celeste giran alrededor del sol; y trata de encontrar la forma en que se mueven estos planetas alrededor del mismo.

Un siglo más tarde, Kepler dedicó largos años a estudiar los datos observacionales, recopilados por su maestro Tycho Brahe y él mismo, descubriendo las famosas tres leyes que ahora llevan su nombre y que rigen con toda precisión el movimiento de los planetas.

Y de manera breve, esto conllevó al descubrimiento de la ley de la gravedad de Newton en 1665.

## COMIENZO DE LA COSMOLOGÍA COMO CIENCIA

Hasta ahora se menciona que el universo era el sol, la luna, los planetas y la bóveda celeste siendo ésta una esfera que contiene las demás estrellas.

Es en estos momentos cuando el humano se empieza a dar cuenta realmente de la gran magnitud de nuestro universo, y todas las maravillas que éste posee. Con los avances científicos y tecnológicos comienza otra vez a tratar de responder cómo fue el origen de nuestro universo.

Primero comencemos a ubicar parte de nuestra galaxia. Durante verano y principios de otoño, puede observarse, en una noche despejada y oscura, libre de contaminación y de luminosidad. Desde el hemisferio norte, una gran franja plateada en el cielo. La parte más luminosa y amplia de esta banda corre desde la constelación del Cisne hasta la de Sagitario, esa es parte de nuestra galaxia.

A esta franja, Anaxágoras la llamó *gala* (del griego, leche) y Eratóstenes *galaxia*. El mito griego dice que cuando Heracles (Hércules) era amamantado por Hera (Juno), éste escupió la leche y formó así esa franja en el cielo. Los romanos la llamaron Vía Láctea.



Hoy en día llamamos galaxia a un conjunto de millones de estrellas, gas y polvo unidos entre sí por la fuerza de su propia gravedad. Ahora también conocemos millones de estas galaxias como la nuestra, la Vía Láctea. Sin embargo, antes se pensaba que nuestra galaxia era todo el universo, y que todos los astros se contenían en ella, y se tenía la idea (correcta) de que se trataba de un sistema plano como una rueda, que se presenta como una banda vista desde el interior cuando se mira en dirección del plano. Reacios a abandonar la idea de un lugar privilegiado, muchos astrónomos pensaban que el Sol se hallaba en el centro de ese sistema de hecho, ¡en el centro del Universo!.

Ya en el siglo XIX, la construcción de telescopios cada vez más grandes y mejores, el descubrimiento de medición de distancias extrasolares, la fotografía espacial y la espectroscopia; dieron lugar a una visión más amplia del universo. Pues en el siglo XX, Harlow Shapley demostró que el sol no era el centro de la vía Láctea. Después de una polémica discusión sobre la naturaleza de las nebulosas espirales, es decir, si estas pertenecían a nuestra vía Láctea o si eran otras galaxias semejantes a la nuestra; Hubble pudo determinar que éstas efectivamente eran otras galaxias semejantes a la nuestra. Además existían galaxias de otro tipo, las cuales fueron clasificadas por Hubble como espirales, espirales barradas, elípticas, lenticulares e irregulares. Estas galaxias se encuentran a unas distancias impresionantes por

ejemplo la de Andrómeda que es la galaxia espiral mas cercana a nosotros está a 2 millones de años luz de distancia. Es decir si viajáramos a la velocidad de la luz llegaríamos a ella en iii 2 millones de años!!!

## **MODELO TEÓRICO DEL BIG BANG (DE LA GRAN EXPLOSIÓN)**

La Teoría de la Relatividad General de Einstein ha sido muy útil para la cosmología contemporánea.

Einstein primero formuló la Teoría de Relatividad especial en 1905, en la cual los temas que resaltan son:

- (a) De que el mundo en el que vivimos se concibe de cuatro dimensiones: tres del espacio común, mas el tiempo.
- (b) No existe un tiempo absoluto, sino que el tiempo depende del movimiento de quien lo mide.
- (c) La velocidad de la luz es la misma con respecto a cualquier observador, independientemente de la velocidad con que éste se mueva.
- (d) La equivalencia entre la masa y la energía tal que, bajo condiciones apropiadas, una puede transformarse en la otra según la famosa formula:  $E= mc^2$

Donde E es la energía, m la masa, y c la velocidad de la luz (constante fundamental de la naturaleza).

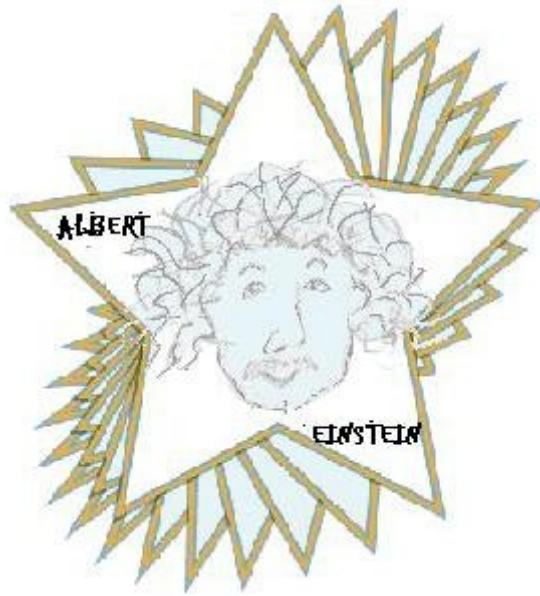
En 1915 formuló la teoría de la relatividad general. Aquí generalizó la Teoría Especial para incluir los efectos de la gravitación. Esta dice que el espacio es curvo, siendo la masa la causa de la curvatura y la gravitación la manifestación de esta curvatura. Además que la masa de los cuerpos no solo deforma el espacio sino también el tiempo: cerca de un cuerpo muy masivo el tiempo transcurre más lentamente.

A partir de este trabajo, varios científicos se apoyaron en este para dar su punto de vista del universo.

El primero en hacerlo fue definitivamente Albert Einstein suponiendo que el universo era homogéneo e isótropo. Por homogeneidad se entiende que la materia en el universo está distribuida, a gran escala, en forma uniforme; y por isotropía, que la apariencia del Universo, también a gran escala, es la misma en todas las



direcciones. Estas dos suposiciones han sido confirmadas posteriormente por las observaciones astronómicas.



Curiosamente Einstein también supuso que el universo era estático, es decir, que no cambia con el tiempo y se mantiene de una forma constante. Lo cual se contradecía con su teoría, pues la fuerza de gravedad del universo provocaría el colapso de este mismo. La solución de Einstein fue introducir en sus formulas una pequeña modificación que permitía a la fuerza gravitacional volverse repulsiva a distancias cósmicas, y así evitar el colapso del universo.

Posteriormente en la década de 1920, el físico ruso Alexandr Friedmann y el abad belga George Lemaitre, estudiando las formulas de Albert Einstein, en forma independiente, llegaron a conclusiones comunes.

Friedmann llegó a la conclusión de que el universo no podía permanecer inmóvil, sino que debía encontrarse en proceso de expansión. Dependiendo de la densidad de materia en el Universo, la expansión seguirá, ya sea indefinidamente o hasta un momento en que se detenga y empiece una contracción

Lemaitre basado en sus cálculos, formuló la hipótesis de que el universo se encontraba originalmente en un estado de compresión tal que toda la materia formaba un solo y único núcleo atómico, que llenaba todo el espacio cósmico disponible: el átomo primordial. Como esa configuración era inestable, en algún momento el Universo empezó a expandirse entre 20, 000 a 60,000 millones de años

atrás. El átomo primordial se rompió en innumerables pedazos a partir de los cuales se formaron todos los elementos químicos en el universo. A gran escala, la expansión del universo se desarrolló esencialmente como en el modelo de Friedmann; a escala más pequeña, algunas regiones del átomo primordial se expandieron más lentamente que otras, hasta detenerse y empezar a contraerse en algún momento para formar las galaxias.

En esta misma década Hubble pudo comprobar observacionalmente que el universo se encuentra en expansión. A parte de descubrir que las nebulosas espirales eran galaxias similares a la nuestra, y que además existían galaxias de otro tipo y de clasificarlas; Hubble también contribuyó con esta aportación. Al comparar las distancias de las galaxias con el corrimiento hacia el rojo que estas presentaban en su espectro electromagnético, se dio cuenta que galaxias pertenecientes a cúmulos de estas mismas, incluyendo el nuestro, comparten una relación. Esta dicta que entre más alejada esté una galaxia de un cúmulo con otra de otro, las galaxias se alejan entre sí a unas velocidades cada vez mayores. A esto se le conoce como ley de Hubble, es decir, la velocidad de recesión entre las galaxias es proporcional a su distancia.

Entonces se pudo concluir que si los componentes del Universo se están separando, significa que en el pasado estaban más cerca y así, si pudiéramos retroceder en el tiempo, se llega a la conclusión de que todo salió de una singularidad. De un núcleo que contenía todo y que explotó. En otras palabras, llegaríamos a la Gran Explosión la cual es la causante de la expansión del universo.



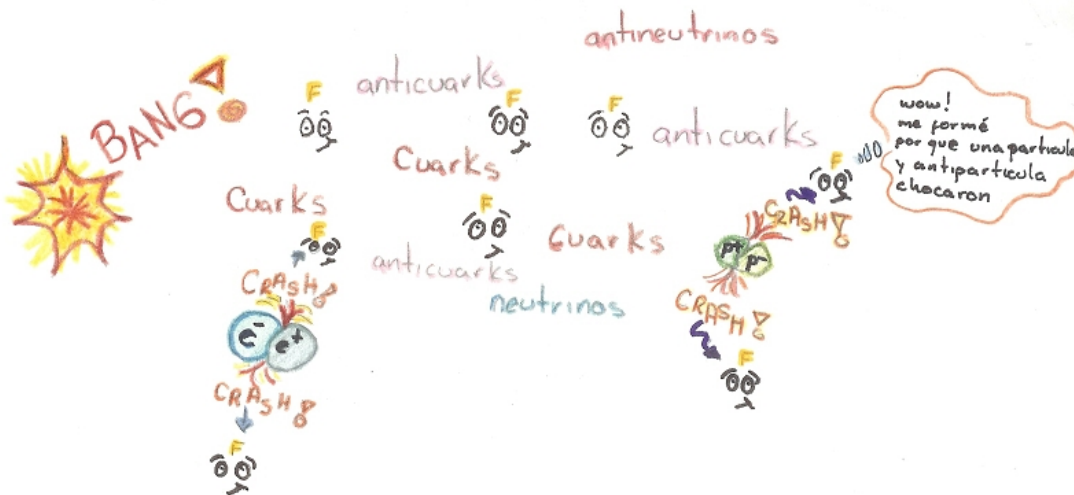
Más tarde, en 1948, el gran científico y divulgador de la ciencia George Gamow modificó la teoría de Lemaitre y propuso que el universo no solo se encontraba inicialmente a muy altas densidades, sino también a temperaturas extremadamente altas. Poco después de que el universo explotó cuando estaba concentrado en un solo núcleo hace 15,000 millones de años, la materia era una mezcla homogénea de partículas elementales (electrones, fotones, protones, neutrones, neutrinos, etc.). Inicialmente, la temperatura era prácticamente infinita, pero a medida que se expandía el universo, la materia se fue enfriando; cuando la temperatura bajó a unos mil millones de grados Kelvin, las condiciones fueron propicias para la creación de los elementos químicos que componen al universo.



## EVOLUCIÓN DE NUESTRO UNIVERSO DESPUÉS DE LA GRAN EXPLOSIÓN

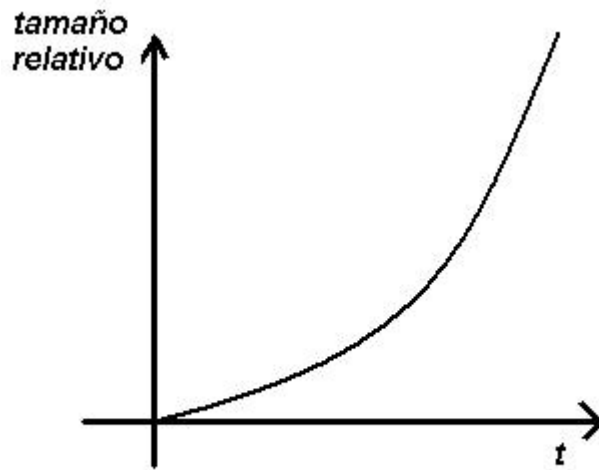
Los tres primeros minutos del universo:

A grandes rasgos, esto fue lo que sucedió. De  **$10^{-43}$  segundos después** de la gran explosión, el universo era un montón de fotones, de partículas, cuarks y anticuarks, agitándose y chocando a velocidades cercanas a la de la luz, en proceso de creación y aniquilación continua por la gran temperatura a la que se encontraban, unos  **$10^{32}$  K**.



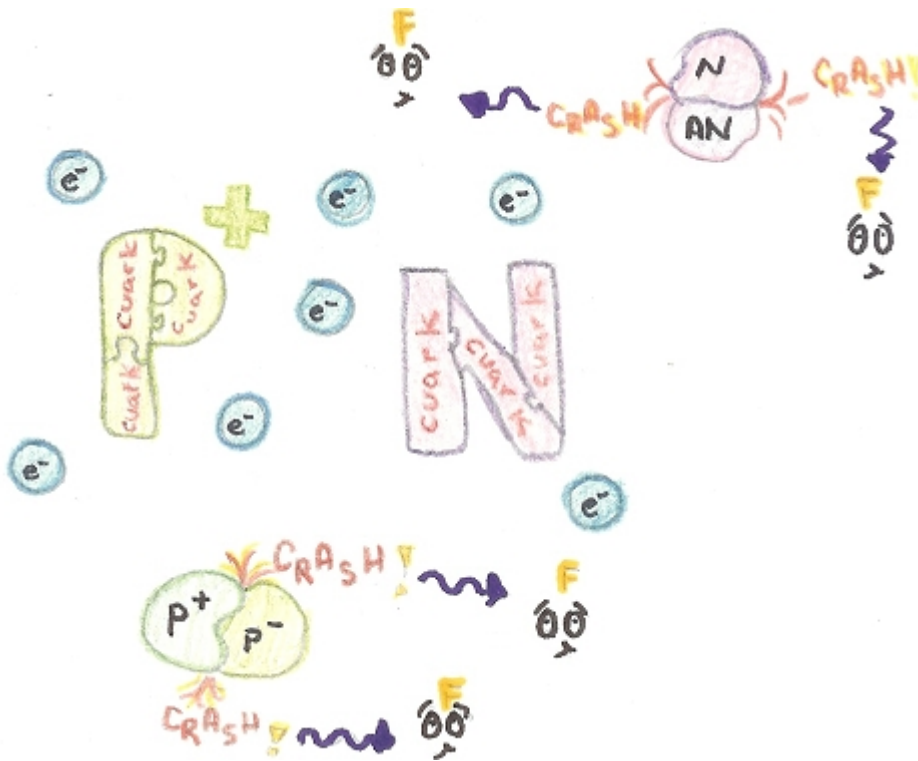
Entre  **$10^{-35}$  y  $10^{-32}$  s** después de la gran explosión ocurre la era inflacionaria. Este modelo inflacionario es sumamente especulativo, mas los científicos lo han aceptado bien ya que explica de forma teórica numerosas incógnitas que generaban las observaciones astronómicas, como por ejemplo la homogeneidad e isotropía del universo.

El término inflación en cosmología significa expansión acelerada y se denomina así por su parecido con el crecimiento cada vez más rápido que sufren los precios en determinadas épocas. Según la teoría del universo inflacionario, inmediatamente después de producirse la gran explosión, debió darse este breve período de expansión acelerada haciendo que el universo creciera de manera exponencial durante el cual el tamaño del universo primitivo aumentó en un factor enorme.



representacion de la inflación del universo

Un millonésimo de segundo más tarde, cuando la temperatura ha bajado a  $10^{13}$  K, surgen, gracias a la unión de cuarks en tripletes, las primeras partículas pesadas: los protones y los neutrones. Al mismo tiempo, los electrones proliferan, aumentando en cantidad. Los protones y los neutrones se aniquilan con sus antipartículas (antiprotón, antineutrón) transformando su masa en fotones. Solo algo de materia quedó.



**Un segundo después, la temperatura ha bajado a  $10^{10}$  K.** La expansión siempre sigue adelante y los protones y neutrones comienzan a combinarse para formar núcleos de deuterio (el deuterio es también llamado hidrogeno pesado y está constituido de un protón, un neutrón y un electrón). Sin embargo, la energía de los fotones todavía es tal, que rompen continuamente a esos nucleones recién formados. Había protones, electrones, positrones (antipartícula del electrón), neutrinos (partícula elemental), antineutrinos (antipartícula del neutrino), y fotones. Neutrones no había ya que, al no pertenecer a un núcleo atómico, se encuentra solitario. De esta manera, un neutrón aislado decae convirtiéndose en un protón más un electrón y antineutrino.



Muy poco, poco tiempo después...



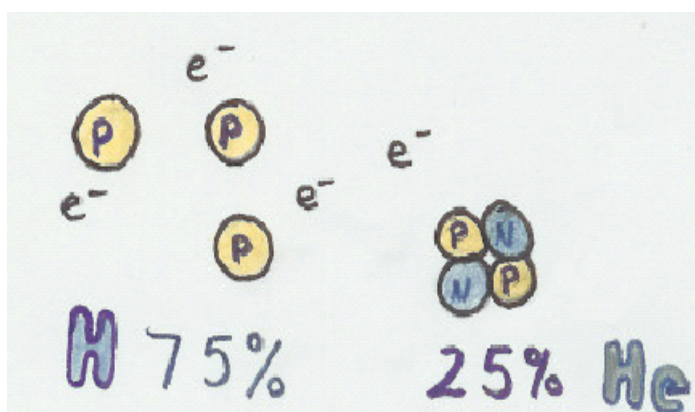
**Cuando la temperatura era de  $5 \times 10^9$  Kelvin,** había un número igual de electrones y protones; los electrones y positrones se aniquilaban quedando solamente el excedente de electrones.

$$\# e^- = \# p^+$$

**Tres minutos más tarde**, debido a la expansión y el enfriamiento consiguiente, la temperatura ya ha bajado a mil millones de Kelvin y los fotones han perdido energía. Ya no destruyen a los nucleones y comienzan a formarse núcleos de elementos ligeros, principalmente Hidrogeno y Helio. Esta época cósmica es conocida como la Era de la nucleosíntesis primordial.



**Cuando la temperatura era inferior a  $10^9$  K** los núcleos atómicos ya formados no se podrán destruir, así que la composición del universo quedó compuesta aproximadamente por 75% de Hidrogeno y 25% de Helio, (pero en forma de plasma, es decir los electrones aun no estaban ligados a los núcleos y se encontraban viajando frenéticamente entre todos los núcleos). Apenas es formada en esta época una pequeña parte núcleos de otros elementos, electrones libres y de fotones. El cual esto hizo que el universo fuera un gas ionizado, ya que los electrones al estar libres no permitían, o mejor dicho deformaban, el trayecto de los fotones y esto ocasionaba que el universo fuera opaco.



Universo formado por 75% hidrogeno y 25% helio, en plasma.



El universo al tener 300 000 años de edad y tener una temperatura de 4000 K, presenta la **era de recombinación**, donde los electrones pudieron por primera vez combinarse con los núcleos atómicos y formar los primeros átomos. Así, el universo quedó constituido principalmente de átomos de Hidrogeno y Helio.

Entonces el gas dejó de ser ionizado cuando los electrones dejaron de estar libres y se unieron con los núcleos atómicos. Al suceder esto, los fotones pudieron seguir con su trayecto normal y con esto ocasionar que el universo se convirtiera transparente.

Estos fotones que siguieron con su trayecto, es a lo que se le llama actualmente radiación de fondo. Porque Gamow predijo, que en esta época siguen presentes estos fotones que fueron liberados en la era de recombinación. Podemos detectarlos, por medio de ondas de radio ya que perdieron energía y se encuentran a una temperatura muy baja.

Posteriormente, Penzias y Wilson, unos radioastrónomos estadounidenses, en 1965 confirmaron la existencia de estos fotones, al detectar una débil señal de radio, que al principio pensaban que era un defecto de su antena de radio. Después se convencieron que provenía del espacio exterior y que eran los fotones emitidos desde la era de recombinación y se encontraban a tan solo 3 K que es la temperatura del universo actual.



El descubrimiento de esta radiación de fondo es una de las pruebas más importantes en favor de la teoría de la gran explosión.

## FORMACIÓN DE GALAXIAS

La formación de galaxias es uno de los problemas que en la actualidad los astrónomos todavía intentan resolver. Existen varias teorías que tratan de solucionar este tema.

Una de estas teorías, es la formación jerárquica de galaxias, es decir, las galaxias que ahora conocemos y que no están muy distantes a nosotros, se formaron a partir de estructuras pequeñas y cada vez se fueron formando estructuras mayores hasta formar las galaxias que conocemos en este momento no tan lejanas.

Con el telescopio espacial Hubble, se pudieron hacer estudios de estas distantes galaxias y se muestra que en el pasado las galaxias débiles presentaban más interacción que galaxias actuales. Este descubrimiento fue de gran importancia para el modelo de formación jerárquica de galaxias, pues las galaxias se forman por coalescencia de galaxias de menor masa.

A grandes rasgos, la manera de formar una galaxia en este modelo es:

Cuando el universo tuvo las condiciones adecuadas, se formaron nubes de hidrogeno y helio resultado de fluctuaciones de densidad del gas. Esto se debe a que el Hidrogeno se ha enfriado como resultado de la expansión y se agrupa para constituir entidades con masas de uno a cien millones de masas solares.

Mas tarde la fuerza de gravedad es capaz de producir una profunda condensación de estas estructuras, lo cual conlleva a violentos brotes de formación estelar dentro de cada nube.

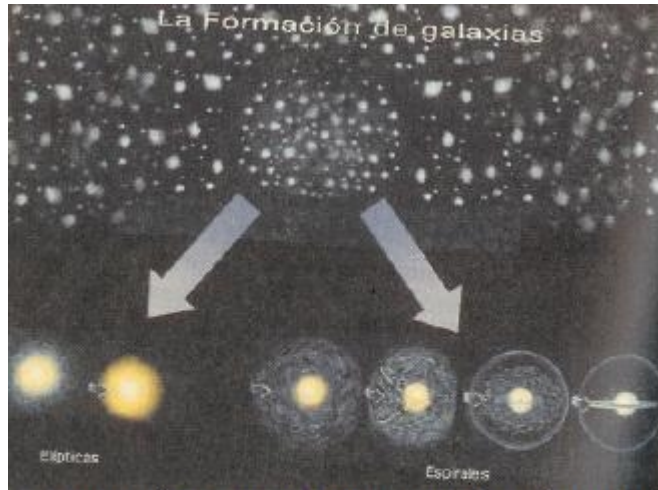
Al pasar el tiempo los grupos de estrellas generados en cada nube empiezan a aglutinarse en estructuras cada vez más importantes, en proto-galaxias. La

gravedad mantiene ligadas a estas estructuras irregulares aunque poco cohesionadas.

En algún momento la masa aglomerada es suficiente para empezar el colapso de las proto-galaxias y ello lleva a su fragmentación. Los cúmulos estelares más grandes empiezan a gravitar hacia su centro, formando un brillante núcleo, rodeado de un halo de cúmulos globulares y nubes gaseosas. Durante el colapso los movimientos caóticos de gases y estrellas dan lugar a un movimiento orbital más organizado, haciendo más evidente la rotación de la proto-galaxia.

Una galaxia elíptica queda finalmente estructurada cuando el colapso final del halo de gases y cúmulos globulares hacia su centro, coincide con una formación muy rápida de estrellas. Ésta consume todos los gases libres de la elíptica. El resultado es un enorme núcleo brillante, que disminuye el brillo gradualmente hacia un borde casi imperceptible.

Una galaxia espiral se supone experimenta una evolución muy similar, con la única diferencia de que contiene inicialmente una mayor cantidad de gases difusos en el halo que rodea al núcleo y así forma a sus estrellas más lentamente. Los movimientos al azar de estas nubes difusas alrededor del núcleo, llevan a colisiones múltiples y finalmente a su fusión y con ello también a la anulación de movimientos perpendiculares al plano orbital. El gas se consume lentamente en estrellas y así hay tiempo suficiente para precipitarse hacia el plano orbital constituyendo un disco delgado. El disco gaseoso se forma de adentro hacia fuera, mientras desarrolla una estructura espiral.

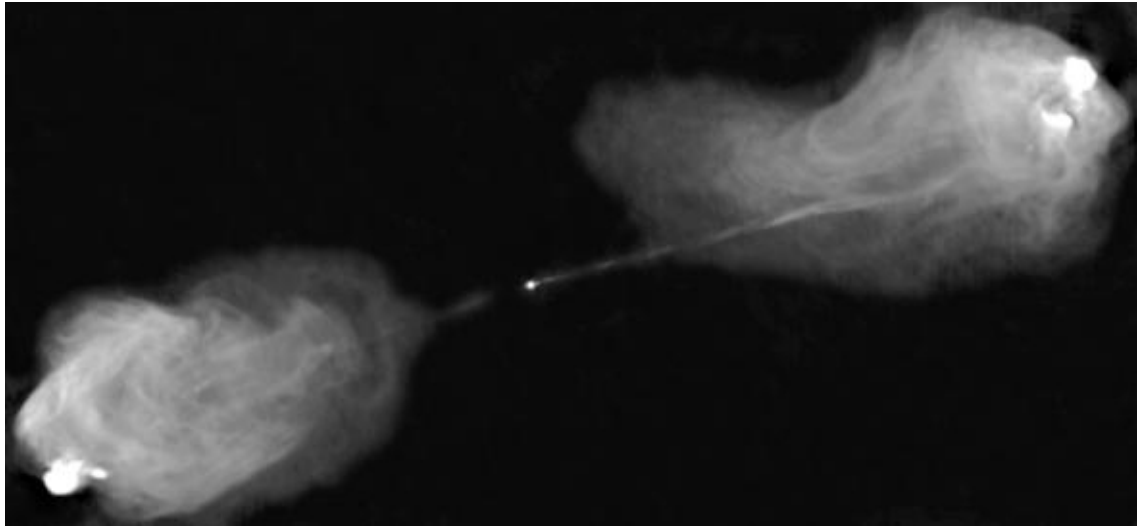


*La formación de galaxias. Representación artística de la formación de galaxias elípticas y espirales a partir de condensaciones gaseosas de millones de masas solares que logran agregarse a lo largo de la expansión del Universo gracias a la gravedad.*

## CUÁSARES

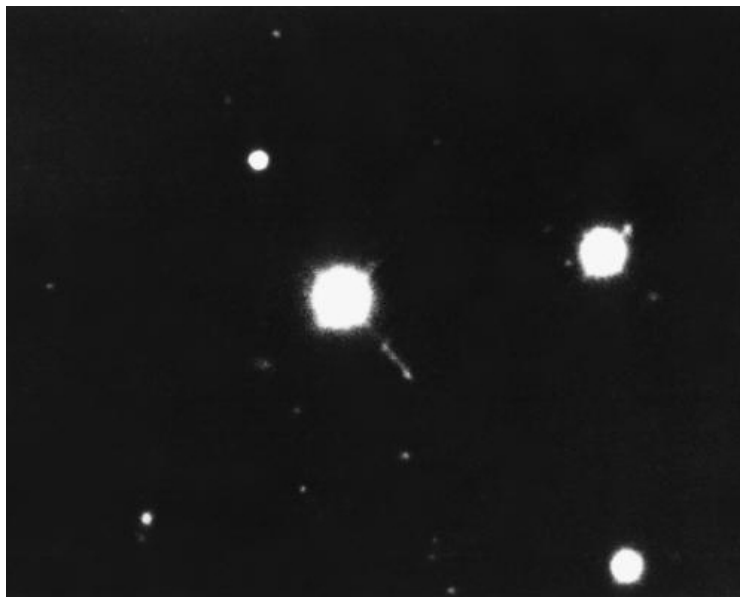
Los cuásares son objetos descubiertos apenas en 1960. El primero que se descubrió fue el 3C48. Este, al ser descubierto presentó características de tener un núcleo activo el cual emitía grandes cantidades de energía, y por lo tanto, esto lo convirtió en una fuente de grandes emisiones de radio. El 3C48 presentó un gran desplazamiento hacia el rojo, es decir que su velocidad de recesión es muy grande, y por consecuencia este se encuentra a una distancia de miles de millones de años luz de nosotros.

Por otra parte las radiogalaxias (descubiertas antes que los cuásares), son objetos muy distantes e intensas fuentes de emisión de radio. La gran energía la emite un núcleo activo. Lo interesante de las radiogalaxias es que la emisión de radio no se produce en la galaxia sino en grandes lóbulos situados a ambos lados de ella, esto es porque la galaxia expulsó las dos inmensas nubes de material emisor de ondas de radio de su núcleo.



*radiogalaxia Cygnus A. imagen tomada por el VLA (very large array)*

Los cuásares, a diferencia de las radiogalaxias, muestran una apariencia estelar y no de una galaxia. Esto es porque la luminosidad, provocada de las grandes emisiones de energía de un núcleo activo, es demasiada, la cual impide la visión de la galaxia.



*imagen del cuasar 3C 273*

Los astrónomos han intentado explicar el porqué esta gran emisión de energía, y se han manejado varias teorías, hasta ahora la más aceptada es que se trata de galaxias jóvenes en las que un agujero negro supermasivo (que más adelante hablaré de ellos) engulle enormes cantidades de gas. Este gas, acelerado por la gran atracción gravitatoria del núcleo galáctico, se calienta debido a la fricción producida por su enorme velocidad y por tanto emite enormes cantidades de energía.

Una vez que la mayor parte del gas que rodea al núcleo galáctico ha sido consumido, se reduce la absorción de materia por el núcleo y por tanto la emisión de energía, como es el caso de las galaxias tal y como las conocemos hoy en día.

## ESTRELLAS: LAS PRINCIPALES CONSTITUYENTES DE LAS GALAXIAS Y SU EVOLUCIÓN

Las estrellas son las principales componentes de las galaxias, además de polvo, gas, planetas, materia oscura, etc. Estas estrellas presentan un proceso de evolución. Las estrellas son grandes bolas de gas incandescente. Su evolución varía según su masa.

Las estrellas se forman a partir de grandes nubes de gas, el cual alguna perturbación de densidad, hace que una parte de la nube comience a contraerse. Este proceso de contracción, llamado colapso gravitacional, hace que la densidad de porción de la nube en colapso aumente más y más hasta que se constituye en un núcleo de alta densidad del cual se formará una nueva estrella, el colapso se detendrá hasta que la estrella quede estabilizada, es decir, tanto la fuerza de gravedad tanto la fuerza de repulsión llamada presión quedan en equilibrio. El colapso de una nube con rotación lleva hacia una configuración con un núcleo rodeado de un disco de gas y polvo, el núcleo se convertirá en la estrella, mientras que el disco evolucionara hasta condensarse en forma de planetas.

En general las estrellas jóvenes poseen un color azul, esto es porque se encuentran a grandes temperaturas. Mientras la estrella se va enfriando y se va haciendo vieja esta presenta un color rojo.

Al formarse la estrella, en su interior presenta varias reacciones. En la etapa de secuencia principal, resulta que en el núcleo de la estrella se formarán nuevos y más pesados elementos químicos. Gracias a este proceso la estrella queda estable, con las fuerzas de gravedad y de repulsión en equilibrio.

Una estrella como nuestro sol puede formar en su interior hasta el carbono, y estrellas de 12 veces mayor masa que la del sol llegan a formar hasta el hierro.

Elementos más pesados se forman a partir de la explosión de una supernova que mas adelante se menciona.

El proceso de secuencia principal de las estrellas tienen diferente duración según la masa de la estrella, el intervalo de tiempo de la secuencia principal de nuestro sol es de 10 000 millones de años. En este momento lleva 5 000 millones de años en su secuencia principal. Pero estrellas de masas mucho mayores su secuencia principal es de muy corta duración, puede durar de 1 a 10 millones de años.

Una vez que la estrella haya concluido la etapa de secuencia principal, esta llega a la etapa de su muerte. Pues al no poder formar ya mas elementos, la estrella se inestabiliza y al no tener presión la parte central de la estrella se contrae, hasta que llega un momento en que las partículas como los electrones se rehúsan a quedar tan cerca y ocupar el mismo lugar, o lo que también se le llama exclusión de Pauli.

Como lo decía anteriormente, la evolución de las estrellas dependen de su masa, es por eso que no todas tienen el mismo tipo de muerte. Dependiendo su masa su muerte será más dramática o menos dramática.

Para empezar todas las estrellas al terminar con la secuencia principal, expulsan sus capas más externas mientras que sus regiones centrales se colapsan; la intensidad de estas dos dependerá de la masa.

Estrellas con una masa relativamente pequeña crecerán de tamaño hasta convertirse en gigantes rojas. Posteriormente se colapsaran, expulsando sus capas externas no de manera muy violenta y formando a lo que llamamos nebulosa planetaria. La región central se colapsará hasta formar una enana blanca. Como se menciona antes, después de convertirse la estrella en enana blanca ya no se colapsará más por la razón que menciona el principio de exclusión de Pauli: " los electrones no pueden ocupar el mismo lugar con las mismas características". Así, la enana blanca no se podrá comprimir más, ya que los electrones de los átomos lo impiden.



*nebulosa planetaria llamada nebula de la helice*

Mientras la enana blanca va perdiendo su calor, se convertirá en enana roja y finalmente en enana negra.

En estrellas con mayor masa, sus capas exteriores explotarán como supernova. Es en esta explosión donde se da lugar a la formación de elementos químicos más pesados que el hierro, y donde todo el material procesado en la estrella lo comparte al medio interestelar. Se forman nebulosas y a partir de estas se formaran las nuevas generaciones de estrellas enriquecidas del material que les heredaron las estrellas antecesoras.

Mientras sucede la explosión supernova, la parte central de la estrella se colapsa hasta convertirse en un pulsar también llamado estrella de neutrones. Si la masa de la estrella era aun mucho mayor, se colapsará hasta convertirse en un agujero negro.

Estudios concluyen que la estrella se puede comprimir aun más cuando la masa de la misma rebasa 1.4 veces la masa del sol pero es menor a 3 masas solares. Se comprime hasta formar un pulsar. Esto es porque una vez teniendo esa masa los electrones se fusionan con los protones formando neutrones. Es por esta razón que también se les conoce como estrellas de neutrones. Y ahora le toca a los neutrones impedir que la estrella se contraiga más, por el mismo principio de Pauli.

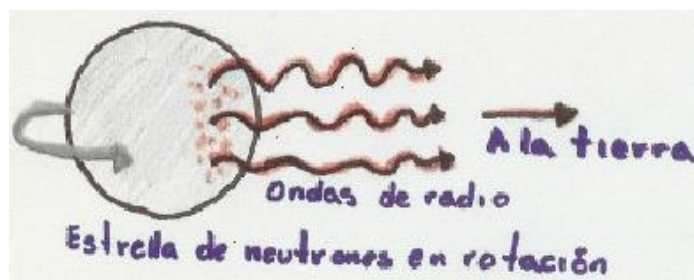
Pero si la estrella es mayor que 3 veces la masa del sol, nada puede impedir la contracción de la estrella hasta formarse un agujero negro.

## PULSARES

Los pulsares, como ya lo mencione son objetos los cuales se formaron a partir de la muerte de las estrellas del orden de 2 veces la masa del sol.

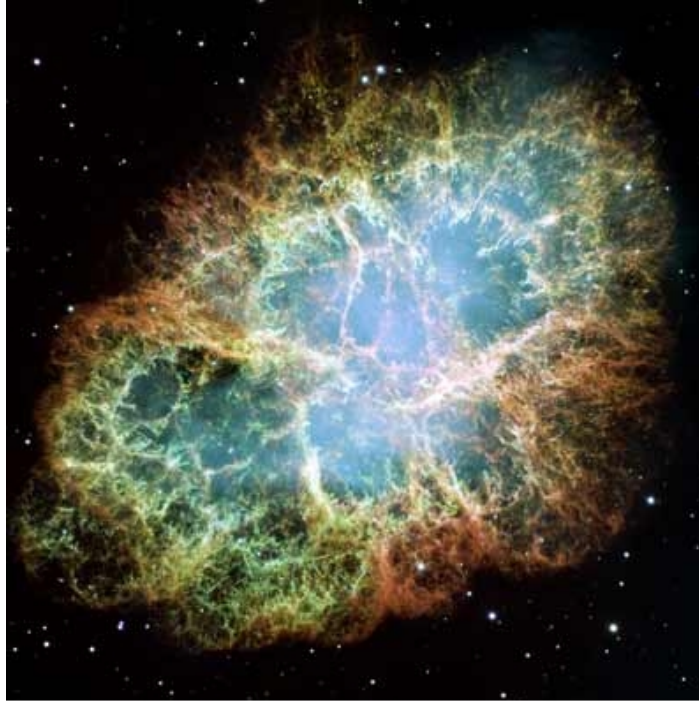
Estos objetos son también llamados estrellas de neutrones, pues como su nombre lo indica, están formados exclusivamente de neutrones. Estos objetos son muy densos, pues una cucharadita de su material puede pesar más que 100 millones de elefantes. Su radio típico es de 10 a 15 km.

Otras más curiosidades que albergan estos objetos, es que rotan de una manera increíblemente rápida, por ejemplo el pulsar que se encuentra en la nebulosa del cangrejo da 30 revoluciones por cada segundo. Los pulsares presentan regiones en su superficie que emiten intensas ondas de radio. Es por este motivo que pudieron ser descubiertos y estudiados en la tierra pues Jocelyn Bell y Anthony Hewish, radioastrónomos que fueron los primeros en descubrir estos objetos. Los detectaron a partir de extrañas señales pulsantes, los cuales presentaban un periodo menor a un segundo. Esto es porque, como rotan velozmente y cada vez que el pulsar da una vuelta, la región que emite ondas de radio y que apunta hacia la tierra, va a emitir una señal que se detecta como pulso, y en el caso del de la nebulosa del cangrejo, por cada segundo se detecta 30 pulsos, como si se comportara al igual que un faro.



*Pulsar rotando velozmente, cada vez que la región emisora de radio se dirige hacia la tierra, se detecta un pulso.*





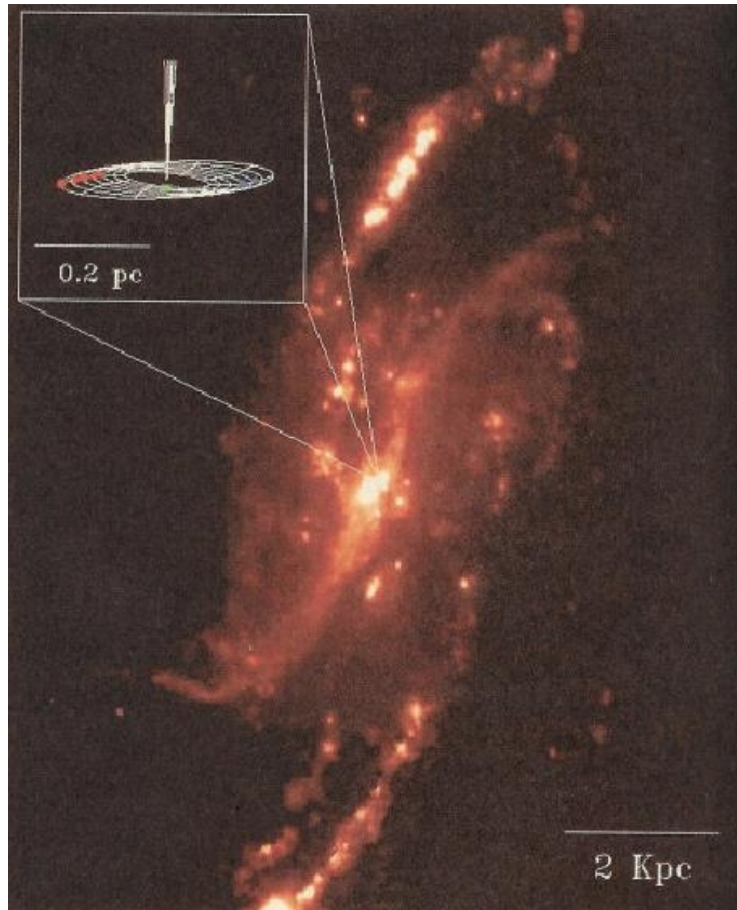
*nebulosa del cangrejo, en su centro se halla un pulsar.  
esta nebulosa queda como evidencia de la estrella que explotó  
como supernova en 1054 d.C. y fue registrada por los chinos.*

## AGUJEROS NEGROS

Los agujero negros son cuerpos muy densos, donde la velocidad escape debe ser igual o mayor que la velocidad de la luz, por lo que ni siquiera la luz puede escapar de estos cuerpos.

Los agujeros negros de formación estelar, decía que se forman a partir de la muerte de las estrellas muy masivas, las cuales la parte central de la estrella se contrae hasta convertirse en un cuerpo increíblemente compacto y de mucha masa.

También se encuentran otros tipos de agujeros negros llamados agujeros negros supermasivos que como su nombre lo indica su masa es mucho mayor que el de uno de formación estelar. Pues la masa de estos no son unas cuantas veces la masa del sol, sino de millones e inclusive miles de millones de veces la masa del sol. Estos suelen encontrarse en núcleos de galaxias, pero aun no se sabe a ciencia cierta como se originan.



*Estudios de la galaxia NGC 4258 indican que contiene en su centro un agujero negro con una masa de 39 millones de veces la masa del Sol.*

Pero si no emite ningún tipo de luz, ¿cómo podemos saber dónde se encuentra un hoyo negro?

Sabemos que este cuerpo no emite luz, sin embargo éste afecta gravitacionalmente a sus alrededores.

El mejor modo de encontrar agujeros negros de formación estelar es de la siguiente manera:

Los astrónomos saben que la mayoría de las estrellas se forman en sistemas binarios, es decir, en parejas. Muy rara vez, como es el caso del sol, se forma una estrella sola. En un sistema binario, dos estrellas se mantienen unidas, gracias a la fuerza de gravedad, dando vueltas alrededor del centro de masa del sistema. Si una de estas estrellas tiene una masa mayor que la otra, su etapa de vida será más rápida, y se convertirá en un agujero negro. Siempre y cuando rebase las tres masas solares. La fuerza de gravedad de un agujero negro es demasiado alta, y éste empieza atraer el material de sus alrededores.

La estrella compañera del agujero al estar lo suficientemente cerca, y después de haber evolucionado en una gigante roja y expandirse, parte del gas de la superficie de la estrella comienza a pasarse al agujero negro. Este gas no pasa directo, sino que forma un disco de rotación alrededor de él, y ahí va cayendo en espiral hasta entrar al agujero negro. Este disco, conocido como disco de acreción, por la fricción que existe en él, se calienta enormemente y emite rayos X. Es por esto que se les conoce a estos sistemas como binarias de rayos X. Y la mejor manera de encontrarlos, es buscarlos en estas fuentes binarias de rayos X.



*impresion artistica de cómo se cree que son los sistemas binarios de rayos X*

En el caso de los agujeros negros supermasivos, se llegó a la conclusión de que se trataba de este tipo de objetos, ya que astrónomos a principios del siglo XX se percataron de que en el centro de muchas galaxias algo raro ocurría. Como los chorros de materia que salen del centro de la galaxia a velocidades relativistas, es decir, a velocidades cercanas a la de la luz, estos chorros se conocen como Jets. Estos fenómenos observados en los centros activos de la galaxia, se podían explicar si ahí existía un agujero negro.

## SISTEMA SOLAR, LA TIERRA Y SU EVOLUCIÓN

La edad del sistema solar tiene 5 000 millones de años. Al sol le queda otros 5000 millones de años de vida.

Ya vimos como se forma una estrella como nuestro sol, y como a su alrededor se forma un disco el cual se condensará hasta formar planetas. Es así como se formaron los planetas del sistema solar. Los interiores o terrestres, los cuales son pequeños y sólidos como Mercurio, Venus, Tierra, Marte y Plutón. Y los jovianos, los cuales son esferas gaseosas sin superficie sólida, con diámetro 10 veces mayor que el de los planetas terrestres, como lo son Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.

Gracias a los elementos que se formaron por las supernovas de las estrellas de la primera generación se pudieron formar en nuestro sistema solar, planetas con superficie sólida como la tierra y los planetas interiores. Y gracias a que las estrellas muy masivas compartieron su material procesado incluso al final de sus vidas explotando como supernovas, la tierra posee todos los elementos químicos que ahora conocemos.

Hace 4600- 5000 millones de años, se inicia el enfriamiento de la Tierra, nacen los océanos y las primeras lluvias, y surge la vida en los océanos.

Hace 600-230 millones de años, la vida en los océanos aumenta, también aparecen las plantas terrestres, y la tierra estaba formada por un solo continente, Pangea, y por un solo océano, Panthalasa. Se forma la capa de ozono y la atmósfera por la liberación de oxígeno de algas y plantas.

Entre el intervalo de tiempo de 230-65 millones de años, surge la vida animal fuera del agua, aparecen los dinosaurios y es durante este lapso de tiempo que también se extinguieron por el impacto de un gran meteorito. El continente Pangea se fragmenta en más continentes y se forman otros océanos.



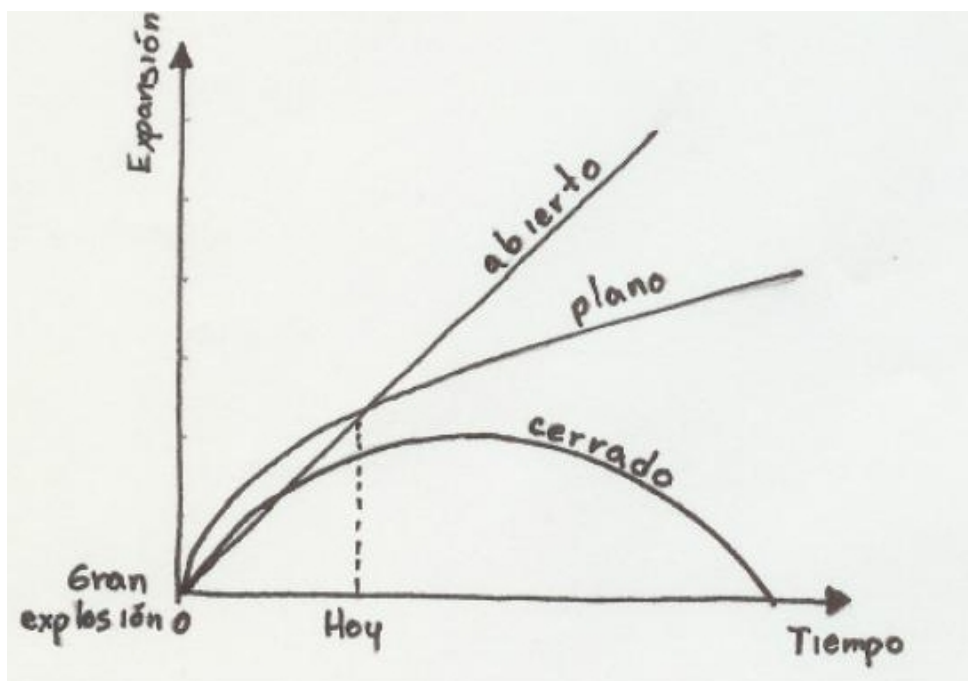
Y en el lapso de tiempo de hace 2 millones de años hasta ahora, se forman los continentes y océanos que ahora conocemos, se crean climas y paisajes que actualmente conocemos. Y se presenta la evolución del ser humano, desde el Homo Habilis hasta el Homo Sapiens, este último, especie a la cual pertenecemos y el cual apareció hace 40000 años.



## POSIBLES FUTUROS DEL UNIVERSO

Para poder saber el destino del universo, tomando en cuenta el modelo de la gran explosión, es necesario calcular la densidad del mismo.

Friedmann desarrolló un modelo de la dinámica del universo, el cual, lo elaboró a partir del estudio de las ecuaciones de Einstein de la teoría general de la relatividad.



*Tres posibilidades del futuro del universo, descubiertas por Friedmann*

Si la densidad del universo es lo suficientemente grande, el universo permanecerá en expansión hasta llegar a un momento en que se detenga y comience a colapsarse de nuevo y llegar a lo que se llama el gran colapso. De otra manera podemos decir que nuestro universo sería cerrado.

Pero si la densidad del universo no es lo suficientemente grande, en este caso el universo será abierto o plano. En cualquiera de las dos formas se llega a una expansión infinita, es decir, la expansión del universo será más fuerte que la fuerza de gravedad, y ya no terminará en el gran colapso sino en una expansión por siempre.

Hasta el momento todos los cálculos indican que nuestro universo es plano, el cual permanecerá en expansión de una forma infinita.

## MATERIA OSCURA

La materia oscura, como su nombre lo indica, es materia la cual no emite radiación electromagnética. Por esta razón, no puede ser detectada en ninguna banda del espectro electromagnético, es decir, no se puede ver en rayos- $\gamma$ , rayos X o ultravioleta, ni en luz visible, ni infrarrojo ni en radio.

Aunque no se puede detectar en ninguna banda del espectro electromagnético, ésta influye en los movimientos de otros cuerpos que si son visibles, por la atracción gravitacional que ejerce sobre ellos, y esto delata su presencia.

La materia oscura pueden ser:

Planetas, enanas blancas, agujeros negros (estelares como supermasivos), y materia no bariónica, la cual esta formado por neutrinos, fotones y partículas desconocidas; no de las que esta formado la materia bariónica, es decir, de electrones, protones y neutrones, o mejor dicho de los átomos que se conocen en la tabla periódica de elementos.

Es interesante mencionar que la materia bariónica y la no bariónica, son importantes para calcular la densidad del universo, además de una constante cosmológica.

La materia oscura no bariónica, es material desconocido. Determina la estructura a gran escala del universo, es decir, explica la formación de las galaxias, y la formación de la estructura actual

de nuestro universo. Sin la existencia de la materia oscura no bariónica, el universo no sería como lo conocemos ahora, pues las galaxias aun no existirían.

Por otra parte, la energía oscura es otro tipo de materia desconocida. A diferencia que la materia oscura no bariónica, la energía oscura provoca que el universo se esté expandiendo aceleradamente. Da un efecto gravitacional repulsivo.

## **RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

Tomando de referencia el modelo teórico de la Gran explosión. El más aceptado por los científicos.

- (a) Nuestro universo se forma a partir de una gran explosión. El espacio y tiempo se contenían en un gran núcleo que posteriormente explotó.
- (b) Durante los primeros minutos se forma la materia. Hasta quedar constituido por el 75% de Hidrogeno y el 25% de Helio.
- (c) Se forman estrellas y galaxias gracias a fluctuaciones de densidad en el universo y a la contribución de materia oscura.
- (d) Nuestro sol es de las pocas estrellas que se encuentran solas, la mayoría se forman en parejas (estrellas binarias).
- (e) Los átomos de los cuales se constituye cada ser vivo. Además todos los que se conocen en la tierra. Fueron procesados en el interior de las primeras generaciones de estrellas. Y gracias a estas estrellas que esparcieron su material al espacio interestelar, el sistema solar y la tierra se pudieron formar.
- (f) El destino del universo será expandirse por siempre.

El cielo estrellado que veo desde mi ventana es solo una pequeñísima parte de todas las maravillas que posee nuestro universo. Gracias a los grandes adelantos de

la ciencia y tecnología se puede comprender más éste misterioso universo. Y se tiene gran conocimiento de éste, sin embargo nunca se deja de investigar.

## **REFERENCIAS DOCUMENTALES**

-El descubrimiento del universo; Shahen Hacyan; Fondo de cultura económica, colección La ciencia para todos; México 1999.

-Un universo en expansión; Luis F. Rodríguez; Fondo de cultura económica, colección La ciencia para todos; México 2005.

-Siete problemas de la Astronomía contemporánea; Arcadio Poveda, Luis F. Rodríguez, Manuel Peimbert; El Colegio Nacional; México 2004.

- Cuásares; Déborah Dultzin; Fondo de cultura económica, colección La ciencia para todos; México 2003.

-La evolución de nuestro universo; Malcolm S. Longair; Cambridge University Press; edición española 1998

-Los hoyos negros y la curvatura del espacio tiempo; Shahen Hacyan; Fondo de cultura económica, colección La ciencia para todos; México 1988.

-Geografía para Bachilleres; Ayllón, Lorenzo; Editorial trillas; México 2002.



## **OPINION Y EXPERIENCIA PERSONAL**

Agradezco a los que tuvieron la idea del proyecto de las estancias cortas, ya que es un proyecto en el que los alumnos de bachillerato pueden estar más de cerca en temas que les interesa. En mi caso, me gusta mucho la astronomía, y el poder estar en interacción con grandes investigadores, como el Dr. Sergio Mendoza. El cual agradezco nos haya aceptado a mi compañera Citlalli y a mí poder trabajar con él. Que nos recomendara leer buenas lecturas científicas. Tanto revistas como libros. Es una gran experiencia.

Asistir al instituto de astronomía es una vivencia muy bonita pues como comentaba, el interaccionar con grandes investigadores, viendo como trabajan, que compartan en conferencias su conocimiento, es muy agradable.

Por lo que vi eran conferencias donde los investigadores exponían su trabajo realizado recientemente, en el cual sinceramente manejaban términos muy avanzados para mí, pero trataba de captar lo más posible.

La investigadora Laura Parrao nos llevo al observatorio de Tonanzintla en Puebla, ahí nos quedamos por cuatro días, nos mostraron los telescopios, el de 1 metro y el de carta del cielo, los cuales no pudimos observar a través de ellos, ya que el clima no nos lo permitió. Pero el último día de nuestra estancia en Tonanzintla pudimos admirar el amanecer. Lo más bonito, es que minutos antes pudimos ver las estrellas, algunos satélites los cuales atraviesan el cielo muy rápido y algunas estrellas fugaces.

Todo en esta vida tiene sus pros y sus contras, y en mi estancia no puedo descartar que existieron algunos contras, mas sin embargo, aprendí que hay que verles el lado positivo y aprender algo de ellos, ya que en la vida siempre habrá que toparse con ellos.

Realizar mi trabajo de investigación, me ayudo mucho a mejorar mis conocimientos en el ámbito de cosmología. Lo interesante es que nunca se acaban las preguntas. He escuchado mucho esta frase: cada vez se sabe más, pero cada vez nos volvemos más ignorantes. Espero ser una persona que aplique esta frase en su vida. Quiero ser una persona muy ignorante, pero con grandes conocimientos.