



Red de Astronomía de Colombiana, RAC.
Observatorio Astronómico de Manizales OAM

El camino a las estrellas



Gonzalo Duque-Escobar

Presidente de la Red Colombiana de Astronomía, RAC 2004-2006

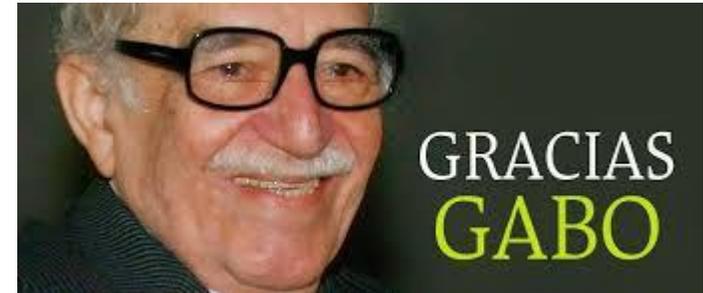
Documento (2006); Actualizado (2016).

In: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1591/>

Imagen: Ícaro. Acrílico de Alejandro Obregón

Presentación

- Este documento, cuya primera versión se presentó en 2006 y se actualiza en 2016, es un aporte del Observatorio Astronómico de Manizales OAM, dependencia de la U.N. de Colombia, a través de la Red de Astronomía de Colombia RAC, a la apuesta de endogenizar la ciencia, dada la importancia de adaptar el conocimiento externo logrando su articulación con los saberes nuestros, para lograr mediante su uso contribuir al proyecto de Nación con fundamento en el informe **COLOMBIA: AL FILO DE LA OPORTUNIDAD**, actuando siempre en el marco de la misión de la Universidad Nacional de Colombia.
- Imagen de Gabriel García Márquez “Gabo”, en: <http://blugeria.blogspot.com.co/>



“Los aztecas y los mayas habían plasmado su conciencia histórica en pirámides sagradas entre volcanes acezantes, y tenían emperadores, clarividentes, astrónomos insignes y artesanos sabios que desconocían el uso industrial de la rueda, pero la utilizaban en los juguetes de los niños.”

GABRIEL GARCÍA MÁRQUEZ, en Colombia: Al Filo De La Oportunidad. Misión de Sabios. 1986.

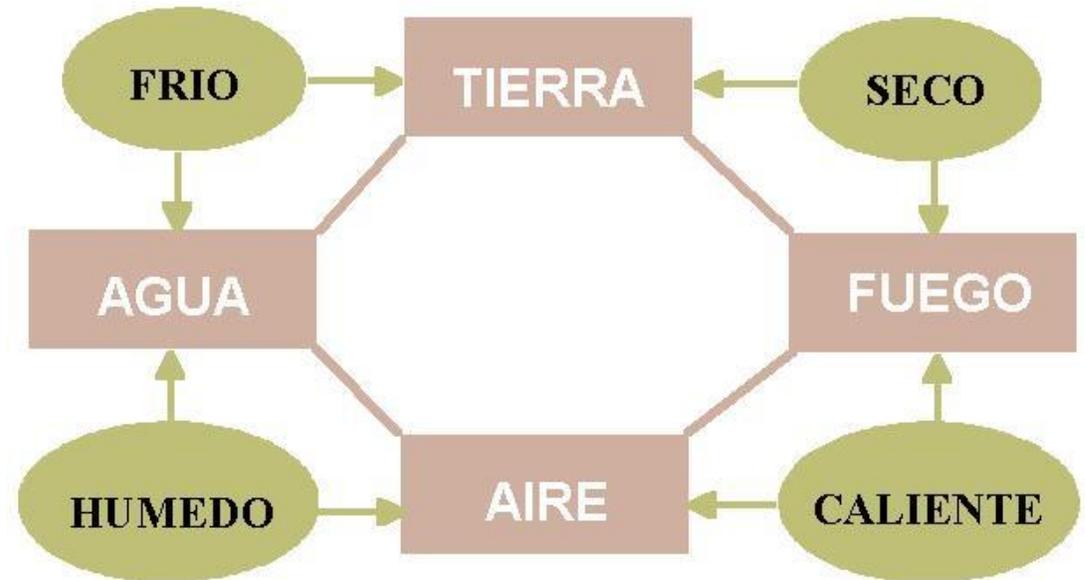
Introducción

- La Astronomía, es la ciencia que se ocupa del estudio de los cuerpos celestes y en general del Universo.
- Es también la más antigua de las ciencias, y una de las más modernas: desde la antigüedad hasta nuestros días, la astronomía ha estado ligada al hombre primitivo y a todas las civilizaciones.
- Con los calendarios, tras aparecer las primeras leyes de la física relacionadas con el funcionamiento de la naturaleza, surge la Agricultura, y con ella los Poblados.
- Cuando las comunidades primitivas se asientan, con los Poblados también aparece la Escritura, y con la Escritura se forjan los Imperios.
- Si en la antigüedad, para los egipcios el aspecto del cielo siempre revistió un significado mitológico y religioso, para el hombre moderno continúa el interés por desentrañar los misterios de la materia, y de la estructura y origen del Universo.
- Imagen en:
<http://todolocreadoanteshasidopensado.blogspot.com.co/>



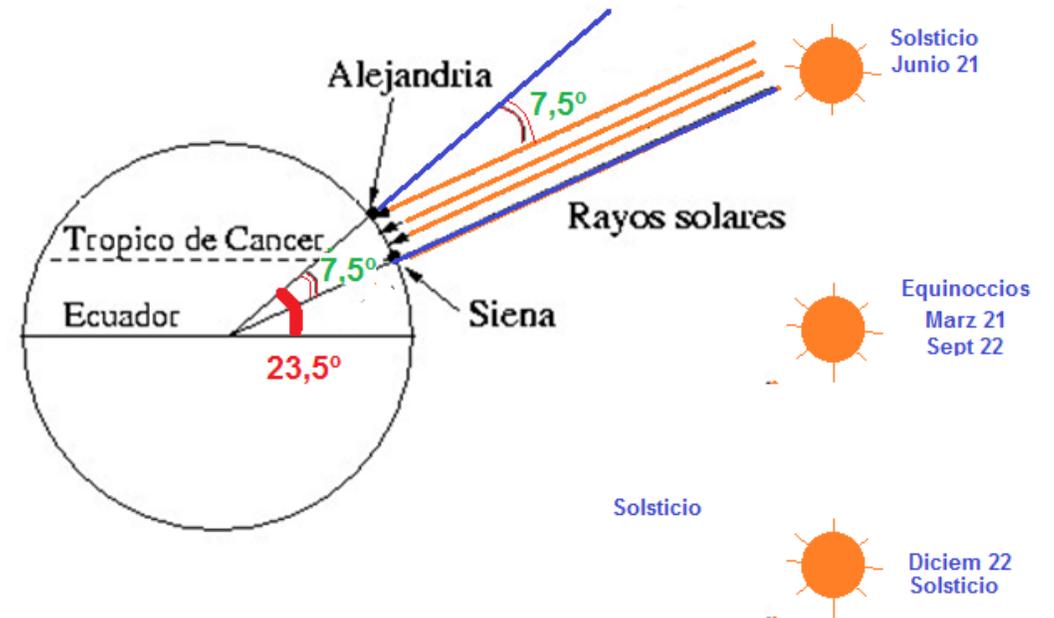
Elementos aristotélicos

- La Escuela Naturalista Jónica de Mileto, a la cual pertenecieron Tales, Anaximandro y Anaxímenes, propuso la existencia de cuatro elementos: tierra, agua, aire y fuego, asociados a las cuatro propiedades fundamentales de los objetos materiales observados: caliente o frío, y seco o húmedo.
- Esta teoría de los cuatro elementos aceptada por ARISTÓTELES de Estagira (384-322 a.C.), perdura hasta el siglo XVII, cuando irrumpieron los alquimistas.
- Para la época, los concepto de gravedad (caída) y levedad (ascenso), asociados en cierto modo a la densidad, explicaban el siguiente comportamiento de los elementos: la tendencia de la tierra es desalojar el agua y a su vez el agua al aire, mientras el fuego estaría siempre por encima de los tres elementos restantes.
- Imagen de los Cuatro Elementos aristotélicos, en: <http://mifuturo-duvan.blogspot.com.co>



Midiendo la Tierra

- Antes de Newton, los físicos y astrónomos habían mirado sólo la Tierra o el Sistema Solar: Eratóstenes, mide el radio de la Tierra. Tolomeo deduce que la tierra es redonda y propone un modelo geocéntrico. Copérnico elabora el modelo heliocéntrico, y Kepler y Galileo estudian los movimientos de los planetas en el Sistema Solar.
- En la tradición judeo-cristiana-musulmana, el Universo comenzó en un cierto tiempo pasado finito y no muy lejano. Aristóteles y Ptolomeo suponen la Tierra estática en el centro del Universo, y en torno a ella todo girando según círculos perfectos.
- Imagen: Medida de la circunferencia terrestre por Eratóstenes, en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/12426/1/gonzaloduqueescobar.201416.pdf>

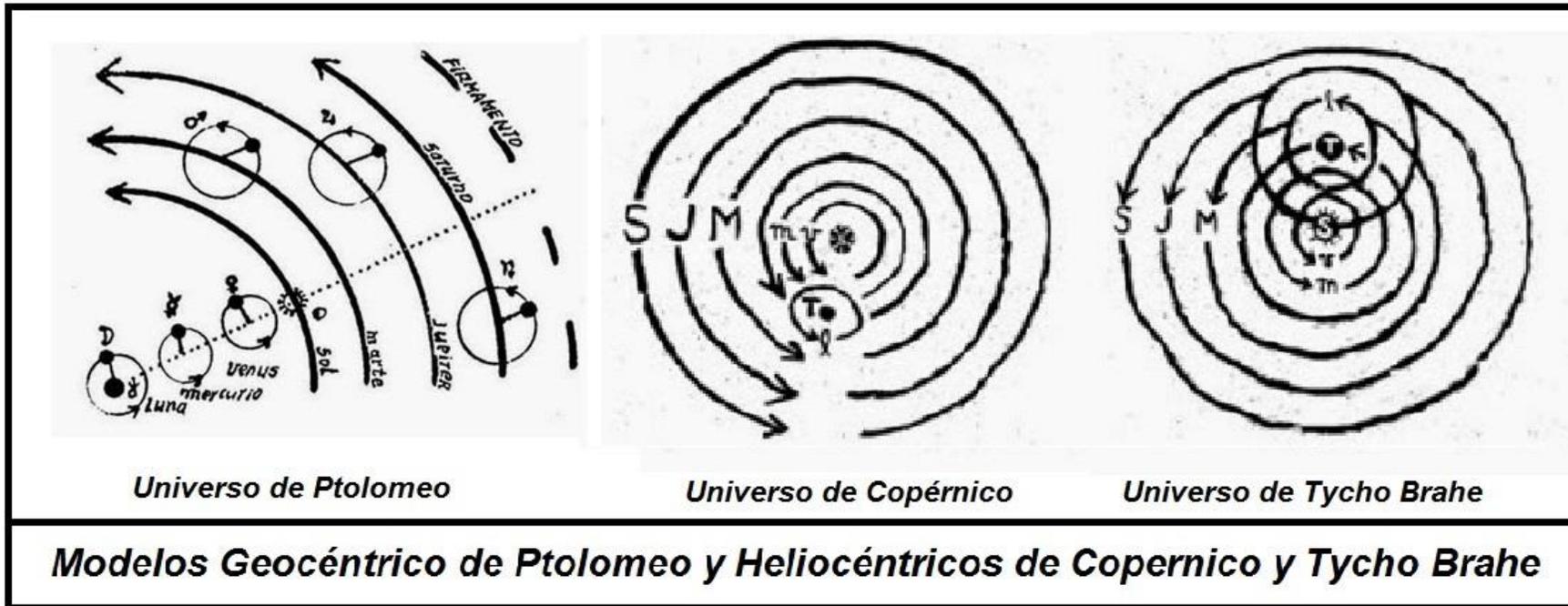


El movimiento de precesión

- Hiparco (190-120 a. C.) **el astrónomo griego más importante**, inventó la trigonometría, hizo un catálogo de más de 1000 estrellas y **descubrió la precesión** del eje terrestre. Calculó con bastante exactitud la **distancia Tierra-Luna**, obteniendo una cifra que oscilaba entre 59 y 67 veces el radio R de la Tierra. Hoy sabemos que esa relación es 60,28 ya que $TL=384000$ km y $R=6370$ km.
- La tierra, además de su rotación y traslación, presenta dos movimientos en el eje polar geográfico: la precesión y la nutación. **El período de la precesión** es de 25800 años. La inclinación del eje polar, que es la existente entre los planos ecuatorial y de la eclíptica, mide $23^{\circ},5$. Ver figura.
- Imagen: Movimientos de precesión y nutación del eje terrestre, en:
<http://www.bdigital.unal.edu.co/12426/1/gonzaloduquesebastian.201416.pdf>



Los modelos del mundo

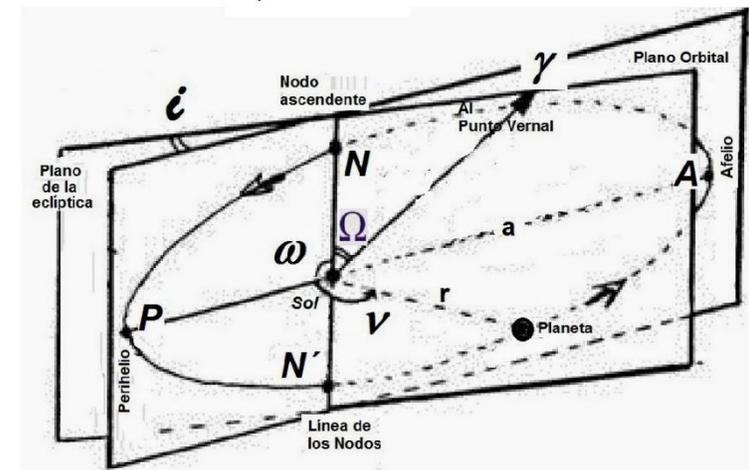
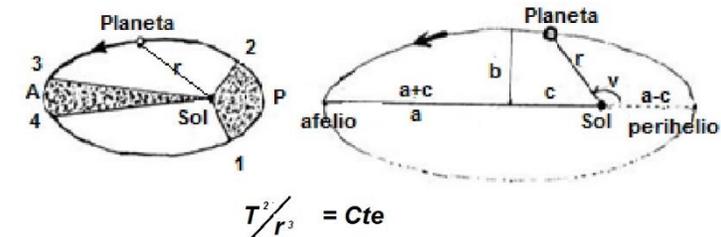


- La teoría de los epiciclos y de los deferentes de Ptolomeo permitía, no sólo dar una explicación teórica al movimiento de los planetas, sino también obtener predicciones fiables de su posición. Imagen en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/12426/>

• Claudio Ptolomeo (85-165 d.C. aprox.) propone un sistema geocéntrico, basada en epiciclos orbitando círculos mayores denominados deferentes, para obtener movimientos combinados que permitían, no sólo dar una explicación teórica al movimiento retrógrado de los planetas, sino también obtener predicciones fiables de la posición planetaria. Posteriormente, aparecen dos modelos heliocéntricos: el de Nicolás Copérnico (1473-1543), el astrónomo polaco que “movió el mundo”, y el de Tycho Brahe (1546-1601) quien propuso un sistema intermedio con la Tierra como centro circundada por la Luna y por el Sol, y el Sol a su vez circundado por los planetas. Ambos modelos heliocéntricos también mantienen los epiciclos, al sostener que en el espacio supralunar, mundo inmutable y de la perfección, las órbitas planetarias son siempre circulares y las velocidades planetarias, constantes.

Orbitas imperfectas

- Johannes Kepler (1571-1630) formula tres leyes sobre el movimiento de los planetas en su órbita alrededor del Sol, y colabora con Tycho Brahe (1546-1601), a quien sustituye como matemático y astrónomo imperial de Rodolfo II.
- 1- Los planetas tienen movimientos elípticos alrededor del Sol, quien se ubica en uno de los focos de la órbita planetaria.
- 2- Las áreas barridas por el radiovector planeta-sol, son proporcionales al tiempo empleado por los planetas en recorrer el perímetro de dichas áreas.
- 3- El cuadrado de los períodos de la órbita de los planetas es proporcional al cubo de la distancia promedio al Sol.
- En 1629, Kepler inventa la ciencia ficción con un cuento del viaje a la Luna, describiendo la velocidad de escape, la ingravidez a mitad de camino y las leyes de la física de entonces.



Los elementos de una órbita planetaria, son seis: el argumento del perihelio ω , la longitud de los nodos Ω , la inclinación del plano orbital i , la excentricidad e de la órbita, el semieje mayor a de la trayectoria elíptica y el período orbital P . Imagen en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/12426/>

El método científico

- El pensamiento y obra de Galileo Galilei (1564-1642) termina marcando al hombre moderno, al contribuir con bases empíricas para el método científico, empleando el razonamiento inductivo en lugar del razonamiento deductivo, mediante la prueba física y la observación.
- Galileo, al hacer uso del Telescopio refractor, además de descubrir las manchas solares y cuatro satélites de Júpiter, advertirá la naturaleza de la Vía láctea y constatará que ciertas estrellas visibles a simple vista como las de la constelación de Orión, son cúmulos de estrellas.
- A partir de Galileo, se matematiza el mundo: la noción de tiempo, antes discreta, pasa a ser continua cuando se mide la velocidad empleando el péndulo como reloj.
- Imagen: Conmemoración en la Filatelia paraguaya de los 400 años de Galileo. En: www.portalguarani.com



Gravitación universal

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$$

- La fuerza F depende de las masas m1 y m2 que interactúan y de la distancia r entre sus centros de gravedad. G es la constante de gravitación universal. Imagen en: <http://www.xtec.cat/>
- Isaac Newton (1643-1727) elabora una teoría gravitacional, que explica el comportamiento de todos los cuerpos del Universo, y el movimiento expresando espacio y tiempo como invariantes.
- Para el efecto, toma lo fundamental del pensamiento que le precede, así: 1-De Copérnico: el modelo heliocéntrico. 2-De Kepler: las tres leyes y las mareas. 3-De Galileo, toma la caída libre y el movimiento parabólico. 4-De Descartes: incorpora la inercia rectilínea.

Estas son las tres leyes de Newton:

1-Ley de la inercia: “Todo cuerpo preservará su estado de reposo o de movimiento uniforme y rectilíneo, a no ser que actúe sobre él otra fuerza que cambie su estado inicial”.

2-Ley de la interacción y la fuerza: “El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa, y ocurre en la misma dirección de la línea de acción de la fuerza que se aplique”. Esta segunda ley puede resumirse en la fórmula: $F = m a$

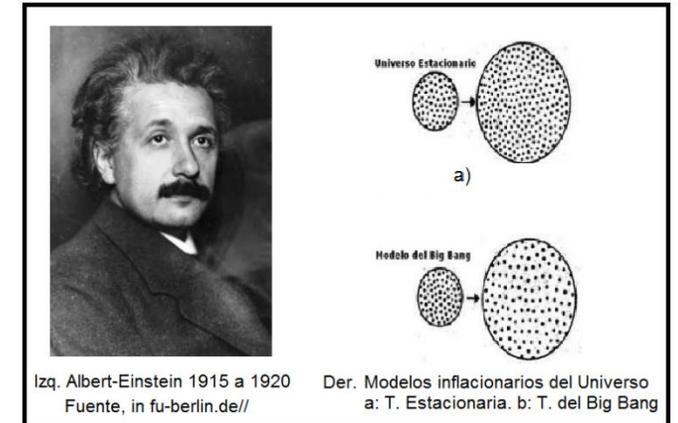
3-Ley de acción y reacción: “A toda acción siempre corresponde una fuerza de reacción igual y contraria”.

Ver más en:

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1668/1/gonzaloduqueescobar.20098.pdf>

La teoría de la relatividad

- Einstein, derrumba los conceptos de tiempo y espacio absolutos.
- La teoría de la relatividad, formulada por Albert Einstein (1879-1955), tuvo dos formulaciones diferentes.
- La primera en 1905, conocida como la Teoría de la relatividad especial, en la que se ocupa de sistemas que se mueven uno respecto del otro, con velocidad constante. Según la ecuación $E=mc^2$ masa y energía son dos aspectos de la misma cosa.
- La segunda, denominada en su obra de 1916 Teoría de la relatividad general, se ocupa de sistemas que se mueven a velocidad variable.
- Einstein, se preguntaba en 1907, si la gravedad es fuerza, ¿por qué una persona en caída libre no siente su peso?.
- Sea cual fuere la velocidad a la que un objeto se mueve, ciertos procesos, como la velocidad de la luz, resultan invariantes
- En esta teoría, la atracción gravitacional es la manifestación de la curvatura del Espacio-Tiempo, causada por la presencia de materia y de energía. La materia le dice al espacio cómo curvarse y el espacio a la materia cómo moverse.
- En cualquier sistema de referencia en movimiento, el tiempo se dilata, todo se contrae en la dirección del desplazamiento y los cuerpos materiales aumentan su masa.
- La Teoría de la Relatividad Especial generaliza la mecánica de Newton, al explicar los movimientos de los cuerpos cuando éstos se desplazan a velocidades cercanas a la de la luz.
- Ver más en: <http://www.galeon.com/guiaastronomica>



Albert Einstein y los Modelos inflacionarios del Universo; en: <https://godues.wordpress.com/2016/02/01/>

Materia y Energía

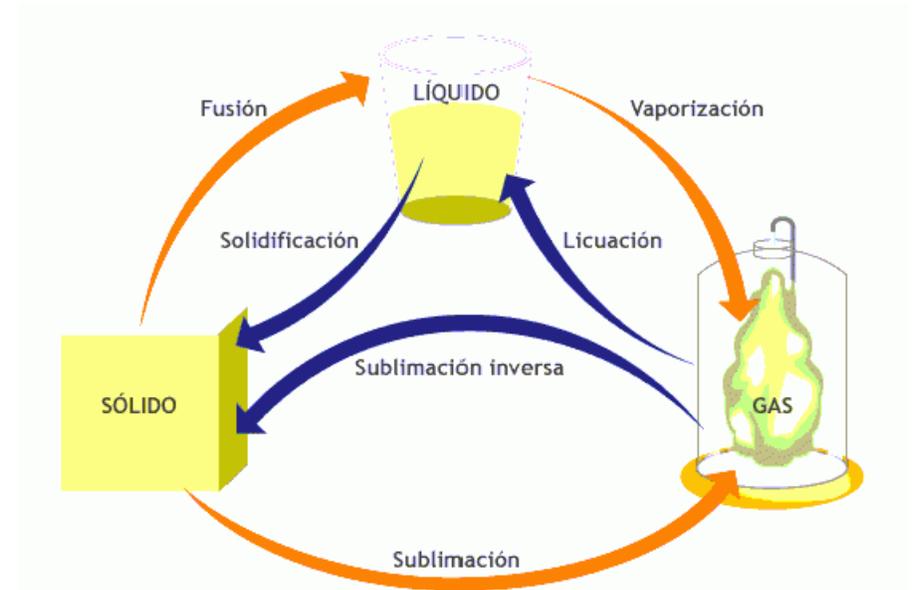
- Desde el punto de vista clásico, el estado físico de los cuerpos, es el siguiente: sólido, líquido y gaseoso. Hoy se habla del plasma, otra forma común de la materia, cuyas características propias no se dan en los sólidos, líquidos o gases, por lo que es considerado otro estado de agregación de la materia.
- En el estado sólido la materia tiene un volumen determinado y una forma fija, en el estado líquido tiene también volumen fijo pero no así una forma determinada y en el estado gaseoso no tiene volumen fijo ni forma determinada.
- Los gases son menos densos que los sólidos y que los líquidos, y de manera muy general, el contraste de densidades entre sólidos y líquidos es bajo, permitiendo afirmar que sus densidades son relativamente iguales.
- El plasma, es un estado fluido similar al estado gaseoso, en el que determinada proporción de partículas están cargadas eléctricamente y no poseen equilibrio electromagnético. Esto es: al estar cargadas eléctricamente, sus partículas pueden actuar como conductores eléctricos y responder a las interacciones electromagnéticas de largo alcance.



El Sol quizás sea el ejemplo de plasma más identificable. Imagen en <https://es.wikipedia.org>

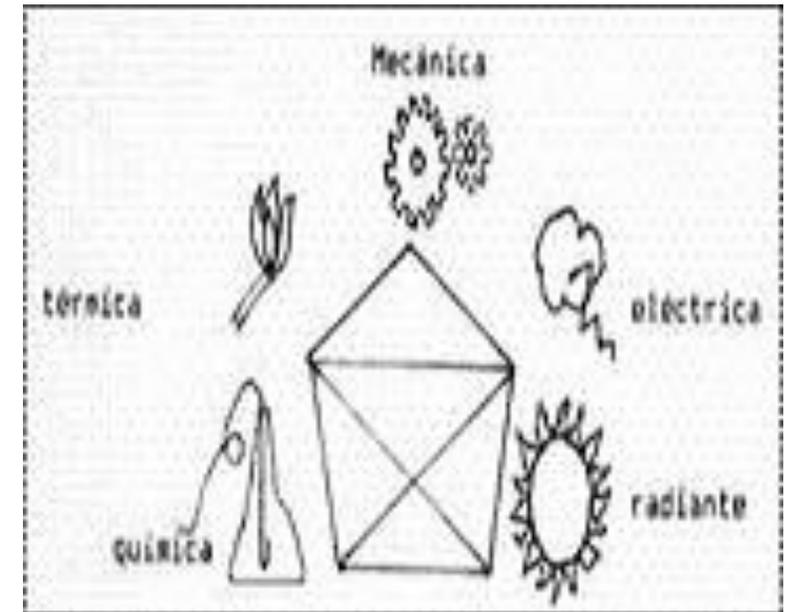
Cambios de estado de la materia

- Cuando una sustancia en estado sólido se calienta, incrementa el estado de agitación de sus moléculas. Si se continúa calentando, la agitación molecular rompe los enlaces entre las moléculas, y el material se funde.
- El proceso de solidificación es contrario a la fusión: al caer la temperatura disminuye el estado de movimiento de las moléculas, y las conexiones moleculares se recuperan.
- Si la sustancia anterior sigue en estado líquido y continuamos suministrándole calor, con la mayor temperatura habrá un aumento en el grado del movimiento de las moléculas, hasta un punto en el cual adquieren energía suficiente para escapar, alcanzando el estado gaseoso. La condensación es el proceso inverso de vaporización, que se da al bajar la temperatura del gas.
- La sublimación, es el paso directo de la materia del estado sólido al gaseoso sin pasar por el líquido, proceso que solamente ocurre en condiciones adecuadas de presión y temperatura.
- Imagen: Fusión, solidificación, vaporización, sublimación y condensación, en: <http://www.escuelapedia.com/>



La energía

- Aunque la energía se define como la capacidad para realizar un trabajo, el término tiene diversas acepciones y definiciones. En física clásica, la ley universal de conservación de la energía, como fundamento del primer principio de la termodinámica, señala que la energía asociada a un sistema aislado, permanece constante en el tiempo.
- En los sistemas físicos clásicos, la suma de la energía mecánica, energía calorífica, electromagnética, y de otros tipos de energía potencial, es una cantidad constante.
- En la teoría de la relatividad especial la expresión $E = mc^2$, establece una equivalencia entre masa y energía.
- En la mecánica cuántica, aunque el valor esperado de la energía de un estado estacionario se mantiene constante, existen estados que no son propios del hamiltoniano, para los cuales la energía esperada del estado fluctúa.
- Se puede intercambiar de forma directa, energía química por térmica, eléctrica o radiante. También, energía radiante por química, térmica o eléctrica. No se puede intercambiar de manera directa energía mecánica por química o radiante, según lo muestran las líneas del diagrama adjunto.
- Imagen: Formas de intercambio de energía. Ver Materia y Energía, en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>



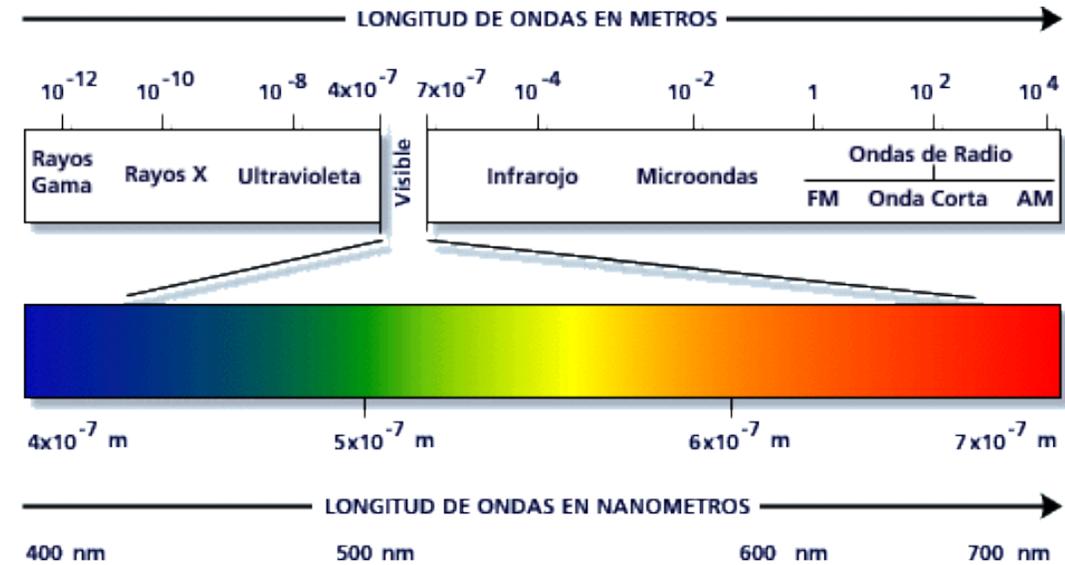
Potencia y trabajo

- Mientras la Energía es la capacidad de producir Trabajo, la Potencia es la velocidad en la realización del Trabajo o en el uso de la Energía.
- El Trabajo es la actividad que aplica la fuerza en un cuerpo para causar su desplazamiento efectivo y producirle un movimiento acelerado.
- La energía se mide en Ergios, Julios o eV.
- Un ergio equivale a $6,2415 \times 10^{11}$ eV; y un Julio, a 10 millones de ergios. Y la fuerza, se mide en Dinas y Newtons:
- $1 \text{ dyn} = 1 \text{ g} \cdot \text{cm/s}^2 = 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 10^{-5} \text{ N}$
- $1 \text{ N} = 1 \text{ Kg} \cdot \text{m/s}^2 = 10^5 \text{ g} \cdot \text{cm/s}^2 = 100000 \text{ dyn}$
- Una tortuga y una liebre de igual masa recorren la misma distancia, realizan el mismo trabajo y consumen la misma energía, pero la tortuga lo hará con menor potencia que la veloz liebre.
- Podemos hacer una evaluación de la energía que se consume en diferentes procesos naturales, observando la siguiente escala (aproximada) de crecimiento exponencial.
- Un ergio: equivale a una dina a lo largo de un cm.
- 10^2 ergios: 1 segundo de luz de luna en la cara.
- 10^8 ergios: una cerilla encendida.
- 10^{12} ergios: camión a gran velocidad, deslizamiento de tierra
- 10^{18} ergios: impulso inicial de un cohete Atlas, una avalancha
- 10^{20} ergios: la primera bomba atómica; un rayo.
- 10^{24} ergios: bomba de hidrógeno; terremoto destructor
- 10^{28} ergios: calor que pierde la Tierra en un año.
- 10^{32} ergios: calor recibido por la Tierra durante un año.
- 10^{36} ergios: giro de la Tierra sobre su eje.
- 10^{40} ergios: calor del Sol en un año o una rotación de la Tierra sobre su órbita.
- 10^{48} ergios: explosión de una estrella supernova.

Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>

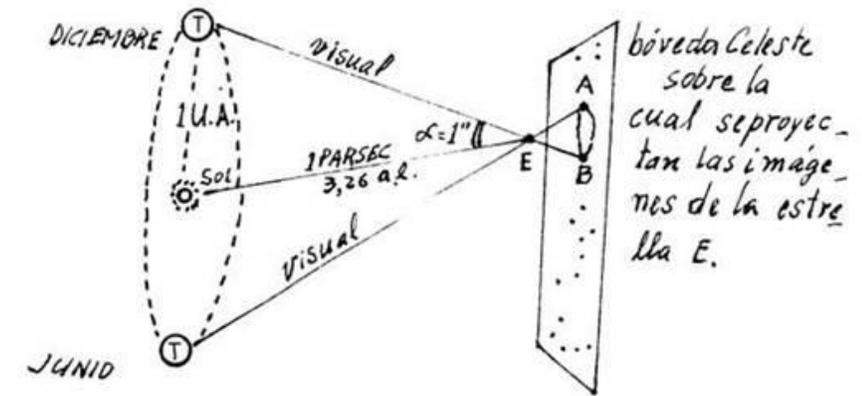
Espectro electromagnético

- La energía radiante se transmite por ondas electromagnéticas a la velocidad de la luz. El espectro electromagnético es un contenido continuo de frecuencias, en el cual se señala la longitud de onda ventana por ventana. Donde ésta es corta, la frecuencia y la energía son altas y donde es larga, la frecuencia y la energía son bajas.
- La luz visible ocupa la estrecha banda de la longitud de onda, en el rango de 4 a 7,3 micrómetros. Las ondas mayores de 1 metro) corresponden a radio-ondas, mientras las de menos de la 10 millonésima de centímetro, a los rayos gamma.
- Entre otras radiaciones, están los rayos gamma asociados a cuantos del núcleo atómico, los rayos X provenientes de la envoltura electrónica del átomo, la radiación ultravioleta que es fluorescente y de alta influencia biológica, los rayos infrarrojos típicos de la radiación calorífica, y las ondas radioeléctricas (microondas, radio-televisión, radar...).
- Muchos tipos de radiación físicamente distintas, son ondas electromagnéticas que sólo difieren en tamaño. La radiación electromagnética tiene el doble carácter de onda y de partícula.
- Imagen: Espectro electromagnético, en <http://www7.uc.cl/>



Triangulando la distancia a las estrellas

- Para conocer la distancia a las estrellas cercanas, aplicamos métodos de triangulación, como la medida de la paralaje estelar, donde se utiliza el semidiámetro de la órbita terrestre (denominado U.A.), como base de observación. Este método tiene un alcance hasta 100 parsecs.
- Supongamos una estrella cercana. Al observarla desde los extremos de un diámetro de la órbita de la Tierra (observaciones separadas seis meses), la imagen de la estrella aparecerá proyectada sobre la bóveda celeste en dos puntos distintos (A y B). Como el diámetro orbital de la Tierra se conoce, el triángulo que hacen las visuales, cuya base mide dos U. A., tiene solución. Es este un problema sencillo de resolver, máxime cuando siempre el estrecho ángulo entre A y B es pequeño. Si se procuran relativamente iguales los ángulos en A y B las dos visuales se hacen relativamente iguales y por lo tanto el gran triángulo TET se asume isósceles. En este caso, el método de triangulación llega a su máximo alcance y se pueden tratar las distancias SE y ST como los catetos de un triángulo rectángulo en S.
- Si el arco AB midiera dos segundos, el ángulo alfa, media de AB, valdría un segundo de arco, y la distancia del Sol a la estrella, SE, mediría un parsec, distancia equivalente a 3,26 años luz. El ángulo alfa se denomina la paralaje de la estrella y las posibilidades de aplicar este método cubren los 30 parsecs utilizando sistemas convencionales de medida angular, o los 100 parsecs refinando las medidas y aceptando incertidumbre en la distancia estimada. La estrella Polar está en esa frontera.
- Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/12426/1/gonzaloduqueescobar.201416.pdf>



La paralaje de una estrella, es el ángulo que subtende el radio de la orbita terrestre U.A., equivalente a 150 Millones de km. Este método resulta útil para triangular la distancia hasta las estrellas cercanas. Un Parsec equivale a 3,26 al y a una paralaje de 1" de arco.

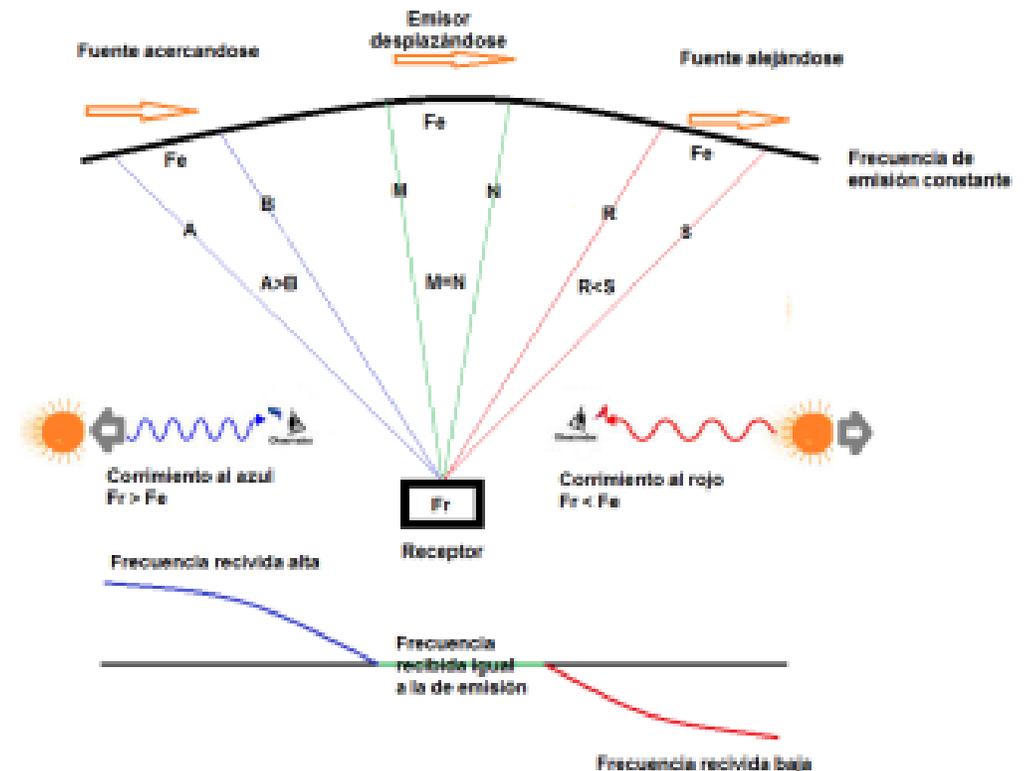
Efecto Doppler-Fizeau

- El cambio en frecuencia observada f_0 , cuando la fuente que emite una frecuencia f_1 se aleja respecto al observador a una velocidad v , está dado por la expresión:

$$f_0 = f_1 \left(\frac{1-v/c}{1+v/c} \right)^{1/2}$$

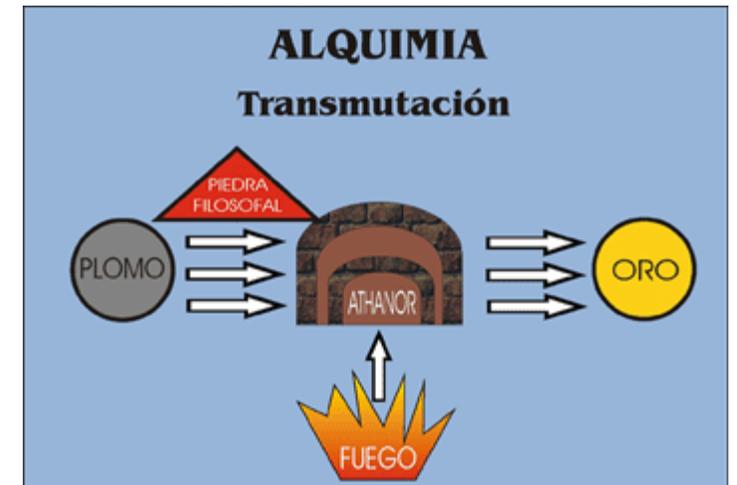
- Se trata de un efecto Doppler relativista que consiste en el cambio observado en la frecuencia de la luz procedente de una fuente en movimiento relativo, con respecto al observador.
- Dicho fenómeno difiere del efecto Doppler del sonido, debido a que la velocidad de la luz, c , es constante para cualquier observador, independientemente de su estado de movimiento.
- Cuando la fuente luminosa se acerca, las líneas espectrales muestran un corrimiento al azul proporcional a su velocidad radial de aproximación; cuando se aleja, el corrimiento se da al rojo.
- Imagen: Efecto Doppler para una fuente luminosa, en:

<http://www.bdigital.unal.edu.co/12426/1/gonzaloduqueescobar.201416.pdf>



Los elementos

- Un elemento químico es un tipo de materia constituida por átomos de la misma clase. En su forma más simple posee un número determinado de protones en su núcleo. Los elementos se combinan para formar compuestos. En estado natural, conocemos 92 clases de elementos (del hidrógeno al uranio), los demás son artificiales; en nuestro ambiente solamente dos son líquidos (bromo y mercurio). Los compuestos son combinaciones de átomos de elementos y la molécula es la unidad más pequeña de un compuesto.
- La materia se compone de átomos, estos de electrones, protones y neutrones; los átomos son la unidad más pequeña de un elemento y poseen masa y carga eléctrica. En el átomo normal el número de electrones y protones es igual.
- Un ión es un átomo desequilibrado por la vía de los electrones; si es de carga positiva recibe el nombre de catión, pero si ella es negativa, se denominará anión. Un isótopo es una forma alterna de elementos y se produce desequilibrando un átomo por la vía de los neutrones. En el hidrógeno no hay neutrones; en los átomos de elementos livianos, el número de neutrones y protones es igual; en los pesados el número de neutrones supera al de protones.
- Imagen: Esquema para la transmutación de los metales: plomo en oro. Fuente: <http://cmpleguezuelos3.blogspot.com.co>



Las partículas elementales

- Hoy la materia y la energía son entendidas como dos aspectos de una misma cosa. "El átomo" paradójicamente es divisible. Las partículas elementales, que lo constituyen todo, están trazadas en los modelos actuales así: los leptones (electrón, tau, muon y sus correspondientes neutrinos), los quarks (arriba, abajo, cima, fondo, extraño y encantado) y los bosones (gravitón, fotón, gluon, Z y W). Esas partículas elementales tienen masa, excepto el fotón y el gravitón.
- Hay cuatro fuerzas fundamentales en la naturaleza: la gravedad asociada a los gravitones, de enorme alcance y actuando en una sola dirección, es la más tenue; la electromagnética asociada a los fotones, de gran alcance y actuando en dos direcciones, supera a la anterior; la interacción fuerte asociada a los gluones, de corto alcance y ligando el núcleo atómico, supera en dos órdenes a la electromagnética; y la interacción débil asociada a las partículas Z y W, la tercera en intensidad y que siendo de corto alcance, explica la radioactividad.
- Los quarks forman protones y neutrones. La tercera fuerza responde por la unidad de los protones en el núcleo atómico mientras la segunda fuerza explica cómo el núcleo captura a los electrones (las cargas iguales se repelen y las cargas contrarias se atraen). El electrón, el protón y el neutrón tienen masa; en el electrón la carga es -1, en el protón es +1 y en el neutrón es 0. La masa del protón, similar a la del neutrón, es 1840 veces la del electrón.
- Imagen: Partículas elementales, en: <http://palmera.pntic.mec.es/>

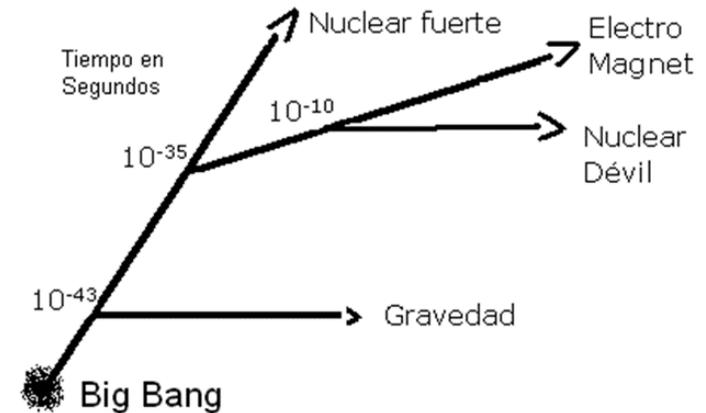
	Fermiones	Bosones	
Fundamental	LEPTONES electrón, muones, tau, neutrinos	PARTÍCULAS MENSAJERAS fotón, W ⁺ , W ⁻ , Z	sin interacción fuerte
	QUARKS u, d, c, s, t, b	gluones	
Compuesto	HADRONES		con interacción fuerte
	bariones protón, neutrón, omega,...	mesones pión, kaón,...	

Fuerzas fundamentales

- En física, se denominan fuerzas fundamentales a las interacciones que explican los cuatro tipos de campos cuánticos, mediante los cuales interactúan los bosones con los fermiones.
- Los fermiones elementales se dividen en dos grupos: los Quarks, que forman las partículas del núcleo atómico, y que son capaces de experimentar la interacción nuclear fuerte, y los Leptones, entre los que se encuentran los electrones y otras que interactúan básicamente mediante la interacción electrodébil.
- Las cuatro fuerzas son la gravedad, el electromagnetismo y dos fuerzas más a escala atómica.
- La **Gravedad**, una fuerza unidireccional de más largo alcance aunque poco intensa, y que responde por la estructura del Universo a gran escala; el **Electromagnetismo**, fuerza de largo alcance, con polaridad y que es la base de las reacciones químicas que une a los átomos entre sí; la Interacción **Nuclear Fuerte**, fuerza de corto alcance que une neutrones y protones (ver fusión y fisión nuclear); y la Interacción **Nuclear Débil**, fuerza de corto alcance que explica la unión de partículas alfa y beta de la radiactividad espontánea.
- En intensidades, el orden de las cuatro fuerzas es:

$$I \text{ Nuc. F} > F \text{ E-Mag} > I \text{ Nuc. D} > F \text{ Grav}$$

- En el Modelo Estándar, la gravedad se explica por gravitones, el electromagnetismo por los fotones, la I. Fuerte por los gluones, y la I. Débil por los bosones W y Z.
- En el tiempo, después del Big Bang, a los 10^{-43} segundos, la gravedad es la primera fuerza que surge, y a los 10^{-35} segundos se separa la fuerza nuclear fuerte. La figura muestra la secuencia.



Tiempo de origen de las Fuerzas Fundamentales, en:

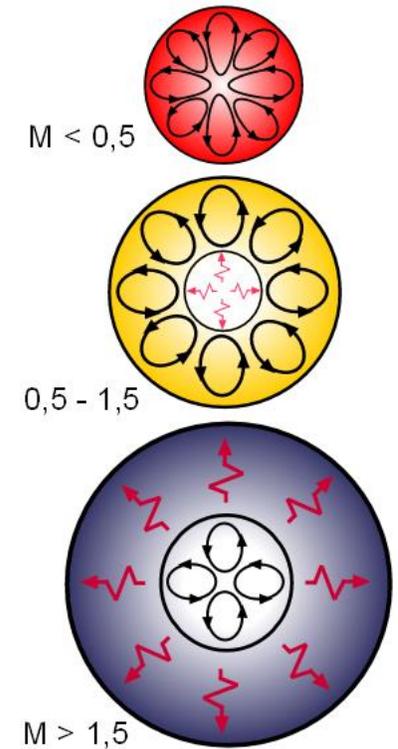
<http://godues.blogspot.com.co/2016/02/albert-einstein.html>

Las estrellas

- Una estrella es una esfera de plasma que presenta equilibrio cuasiestático de fuerzas: de un lado, la fuerza de gravedad que empuja la materia hacia el colapso de la estrella hacia adentro, y del otro la presión del horno termonuclear que se ejerce hacia afuera.
- Dada la masa de gas, al no experimentar expansión ni contracción de su masa, el sistema adopta la forma esférica.
- Las masas estelares varían entre 0,08 y 120 a 200 masas solares según sea su contenido metálico.
- El índice de metalicidad del Sol es:

$$[\text{Fe}/\text{H}] = 0$$

- Los astros de menor masa se denominan enanas marrones, mientras que los de masa superior a lo señalado resultan inestables al superar el límite de Eddington.
- El límite de Eddington, que es la máxima luminosidad que puede pasar a través de una capa de gas en equilibrio hidrostático, depende de la masa estelar, y está de su índice de metalicidad.

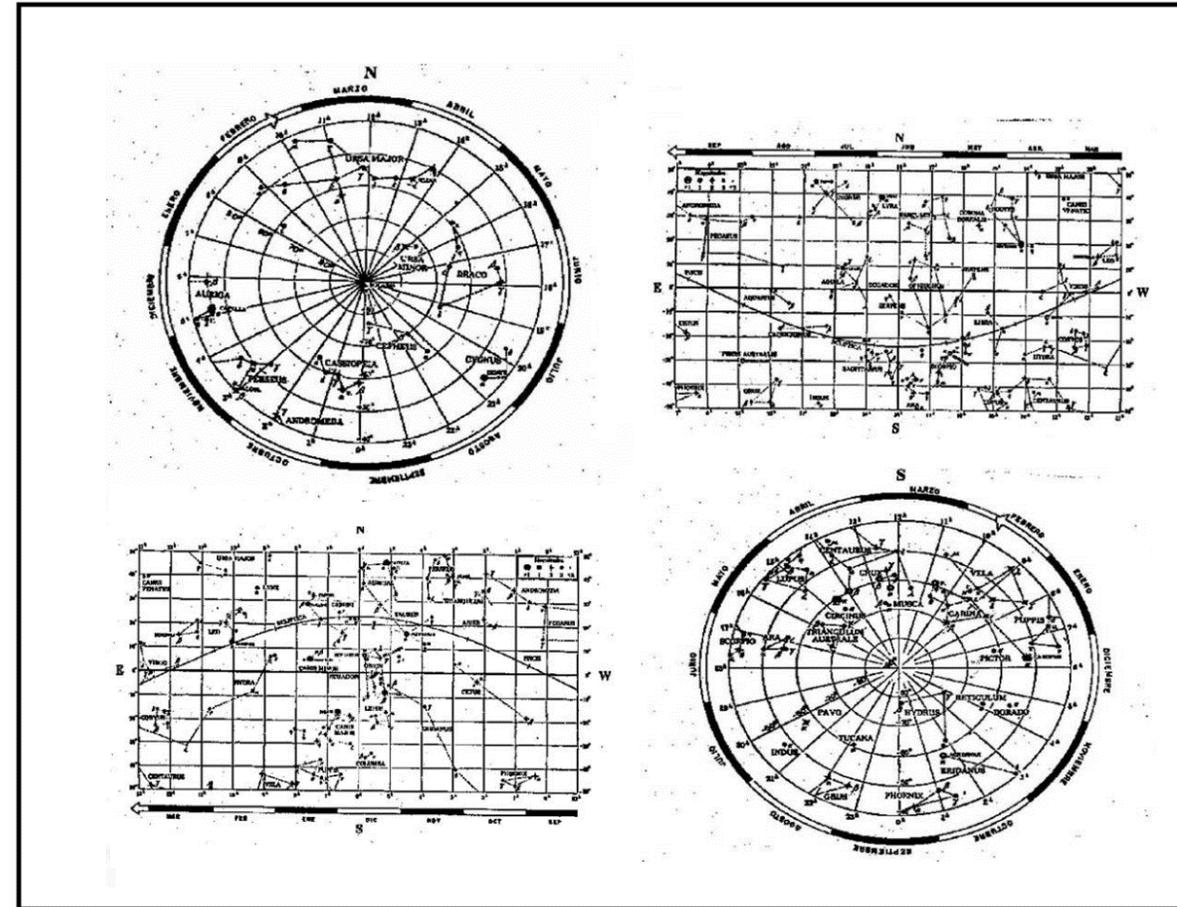


- La estructura convectiva de una estrella, depende de su masa. Imagen en: <https://es.wikipedia.org>

El mapa del cielo

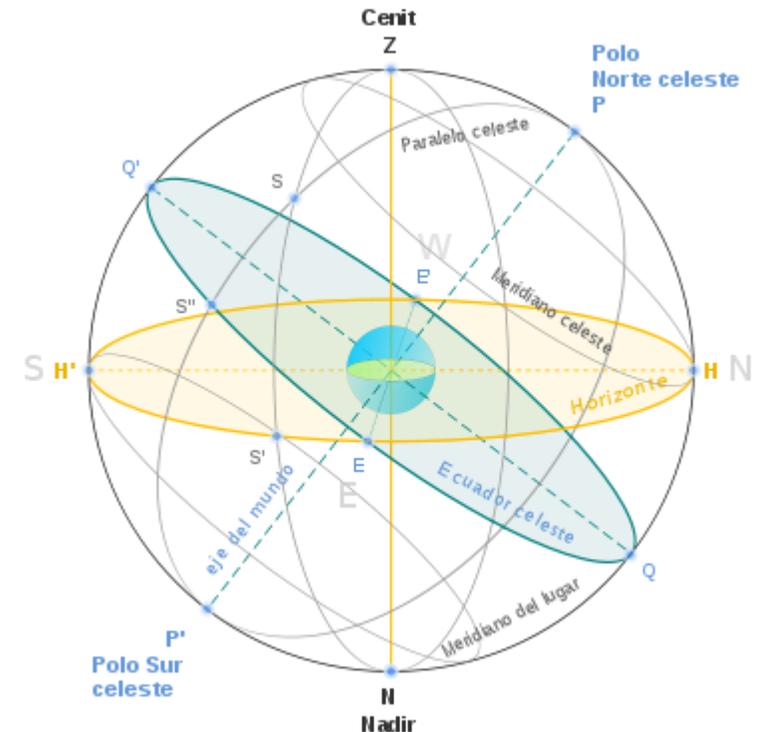
- En las constelaciones, las estrellas se ordenan por su brillo para asignarles el alfabeto griego, con pocas excepciones. Las menos brillantes tienen un código numérico y otros objetos celestes de esas regiones, son de igual manera codificados. Los nombres de las constelaciones, aluden a animales, seres míticos e instrumentos.
- Ptolomeo, en el cielo que dominó desde el mediterráneo, identificó 48 constelaciones. Otras, vecinas al Polo Sur y fuera de ese dominio, fueron bautizadas por navegantes del siglo XV, quienes les asignaron nombres no mitológicos y más ceñidos a esa época y a los nuevos descubrimientos. No obstante, algunos cambios posteriores, en muchas de las anteriores estrellas, los nombres árabes aun subsisten. En el cielo de hoy están representadas 88 constelaciones.

- Imagen: Carta Celeste del OAM, en: <http://www.galeon.com/guiaastronomica>



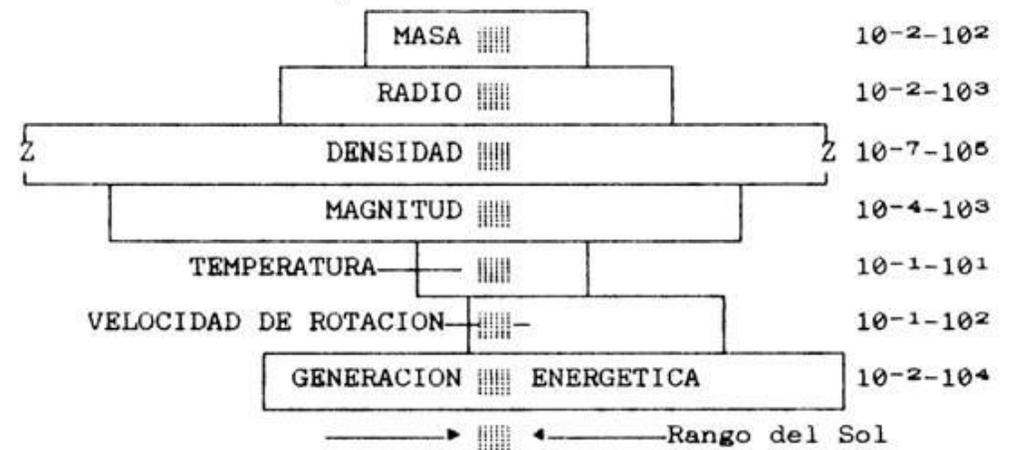
La esfera celeste

- El movimiento de la esfera celeste es aparente y está determinado por la rotación de nuestro planeta sobre su propio eje. La rotación de la Tierra, en dirección Oeste–Este, hace que los astros salgan por el oriente.
- Para dar posición a una estrella, además del tiempo se utilizan el plano del horizonte y el del ecuador celeste; el polo y el cenit; y el meridiano de observador, como origen para la medición del acimut.
- El ecuador celeste es el círculo máximo obtenido de la proyección del plano del ecuador terrestre sobre la esfera celeste. El Meridiano celeste es el círculo máximo que pasa a través de los polos celestes y el cenit de un lugar.
- Eje del mundo es el eje en torno al cual giraría la esfera celeste. El horizonte es el plano perpendicular a la dirección de la vertical, radio de la esfera que contiene al observador y en cuya proyección contiene el Cenit y el Nadir.
- Imagen: Proyección estereográfica de la esfera celeste con los elementos más importantes. Fuente: <https://es.wikipedia.org>



Variables estelares

- Son muchas las variables físicas que pueden conseguirse a través del análisis espectral y de la medición de algunas variables estelares, como la distancia por métodos geodésicos.
- Con luz no descompuesta, se pueden medir: velocidad radial y angular, composición, campo magnético, diámetro (por interferometría), movimientos tangenciales (por cambios de posición o de dirección), cambios de magnitud (por variaciones del brillo; y con luz descompuesta espectro-gráficamente, además de rotación del astro y movimientos radiales (por efecto doppler), se pueden conocer variaciones de tamaño, y cambios en el campo magnético e inestabilidad del astro.

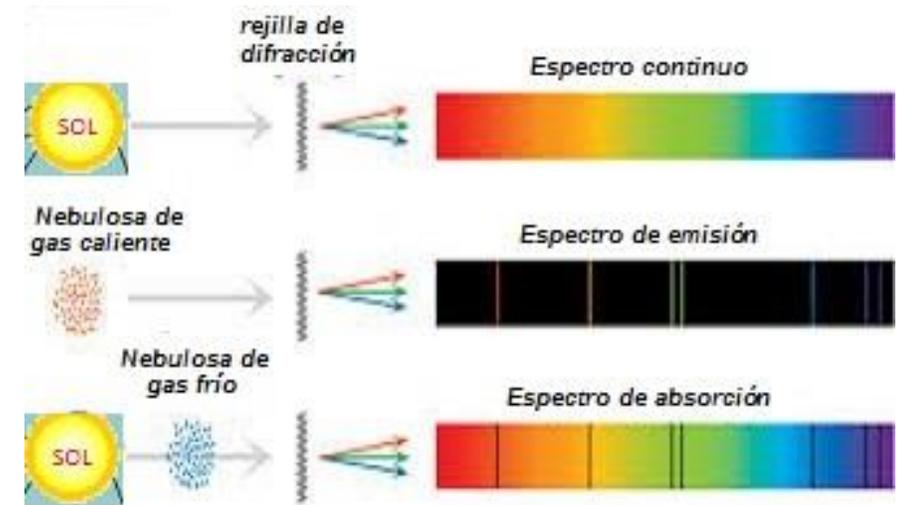


Rangos en las variables estelares, tomando las magnitudes del Sol, como referentes.

Imagen en: www.bdigital.unal.edu.co/1700/

Espectros estelares

- Con el análisis del espectro de la energía radiante se puede conocer la temperatura, composición y velocidad radial de los objetos celestes. El color informa de la temperatura. Los rayos espectrales oscuros o brillantes, informan de los elementos, y el desplazamiento del espectro hacia el IR o el UV, de la velocidad de la fuente luminosa según el efecto Doppler. Los espectros pueden ser: Continuo, de Emisión y de Absorción.
- El espectro continuo: producido por cuerpos incandescentes sólidos o líquidos, así como por los gases a muy alta presión y gran temperatura, dan un espectro continuo sin rayas.
- Espectro de emisión: los gases luminiscentes, a presiones o temperaturas más bajas, muestran rayas de emisión claras e individualizadas. Cada elemento químico emite su propia serie de rayas. El espectro luminoso de cualquier gas, revela su composición química.
- Espectro de absorción: si la luz de cualquier cuerpo -que de suyo daría un espectro continuo- atraviesa un gas a menor temperatura, aparece sobre el continuo una serie de rayas oscuras (rayas de absorción o de Fraunhofer), precisamente en aquellas longitudes de onda para las que el gas, radiante él sólo, habría generado rayas de emisión. Esto vale para la mayoría de las estrellas y para el Sol, donde los rayos luminosos que provienen de zonas más profundas atraviesan capas externas frías y generan allí las rayas de Fraunhofer.

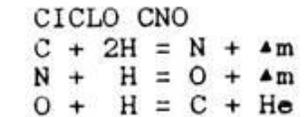
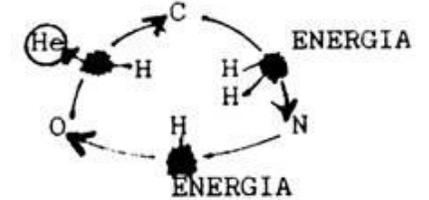
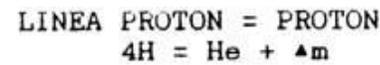
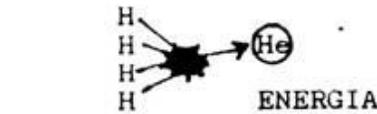


Tipos de espectros, según la fuente luminosa: de esta manera se ponen en evidencia líneas que permiten identificar sustancias gaseosas en las nubes interestelares.

Imagen (adaptada), en: www.scienceinschool.org

Formación de las estrellas

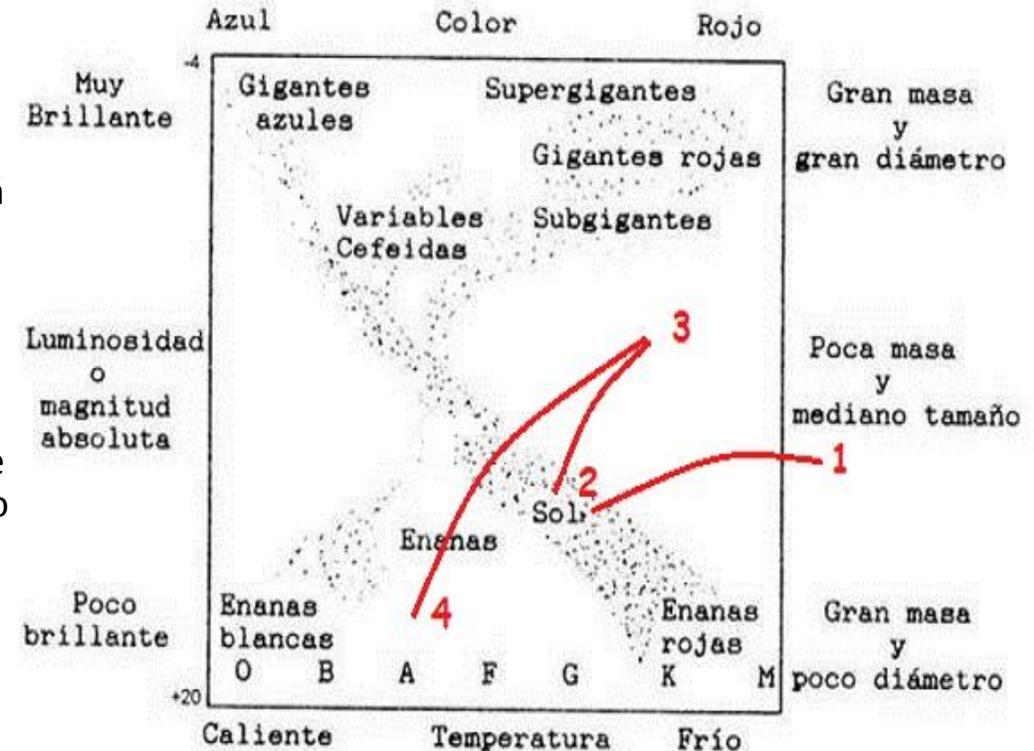
- Cuando en una masa de gas y polvo interestelar, la fuerza de gravedad domine a la de repulsión, se da el colapso gravitacional para que se contraiga la nube.
- Al aumentar su densidad conforme disminuye su volumen, aumenta la velocidad de rotación para conservar el momento cinético (efecto de bailarina) y también la temperatura de la masa por energía de acreción.
- Tras el colapso de la nube, producido cuando su densidad se hizo crítica, se forma una protoestrella, o sea una nube condensada y caliente que emite radiación infrarroja.
- El escape de energía permite que la protoestrella colapse más, y que gracias al calentamiento por el aumento de la energía de acreción, pase a ser un cuerpo brillante de atmósfera enrarecida.
- Con el colapso sucesivo, la temperatura aumentará más, hasta superar los 10 millones de °C, con lo cual nace la estrella al iniciarse la fusión nuclear, consistente en convertir hidrógeno en helio por dos vías: la línea protón-protón y el ciclo C-N-O o del carbono.



Cuando las estrellas convierten cuatro átomos de H en He, también generan energía, en una cuantía igual al delta de masa, por el cuadrado de la velocidad de la luz. Las estrellas de menos de una masa solar toman la línea protón-protón y duran más. Las de más de tres masas solares, lo hacen por el ciclo CNO, y en las de masa intermedia, el primer proceso se da en la periferia del núcleo, y el segundo en su interior más caliente. Imagen en: www.bdigital.unal.edu.co/1700/

Diagrama H-R.

- El diagrama HERTZPRUNG-RUSSELL, permite clasificar las estrellas por su brillo intrínseco (Ordenadas) y por su temperatura superficial (Abscisas). Las estrellas de gran masa están en la región de las gigantes azules, y las de masa pequeña entre las enanas rojas. La relación entre el color y la temperatura superficial de los astros, está dada por la clase espectral de la estrella (O, B, A, F, G, K, M), al igual que la relación existente entre el brillo aparente y su distancia real, lo está por la magnitud absoluta del astro.
- La primera etapa en la vida de una estrella, se da en la secuencia principal cuando el astro fusiona hidrógeno en helio. En dicha región ubicada sobre la diagonal de pendiente negativa en el diagrama, transcurre la mayor parte de su vida. La siguiente etapa, será la de gigante roja: en ella la estrella fusionará primero el helio en carbono y oxígeno, y luego estos en elementos más pesados, hasta el hierro, perdiendo masa en cada reencendida del horno termonuclear.
- Más adelante, cuando se "tranquilice" el núcleo estelar, la gigante roja se convertirá en enana blanca. Y agotado todo el combustible, si la masa es pequeña, la enana se transformará en un denso cuerpo negro; entre tanto, las estrellas de gran masa llegan a la fase última en la que el hierro absorbe energía para fisionarse en helio y explotar en forma de supernova, liberándola, y quedando finalmente una estrella neutrónica o un agujero negro.



La nucleosíntesis estelar

- En la fase de gigante roja, conforme se agote el combustible interior de una estrella, se perderá el soporte del horno termonuclear; tras cada colapso se dará un aumento súbito de la temperatura, acompañado de una onda de choque que afectará la envoltura de la estrella, haciéndole perder masa, al tiempo que se podrá reencender el núcleo, para que las cenizas del proceso precedente, entren como nuevo combustible. La escala de reacciones, hacia los elementos más pesados (Ne, Mg, Si, S, Ca, Ti, Va, Cr, Mn, Fe), cierra en el hierro.
- Cuando en el interior de una estrella el balance de energía de acreción y de presión termonuclear, cree condiciones favorables para un incremento de temperatura hasta 100 millones de °C, se formará Carbono a partir de Helio por el proceso triple alfa, y posteriormente por la misma razón se podrían formar Oxígeno, Neón y posiblemente Magnesio. Si la gran masa de esas estrellas sigue siendo el Hidrógeno, en la periferia de su núcleo dicho elemento sigue transformándose en Helio, e incluso el Helio en Carbono.
- Agotado ya todo combustible, es decir, no siendo posible reencender el horno termonuclear, si la enana blanca es de poca masa se transformará en una enana negra, o de lo contrario en una estrella neutrónica o en un agujero negro. Todo esto, dependiendo de la masa final: si es menor que 1.4 masas solares el colapso del cadáver estelar será detenido por la presión de degeneración de los electrones, quedando una densa estrella negra. Si restan en la estrella más de 1.4 masas solares, se llega al hierro gaseoso, que se convierte en gas de neutrones; al formarse hierro, con la presión éste libera la energía de forma súbita en forma de supernova, fisionándose en helio.
- Tras esa onda de choque de la supernova, si quedan entre 1,4 y 3 masas solares se forma la estrella neutrónica, en la que la presión de degeneración de los neutrones detiene el colapso de la estrella. Si son más de 3 masas solares, el colapso supera las presiones de degeneración de electrones y de los neutrones, apareciendo un agujero negro, al romperse el espacio-tiempo.

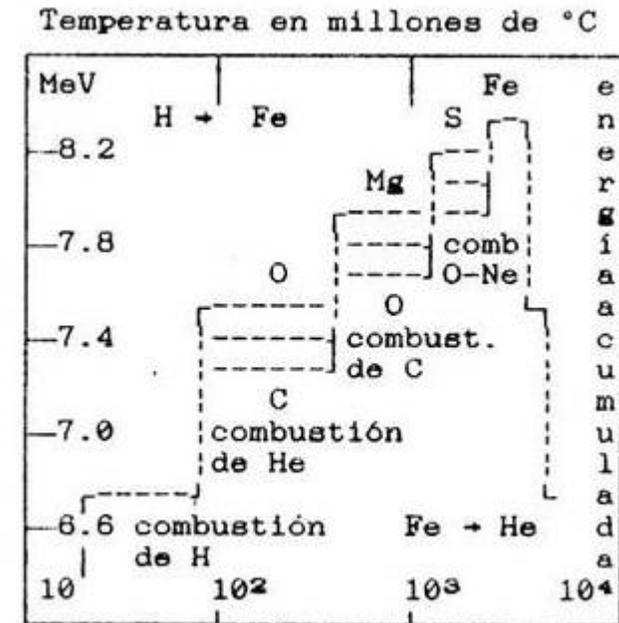
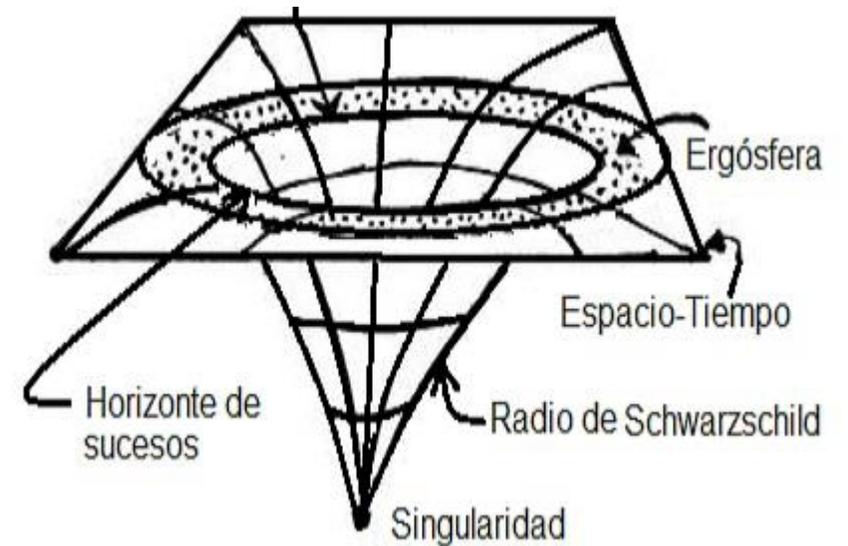


Diagrama de la nucleosíntesis del Hidrógeno H hasta el Hierro Fe, y la fisión del Hierro Fe en Helio He. Se da la energía en eV, por nucleón. Imagen en: www.bdigital.unal.edu.co/1700/

Agujero negro

- Tras el paroxismo de una estrella de masa final entre 1,4 y 3 masas solares, se forma una estrella de neutrones: un astro de enorme gravedad y densidad de materia, e intenso campo magnético. Algunos de estos, que emiten radiación pulsante y periódica, cuyos pulsos de radiación electromagnética a intervalos regulares se relacionan con el período de rotación del objeto, se denominan púlsares .
- Cuando la masa final de un “cadáver estelar” supera las 3 masas solares, el colapso de la estrella no puede ser detenido por las presiones de degeneración de electrones y neutrones, se rompe el espacio-tiempo y aparece el agujero negro.
- El colapso gravitacional comprime el Espacio tiempo y con él, la masa, hasta formar un punto de densidad infinita y volumen cero, denominado Singularidad: una región en la que se vienen abajo las leyes normales de la física y en las que el concepto de tiempo pierde el sentido.
- Tal singularidad está rodeada de enormes fuerzas gravitatorias. La atracción gravitatoria impide que la luz salga de un cierto entorno, denominado Horizonte de sucesos. Además, la materia que se aproxima demasiado es atraída y queda atrapada, incluso por fuera de este horizonte, en una región denominada Ergósfera, podrá salir la luz pero no un planeta.
- No obstante, debido a efectos cuánticos, los Agujeros negros, irradian. Ver radiación de Hawking en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1686/>

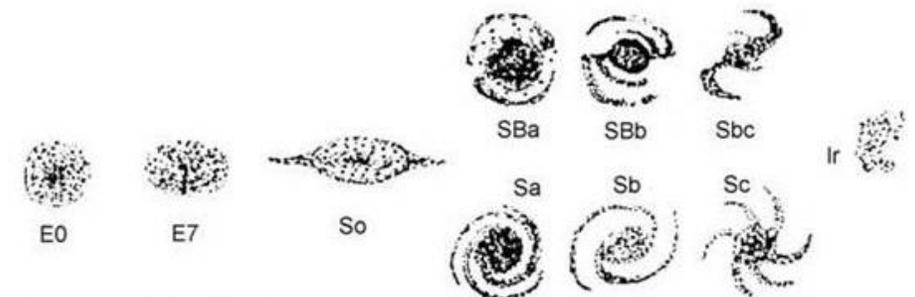
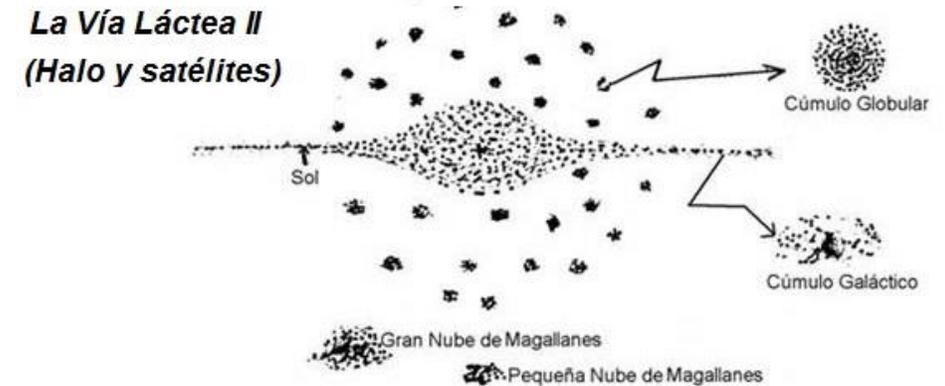
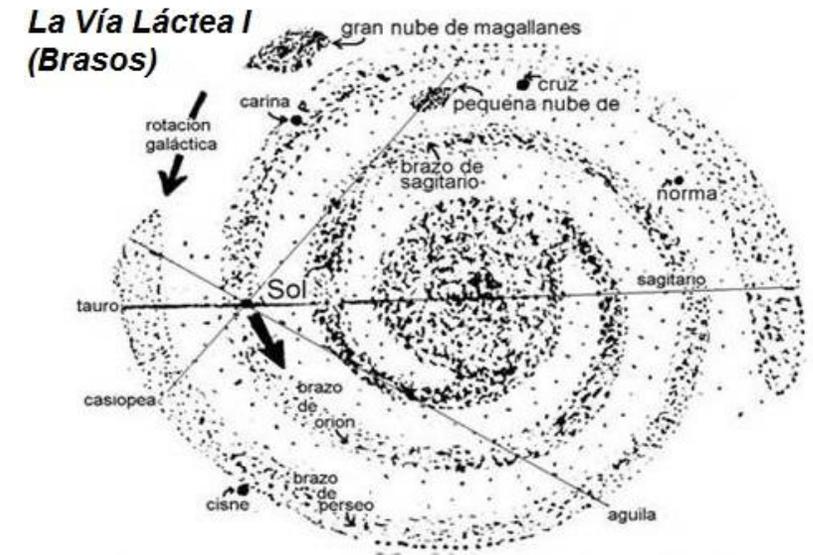


En la Ergósfera de un Agujero negro en rotación, que es la región exterior vecina al Horizonte de Sucesos, el campo de gravedad también rota arrastrando el Espacio-Tiempo.

Imagen tomada y adaptada de: Imagen en: www.bdigital.unal.edu.co/1700/

El mundo de las galaxias

- Una galaxia es una Isla de estrellas gravitacionalmente ligadas, constituida por cúmulos globulares o cerrados, y cúmulos abiertos o galácticos inmersos en nubes de gas y polvo. Su estructura varía desde elípticas y lenticulares, a espirales normales o barradas, hasta irregulares.
- Nuestra galaxia es la Vía Láctea, una espiral de 100 mil años luz de diámetro y 100 mil millones de estrellas, con tres brazos espirales y el Sol ubicado, en el de Orión, a 30 mil años luz del centro galáctico.
- Podemos identificar algunas estructuras de nuestra galaxia, como el halo conformado por cúmulos globulares orbitando el núcleo galáctico en diferentes direcciones, y el plano medio galáctico con sus brazos espirales nutridos de cúmulos abiertos y en medio de gas y polvo, para conformar el disco galáctico, cuya rotación es normal al eje del sistema.
- También se aprecian las dos Nubes de Magallanes, dos galaxias irregulares satélites de la Vía Láctea, ubicadas a 160 y 190 mil años luz.
- Imagen: La Vía Láctea, en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1700/>



Tipos de Galaxias

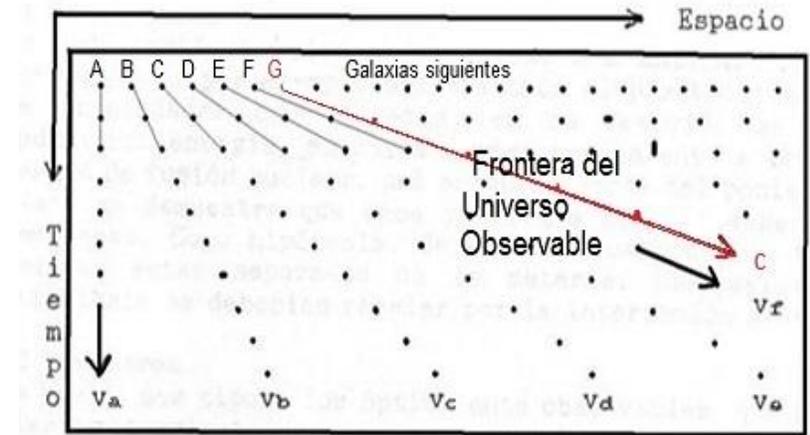
El universo en expansión

- El Universo se expande arrastrando las galaxias, independientemente del movimiento propio que tengan. No obstante por el fenómeno relativista, los cuerpos más lejanos parecen alejarse a velocidades cada vez mayores, puesto que ellos acumulan los desplazamientos del espacio correspondiente a los cuerpos celestes intermedios.
- El tejido de expansión del Universo, viajaría a una velocidad cercana a la de la luz. Más allá, todo viajaría a esa velocidad -cuyo valor es un límite físico-, y de esa región no nos llegará ningún tipo de información.
- El Universo observable cuyo radio se aproxima a 15000 millones de años luz, tendría una densidad es 10^{-25} g/cm³, un volumen de 10^{78} m³, y una masa 10^{52} Kg, equivalentes a 10^{80} nucleones. La edad del Universo, está dada por el inverso de la constante de Hubble H. Esta Constante H es: $(\Delta \lambda) / \lambda = v / C$. Siendo λ la frecuencia de la raya espectral original, $\Delta \lambda$ el corrimiento de la raya, C la velocidad de la luz y v la velocidad de recesión.
- Si $H = 65 \text{ Km/s} \times \text{Mpc}$, donde la velocidad alcanza el límite c, tenemos:

$$300000 \text{ Km/s} = 65 \text{ Km/s} \times \text{Mpc} \times R,$$
- Siendo R el radio del Universo visible. Luego:

$$R = 300000 / 65 \times 10^6 \times 3.26 \text{ años luz}$$

$$R = 15000 \text{ millones años luz}$$



La galaxia G (y siguientes) viaja (n) a la velocidad de la Luz C

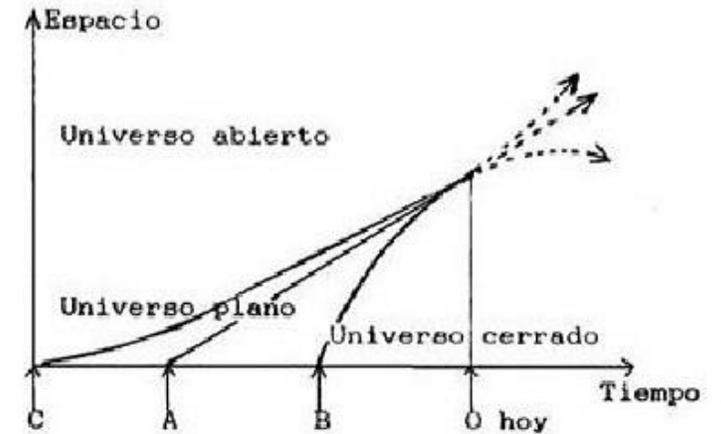


Imagen: Arriba, expansión relativista del Universo. Abajo, edad del universo asociada a la curvatura del Espacio –Tiempo. Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1700/>



Gracias



Gonzalo Duque Escobar: Profesor de la Universidad Nacional de Colombia, Miembro de la Red de Astronomía de Colombia RAC y Director del Observatorio Astronómico de Manizales OAM <http://godues.webs.com>

Portada: Icaro. Acrílico de Alejandro Obregón, en: <http://www.galeriaelmuseo.com/archives/720/>

Contraportada: Observatorio Astronómico de Manizales OAM <http://oam.manizales.unal.edu.co>

Fuentes 1:

- Albert Einstein. Duque-Escobar Gonzalo (2016). Contexto de Astronomía OAM. U.N. de Colombia <http://godues.blogspot.com.co/2016/02/albert-einstein.html>
- Albert Einstein -Wikipedia, la enciclopedia libre: https://es.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein
- Astrofísica. La Recherche (Recopilación). Muy interesante. Ediciones Orbis. Barcelona 1985.
- Astronomía en Colombia. DEG. http://www.bdigital.unal.edu.co/1703/4/gonzaloduqueescobar.20097_parte2.pdf
- Astronomía en Colombia: procesos y regalías. Gonzalo Duque Escobar, en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4386/1/gonzaloduqueescobar.201153.pdf>
- Calentamiento global en Colombia. Duque-Escobar Gonzalo (2011) Universidad Nacional de Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/3673/1/gonzaloduqueescobar.201138.pdf>
- Cien años del universo relativista de Einstein. GDE. La Patria. <https://godues.wordpress.com/2016/02/01/cien-anos-del-universo-relativista-de-einstein/>
- Ciencias aeroespaciales: retos temáticos y organizacionales para el PND. Duque-Escobar Gonzalo (2011) <http://www.bdigital.unal.edu.co/3713/2/gonzaloduqueescobar.201141.pdf>
- Ciencia, Tecnología y Emprendimiento - CT&E. GDE (2010) In: Conferencia para Instructores y alumnos del SENA sobre CT&E, 30-09-2010, Auditorio del SENA. <http://www.bdigital.unal.edu.co/2108/>
- Cifras para el arqueo de CT&I En Colombia. Gonzalo Duque-Escobar, en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/3406/1119/gonzaloduqueescobar.201121.pdf>
- Circulares de la Red de Astronomía de Colombia RAC. OAM-UN Manizales (Son 417 documentos) <http://oam.manizales.unal.edu.co/index.php/circulares-rac>
- Colombia al filo de la oportunidad. INFORME DE LA MISION DE SABIOS, Bogotá, Colombia 1996, http://www.icesi.edu.co/investigaciones_publicaciones/images/pdf/colombia_filo_de_la_oportunidad.pdf
- COSMOLOGIA. Duque-Escobar Gonzalo (1993). Seminario La Física De Los Fluidos Y Sus Aplicaciones. Universidad Nacional Sede Manizales.

Fuentes 2:

- Cultura & Astronomía (C&A) Duque-Escobar Gonzalo (2007). <http://www.bdigital.unal.edu.co/12426/1/gonzaloduqueescobar.201416.pdf>
- El Bosón de Higgs. Duque Escobar Gonzalo (2012). <http://www.bdigital.unal.edu.co/7037/1/gonzaloduqueescobar.201231.pdf>
- El Diagrama HR. Duque-Escobar Gonzalo (1997). Congreso Nacional de Astronomía, Red de Astronomía de Colombia, Barranquilla.
- El Estudio De Las Estrellas. Duque-Escobar Gonzalo (1993). Seminario La Física De Los Fluidos Y Sus Aplicaciones. Universidad Nacional Sede Manizales.
- Educar en ciencia & arte para la paz y el trabajo . GDE, en: <https://godues.wordpress.com/2009/06/12/educar-en-ciencia-arte-para-la-paz-y-el-trabajo-ed-circular-rac-519/>
- El Universo. Gonzalo Duque-Escobar. Guía Astronómica N°12. Universidad Nacional de Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1700/13/guia11.pdf>
- El Universo I y II. Isaac Asimov(1971) Alianza Editorial. Madrid, 1991.
- El Universo acelerado. Gonzalo Duque Escobar. En: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4878/1/gonzaloduqueescobar.201169.pdf>
- Elementos de astrofísica. Gonzalo Duque-Escobar (2002) Guía Astronómica N°08. Universidad Nacional de Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1700/10/guia8.pdf>
- El Universo Desbocado. Paul Davies. Trad. Robert Estalella. Barcelona 1986, Salvat.
- El Universo: su principio y su fin. Lloyd Motz. Trad. J.A. Planelly J. Rodellar. Muy Interesante. Ed.Bosch1975.
- Epistemología y Filosofía de la Ciencia: El espacio-tiempo sigue siendo un enigma para la ciencia y la filosofía. Miguel Lorente; En <http://groups.msn.com/1407tubnl0p/>
- Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2008) Documento de trabajo. - See more at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1699/1/gonzaloduqueescobar.20089.pdf>
- Guía astronómica. Duque Escobar, Gonzalo (2003) <http://www.galeon.com/guiaastronomica>
- Isaac Newton. Gonzalo Duque Escobar (2009). Universidad Nacional de Colombia En: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1668/1/gonzaloduqueescobar.20098.pdf>
- IYA 2009 invita a descubrir el universo desde Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2009) <http://www.bdigital.unal.edu.co/1660/1/gonzaloduqueescobar.200914.pdf>

Fuentes 3:

- La astronomía en Colombia: perfil histórico. Duque-Escobar Gonzalo (2011) Universidad Nacional de Colombia http://www.bdigital.unal.edu.co/1703/1/gonzaloduqueescobar.20097_parte1.pdf
- La constante cosmológica: ¿el gran error de Einstein? Juan Manuel Tejeiro Sarmiento (2006) Sección: Ciencia en UN Periódico. <http://historico.unperiodico.unal.edu.co/ediciones/81/16.htm>
- La Luna. Duque-Escobar Gonzalo (2009) Universidad Nacional de Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1663/1/gonzaloduqueescobar.20096.pdf>
- Notas sobre Ciencia, Cultura, Educación y Desarrollo. GDE, en: <https://godues.wordpress.com/2011/07/06/notas-sobre-ciencia-cultura-educacion-y-desarrollo/>
- La Teoría de la Relatividad. ARMANDO MARTÍNEZ TÉLLEZ, en: <http://teoria-de-la-relatividad.blogspot.com.co/>
- Las galaxias. Gonzalo Duque-Escobar (2002) Guía Astronómica N°10. Universidad Nacional de Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1700/12/guia10.pdf>
- Las estrellas. Gonzalo Duque-Escobar (2002) Guía Astronómica N°09. Universidad Nacional de Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1700/11/guia9.pdf>
- Los albores de la civilización. Duque-Escobar Gonzalo (2009) Universidad Nacional de Colombia <http://www.bdigital.unal.edu.co/1666/1/gonzaloduqueescobar.20093.pdf>
- Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>
- Materia y Energía. Duque-Escobar Gonzalo. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/251/materiayenergia.pdf>
- Mis Libros y Capítulos de Libro U.N. Gonzalo Duque Escobar: <https://godues.wordpress.com/2011/09/09/a-digital-books-gonzalo-duque-escobar/>

Fuentes 4:

- Modelo Académico Administrativo para el Planetario de Manizales, Claudia Torres Arango (2002). U. N de Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/2003/1/clauidatorresarango.2002.pdf>
- Nicolson, Ian. Astronomía. Biblioteca Juvenil Bruguera. 1980.
- Nicolson Ian. La Exploración del espacio. Biblioteca Juvenil Bruguera. 1980.
- Newton. Duque Escobar, Gonzalo (2009) Documento de trabajo. U.N. de Colombia. Observatorio Astronómico de Manizales. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1668/1/gonzaloduqueescobar.20098.pdf>
- Procesos para una Astronomía que le aporte a Colombia, en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4003/1/gonzaloduqueescobar.201149.pdf>
- ¿Qué es el Universo? En: <http://ww.astromia.com/universo/eluniverso.htm>
- Reflexiones en los diez años de Samoga. GDE, en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/3180/1/gonzaloduqueescobar.20115.pdf>
- Seis diálogos con el territorio, GDE, en: <https://godues.wordpress.com/2012/05/13/seis-dialogos-con-el-territorio-abril-de-2012/>
- Sistema solar. Duque-Escobar Gonzalo. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/257/sistemasolar.pdf>
- Sol, clima y calentamiento global. Duque-Escobar Gonzalo (2014) <http://www.bdigital.unal.edu.co/39782/1/gonzaloduqueescobar.201430.pdf>
- Stephen Hawking. Duque-Escobar Gonzalo (2009) <http://www.bdigital.unal.edu.co/1686/1/gonzaloduqueescobar.20093.pdf>
- Temas de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación, GDE, en: <https://godues.wordpress.com/2012/06/22/temas-de-ciencia-tecnologia-innovacion-y-educacion/>
- Tiempo y calendarios. Gonzalo Duque-Escobar (2002) Guía Astronómica N°4. Universidad Nacional de Colombia <http://www.bdigital.unal.edu.co/1700/6/guia4.pdf>
- Teorías cosmogónicas. Gonzalo Duque-Escobar (2002) Guía Astronómica N°12. Universidad Nacional de Colombia <http://www.bdigital.unal.edu.co/1700/14/guia12.pdf>
- Tierra sólida y fluida. Duque-Escobar Gonzalo <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/263/tierrasolidayfluida.pdf>